

# Układ do manualnego przesuwu zespołów korpusowych obrabiarki CNC

Mirosław Pajor, Kamil Stateczny, Łukasz Urbański

## 1. Wstęp

Wymagania użytkowników dotyczące obsługi maszyn wytwórczych zmuszają konstruktorów do poszukiwania nowych, bardziej intuicyjnych sposobów ich użytkowania. Efektem ich pracy są programowe „wizardy”, pomagające przeprowadzić operatora maszyny krok po kroku przez np. proces ustawiania parametrów obróbkowych. Zagadnienie intuicyjnego pozycjonowania zespołów korpusowych obrabiarki jest jednak nadal otwarte.

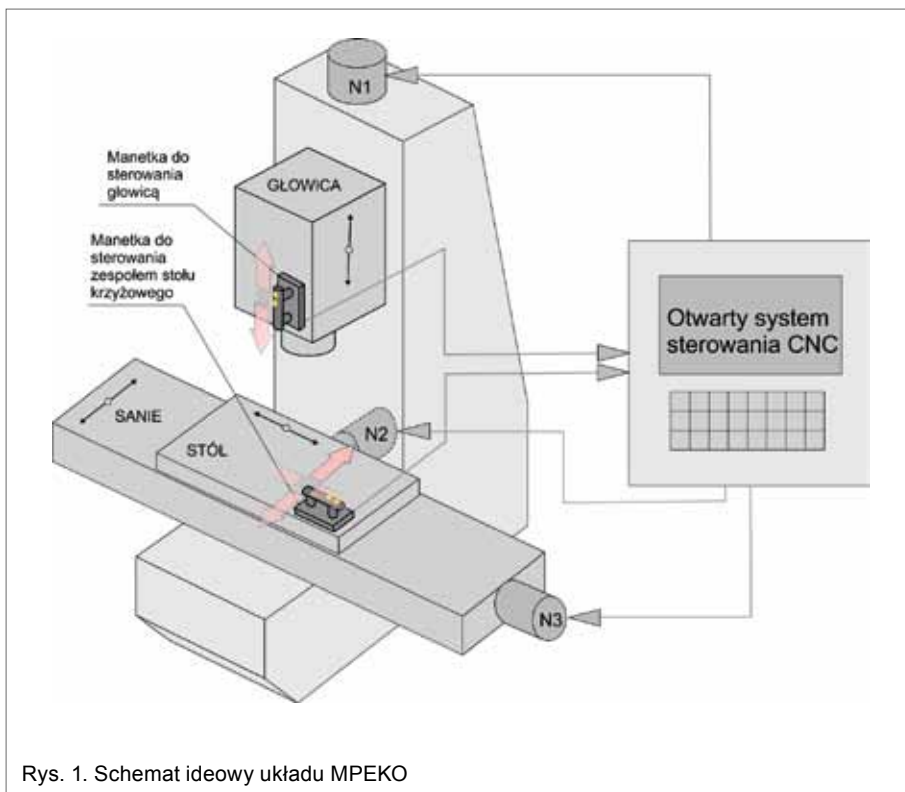
Przyciski na pulpicie sterowniczym lub specjalny pilot na kablu, który umożliwi zbliżenie się do strefy obróbkowej maszyny, to typowe rozwiązania stosowane w obecnych interfejsach człowiek – maszyna. Korzystanie z przycisków do przesuwania elementów korpusowych nie jest intuicyjne, ponieważ powoduje to problemy takie, jak pomylenie przycisków, tj. wykorzystanie przycisków innej osi niż ta, którą zamierzano poruszać, lub jeszcze częstsze pomylenie zwrotu, w którym zamierzano wykonać ruch. Ponieważ korzystanie z tego typu rozwiązań do obsługi tylko jednej osi może sprawiać powyższe problemy, to jednoczesna obsługa dwóch osi za pomocą tego rozwiązania tym bardziej nie jest intuicyjna i może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji. Celowym zabiegiem konstruktorów jest zatem ograniczenie możliwości obsługi manualnej obrabiarki z użyciem przycisków wyłącznie do jednej osi. Kolejnym ograniczeniem tej klasy rozwiązań jest to, że działają one w systemie *on-off*, czyli nie umożliwiają zmiany prędkości ruchu obrabiarką w zależności od siły przykładanej przez operatora. Do zmiany prędkości służą pokrętła lub dodatkowe przyciski, co komplikuje obsługę urządzenia.

Z wymienionych wyżej powodów rozpoczęto pracę nad intuicyjnym układem do Manualnego Przesuwu Elementów Korpusowych Obrabiarki (MPEKO). Zadaniem układu jest zwiększenie interaktywności i intuicyjności obsługi maszyn CNC, zgodnie z którym przesunięcie np. stołu obrabiarki nie powinno odbiegać od sposobu przesunięcia zwykłego stołu, czyli poprzez przesunięcie go za pomocą siły mięśni.

**Streszczenie:** Wszystkie obrabiarki CNC mogą być przestawiane manualnie. Do tego celu wykorzystuje się odpowiednie funkcje i przyciski pulpitu CNC lub jego wygodniejszy odpowiednik w postaci pilota sterującego (popularnie nazywanego „wędką”), który dzięki elastycznemu przewodowi umożliwia zbliżenie się do strefy obróbki. Piloty, choć funkcjonalne, pozwalają w danym momencie sterować zwykle wyłącznie jedną osią obrabiarki. W pracy przedstawiono nowe podejście do manualnego sterowania zespołów korpusowych obrabiarki CNC, polegające na ręcznym prowadzeniu maszyny po określonej trajektorii ruchu lub do określonego położenia. W tym celu wykorzystano innowacyjny układ do Manualnego Przesuwu Elementów Korpusowych Obrabiarki (MPEKO). Układ ten wykorzystuje manetki (układy sensoryczne), które umieszcza się na końcowych elementach łańcuchów kinematycznych. Manetki są sprzężone z układem sterowania CNC, umożliwiając odpowiednie sterowanie napędami urządzenia. Zapewniają przy tym określoną prędkość ruchu i dokładność pozycjonowania zależną od siły przyłożonej przez operatora. Poprzez interakcje operatora z manetką przesuwany jest jeden element korpusowy urządzenia bądź ich większa ilość (o ile ruch ma się odbywać jednocześnie w kilku osiach). Rozwiązanie to można zastosować do programowania prostych cykli obróbkowych na maszynie CNC. Opisywane rozwiązanie doskonale nadaje się również do stosowania w maszynach współrzędnościowych, ułatwiając i przyspieszając proces pomiaru z uwagi na łatwiejsze i bardziej intuicyjne przemieszczanie podzespołów maszyny.

## SYSTEM FOR MANUAL MOVEMENT OF CNC MACHINE TOOL BODY

**Abstract:** *The development tendencies in the field of CNC machine tools control head in the direction of simplifying their programming and control methods. Almost all tooling machines can be controlled manually. For this purpose appropriate functions and buttons of CNC control panel are used or their more convenient equivalent, i.e. remote control which thanks to a flexible duct makes it possible to get closer to the machining area. Remote controls of this type usually allow to control only one axis of the machine tool. This paper discusses new approaches to manual control of CNC body systems which involve manual control of the machine along given movement trajectory or to a given position. For this purpose an innovative system of Manual Machine Tool Body Elements Movement was used. The system applies throttle levers (sensory systems) which are placed on the final elements of kinematic chains. Throttle levers are coupled with CNC control system making it possible to control machine drives ensuring defined movement speed and precision of positioning depending on the force applied by the operator. As a result, due to the interaction of the operator with a throttle lever, one body element of the machine can be moved, or more elements if the movement is to take place simultaneously in a few axes. This solution can be applied for programming simple machining cycles on a CNC machine. The approach is also possible to put into use with regard to coordinate-measuring machines, facilitating and speeding up the process of measuring due to easier and more intuitive movement of machine subassemblies.*



Rys. 1. Schemat ideowy układu MPEKO

## 2. Układ do Manualnego Przesuwu Elementów Korpusowych Obrabiarki

W celu manualnego prowadzenia obrabiarki CNC niezbędne są bezpieczne dla użytkownika uchwyty bądź wyznaczone bezpieczne miejsca do chwytania poszczególnych elementów korpusowych obrabiarki CNC. Z punktu widzenia operatora obrabiarki CNC należy przyłożyć siłę do uchwyty bądź wyznaczonego miejsca w pożądanym kierunku i zwrocie w celu przemieszczenia danego elementu korpusowego. W typowej obrabiarce nie jest to możliwe ze względu na układ sterowania, który utrzymuje zadaną pozycję napędów elektrycznych. Dodatkowo w najbardziej popularnych obrabiarce CNC ze śrubą pociągową nawet po wyłączeniu układu sterowania opory ruchu są zbyt duże, by było możliwe swobodne przesunięcie stołu czy wrzeciennika. Należy zatem do układu sterowania obrabiarki CNC dostarczyć informację o tym, że chcemy przemieścić dany łańcuch kinematyczny i o jaką wartość pozycji i/lub prędkości. Układ sterowania będzie wówczas mógł wypracować wartość zadaną pozycji i prędkości dla napędów, które będą wspomagały operatora.

Na rys. 1 przedstawiono schemat układu do Manualnego Przesuwu Elementów Korpusowych Obrabiarki dla obrabiarki posiadającej dwa łańcuchy kinematyczne

ne ruchu: gałąź przedmiotową oraz gałąź narzędziową. Napędy oznaczono symbolami N1, N2 i N3.

### 2.1. Zadajniki

Do zmiany położenia elementów korpusowych zastosowano i przetestowano trzy zadajniki: manipulator (myszkę) 3D SpaceNavigator o sześciu stopniach swobody firmy 3Dconnexion, joystick Logitech Freedom™ 2.4 Cordless oraz zaprojektowaną przez autorów artykułu manetkę z czujnikiem piezoelektrycznym do pomiaru siły.

Do badań wykorzystano frezarkę VC 760 z opracowanym w Centrum Mechatroniki otwartym systemem sterowania CNC o nazwie O.C.E.A.N. [1, 2]. Na obecnym etapie badań ograniczono się do przemieszczania stołu obrabiarki w jednym kierunku (X).

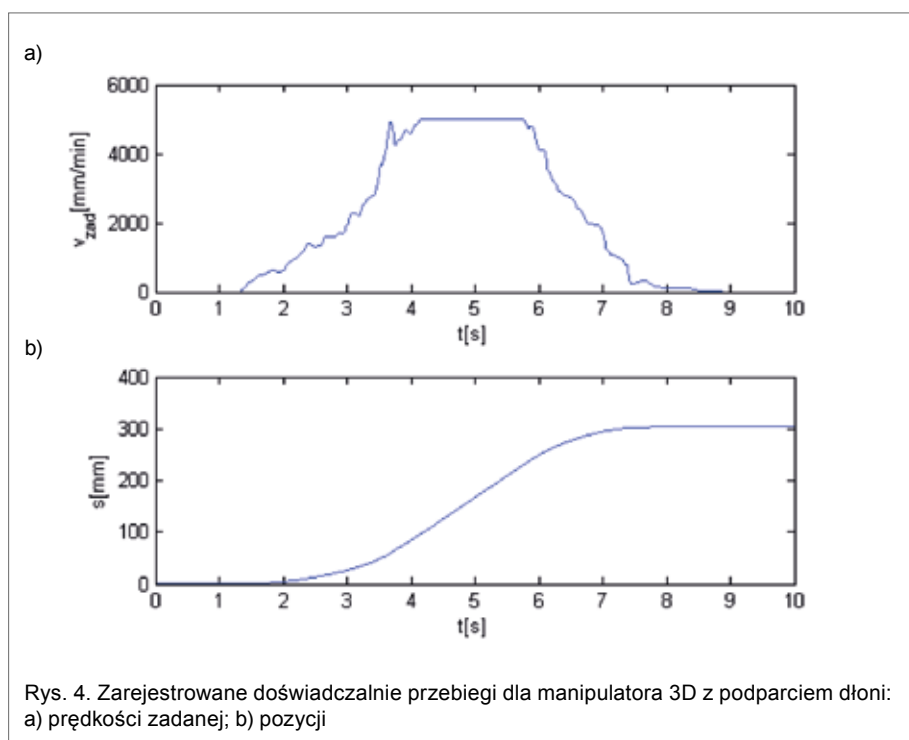
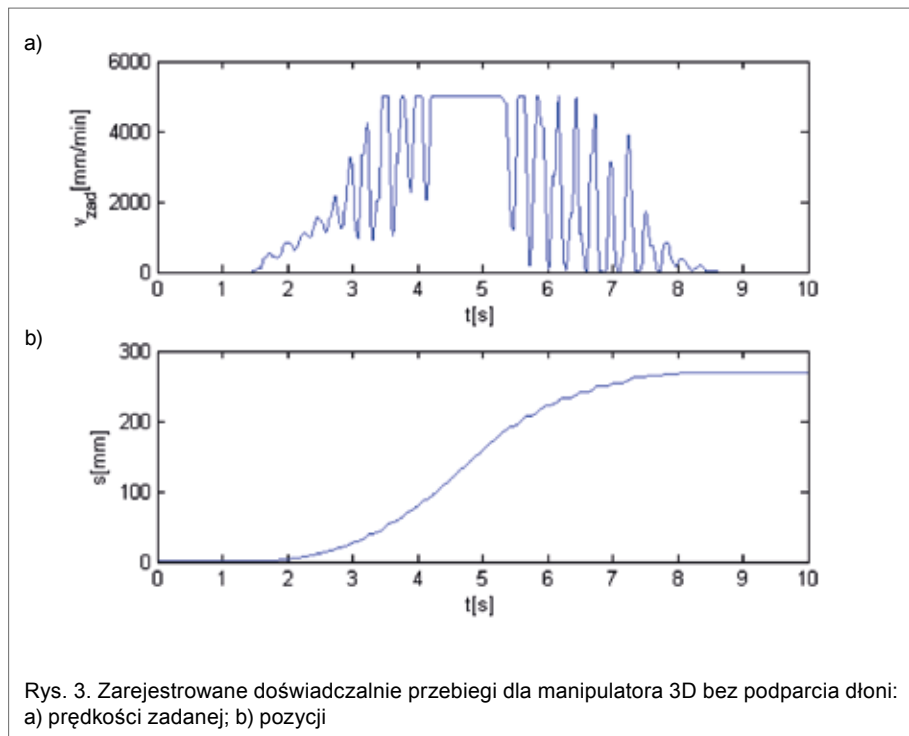
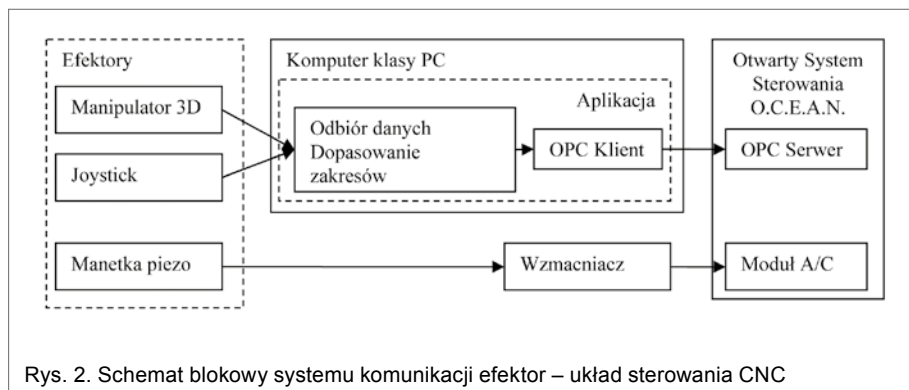
Zadajniki umieszczane były na stole obrabiarki. Inna koncepcja zakłada umieszczenie zadajników poza strefą obróbki maszyny i zastosowanie np. joysticka z siłowym sprzężeniem zwrotnym, który dostarczałby informacje zwrotne. Wówczas jednak otrzymuje się klasyczny układ do manualnego przesuwu, w którym występuje większość opisanych we wstępie problemów. Konfiguracja z zadajnikami umieszczonymi poza stołem obrabiarki nie jest przedmiotem tego opracowania.

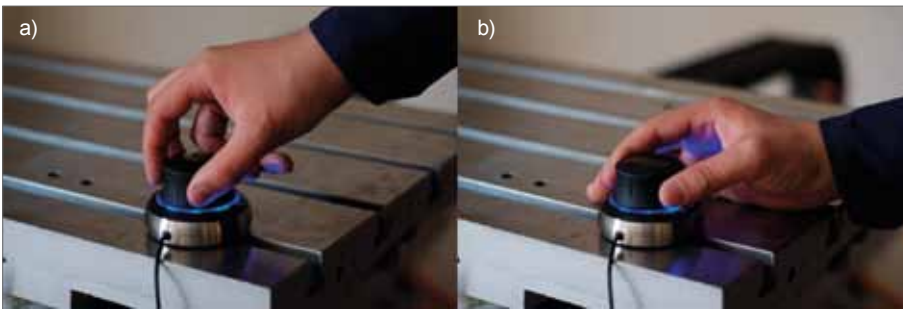
Manipulator 3D dostarcza informacje o przemieszczeniu gałki myszy, joystick podaje wartość kąta, o jaki jest wychylony drążek, a manetka z czujnikiem piezoelektrycznym wartość siły przyłożonej do manetki. Prędkość zadana jest proporcjonalna do tych wartości. Manipulator 3D oraz joystick były połączone do komputera klasy PC (rys. 2). Odbierane z nich dane przeskalowano tak, by skrajne wartości odpowiadały prędkości od  $-5000$  mm/min do  $5000$  mm/min. Wymiana danych między komputerem a otwartym systemem sterowania O.C.E.A.N. odbywała się z wykorzystaniem standardu OPC. W przypadku manetki z czujnikiem piezoelektrycznym konieczne było wykorzystanie wzmacniacza, na wyjściu którego otrzymywano sygnał analogowy. Sygnał ten przetwarzany był przez moduł analogowo-cyfrowy otwartego systemu sterowania O.C.E.A.N.

Badania rozpoczęto od przetestowania możliwości manipulatora 3D jako zadajnika prędkości poruszania się stołu obrabiarki. Ponieważ manipulator cechuje się dużą podatnością, sterowanie nim nie było proste. Płynne zadawanie prędkości nie było możliwe, gdyż operator musi podążać za przesuwanym się stołem i jednocześnie bardzo precyzyjnie ustawić pozycję podatnego chwytaka myszy. Charakterystyka prędkości zadanej oraz położenia stołu w osi X przedstawiona została na rys. 3.

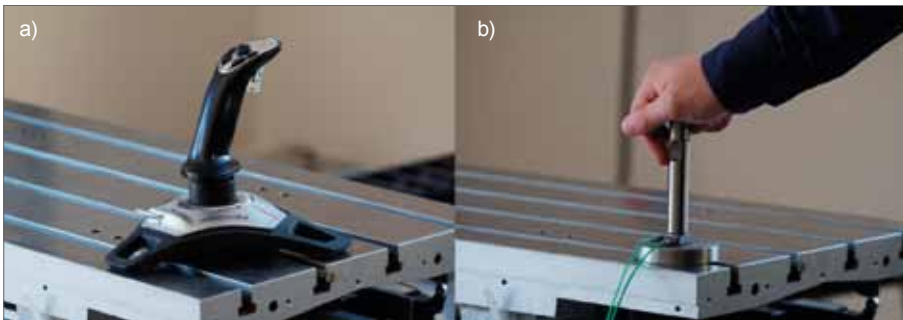
Aby precyzyjnie obsługiwać manipulator, operator musi odpowiednio go uchwycić i podeprzeć ręką tak, jak pokazano to na rys 5 b. Takie podejście nie spełnia jednak założenia, jakim jest prowadzenie elementów korpusowych ruchem ręki, gdyż przemieszczanie elementów korpusowych maszyny zależne jest od poruszania gałki palcami, a nie całą ręką. Na rys. 4 przedstawiono zarejestrowane doświadczalnie przebiegi prędkości zadanej i pozycji przy sterowaniu manipulatorem 3D z podparciem dłoni (rys. 5 b). Wyraźnie widać poprawę płynności ruchu.

Plusem tego rozwiązania w porównaniu do klasycznych rozwiązań jest mimo wszystko intuicyjność w sensie kierunków i zwrotów ruchu zespołów korpusowych. Równie dobrym rozwiązaniem byłoby zastosowanie manipulatora np. na panelu sterowniczym, co pozwoliłoby na względnie precyzyjne sterowanie, ale ponownie mogą wystąpić problemy opisane we wstępie pracy. Opisywana mysz 3D





Rys. 5. Poruszanie manipulatorem 3D: a) bez podparcia dłoni; b) z podparciem dłoni



Rys. 6. Fotografie badanych układów do zadawania prędkości: a) joystick; b) manetka z czujnikiem piezoelektrycznym

nie jest przemysłowym przyrządem pomiarowym, a jedynie narzędziem, które najczęściej znajduje zastosowanie w manipulacji obiektów 3D w systemach CAD/CAM. Precyzja ruchów jest w dużej mierze zależna od wprawy operatora i może nie być intuicyjna dla każdego z nich.

Często stosowanym zadajnikiem przemieszczeń jest joystick, przedstawiony na rys. 6. Na rys. 7 przedstawiony jest przebieg zadawanej prędkości oraz położenia stołu z zastosowaniem manipulatora typu joystick. Długie ramię stanowi swego rodzaju filtr dolnoprzepustowy, przez co na

przebiegach znajduje się znacznie mniej drobnych oscylacji, niż miało to miejsce w przypadku sterowaniu myszą 3D. Widać również, że możliwa jest płynna regulacja prędkości czy ustalenie prędkości na pożądanym poziomie. Obsługa jest łatwa i intuicyjna, a rozwiązanie – ze względu na powszechne zastosowanie – jest tanie.

Prędkość w tym wypadku zależna jest od kąta odchylenia drążka od pionu, w rezultacie czego nie jest odczuwalna siła, z jaką się oddziałuje na stół. Jest to podstawowa wada tego rozwiązania, gdyż

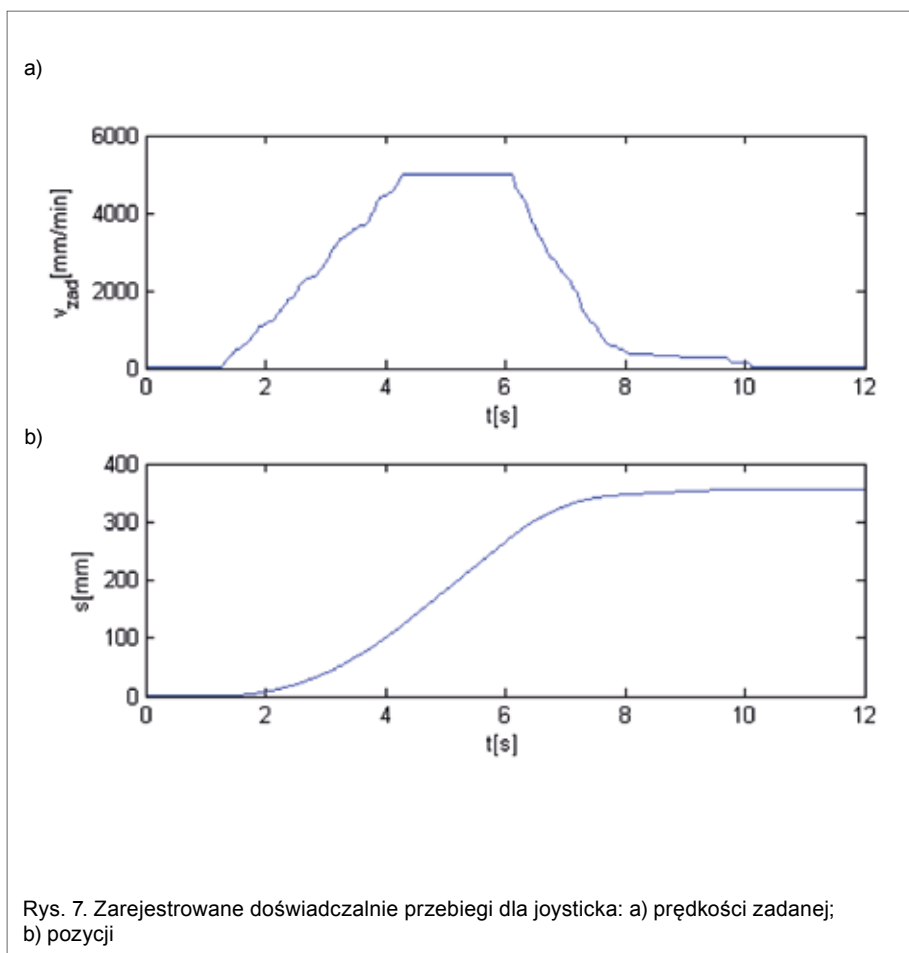
tracony jest sygnał wchodzący bezpośrednio w reakcję ze zmysłami operatora.

Ponieważ żaden z powszechnie dostępnych manipulatorów nie spełniał założeń intuicyjnego i precyzyjnego sterowania, postanowiono zbudować manetkę, która charakteryzowałaby się wysoką sztywnością, nie przemieszczałaby się względem stołu i umożliwiałaby pomiar siły, z jaką oddziałuje na nią operator. Zaprojektowana i wykonana manetka przedstawiona została na rys. 6 b. Do budowy manetki wykorzystano piezoelektryczny czujnik siły typu 9252A firmy Kistler.

Już na etapie wstępnych badań udało się potwierdzić tezę, że manetki sztywne umożliwiają precyzyjniejszą kontrolę ruchu stołu obrabiarki. Poruszanie stołem obrabiarki było zbliżone w odbiorze zmysłowym operatora do przesuwania przedmiotów po gładkiej powierzchni. Należy zwrócić uwagę na fakt, że sterowanie stołem było odczuwalne przez grupę testową (składającą się z 24 dorosłych osób) jako naturalne, mimo że prędkość stołu była proporcjonalna do wielkości siły przyłożonej do manetki. W rzeczywistości relacja pomiędzy siłą wrażenia a fizyczną intensywnością bodźca jest nieliniowa [3, 4].

### 3. Podsumowanie

Przeprowadzone badania układu do Manualnego Przesuwu Elementów Korpusowych Obrabiarki wskazują na to, że do zadawania prędkości w maszynach z układami prowadnicowymi najlepiej wykorzystywać efekторы o dużej sztywności. Manetki takie są odporne i trwa-



łe, przez co nadają się do zastosowania w warunkach przemysłowych. Ze względu na nieliniową zależność siły wrażenia i fizycznej intensywności bodźca [3, 4] dalsze badania będą skupiać się na uwzględnieniu w sterowaniu różnic w percepcji bodźców pomiędzy różnymi ludźmi.

Rozbudowa przedstawionego rozwiązania o interfejs programowania manualnego pozwoli programować proste cykle obróbkowe w sposób manualny, zwalniając w ten sposób operatora z konieczności pisania programu w abstrakcyjnym języku programowania. Wykorzystanie manetek zarówno w maszynach do obróbki skrawaniem, jak i w maszynach współrzędnościowych ułatwia i przyspiesza proces pomiaru z uwagi na łatwiejsze i bardziej intuicyjne przemieszczanie podzespołów maszyny.

#### 4. Podziękowania

Prace badawcze przedstawione w artykule są w części finansowane w ramach projektu MNiSW nr NN503 243 138 pt. „Opracowanie projektu oraz badania doświadczalne prototypu systemu do manualnego programowania obrabiarki CNC”.

#### Literatura

- [1] DOMEK S., PAJOR M., PIETRUSEWICZ K., URBAŃSKI Ł.: *Otwarty modułowy system sterowania obrabiarki CNC*. „Modelowanie inżynierskie”, nr 37/2009, s. 77–82.
- [2] DOMEK S., PIETRUSEWICZ K.: *Mechatronika w doskonaleniu konwencjonalnych urządzeń technicznych na przykładzie obrabiarki wielofunkcyjnej*. „Przegląd Elektrotechniczny”, nr 9/2009, s. 81–87.
- [3] REBER A.: *Słownik psychologii*. Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa 2002.
- [4] ZIMBARDO P.: *Psychologia i życie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.

prof. nadzw. dr hab. inż. Mirosław Pajor, mgr inż. Kamil Stateczny – Instytut Technologii Mechanicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; e-mail: miroslaw.pajor@zut.edu.pl, kamil.stateczny@zut.edu.pl  
mgr inż. Łukasz Urbański – Katedra Automatyki Przemysłowej i Robotyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie; e-mail: lukasz.urbański@zut.edu.pl

artykuł recenzowany