

Krzysztof Tubielewicz, Andrzej Zaborski

WYKORZYSTANIE WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI W NAUCZANIU PRZEDMIOTÓW TECHNICZNYCH

1. Wstęp

Zmiany, które zaszły w ciągu ostatnich kilku lat w procesach przygotowania produkcji wymuszają modyfikację umiejętności nabywanych przez absolwentów kierunków technicznych uczelni wyższych. Tradycyjnie prowadzone przedmioty projektowe i technologiczne ustępują miejsca nauce posługiwania się współczesnymi systemami komputerowego przygotowania produkcji i generowania kodów na maszyny sterowane numerycznie [Tubielewicz, Zaborski 2007]. Wymaga to pewnego wysiłku i głębokiej wiedzy praktycznej od osób odpowiedzialnych za przygotowanie nowych programów nauczania. Opisane zmiany wymuszają na średnich i wyższych szkołach technicznych konieczność szybkiej modyfikacji istniejących od wielu lat tradycyjnych sposobów nauczania przedmiotów technicznych. Tylko w ten sposób można przygotować absolwentów, którzy będą w stanie sprostać zapotrzebowaniu współczesnego rynku pracy.

W wielu uczelniach technicznych i szkołach zawodowych pojawia się problem praktycznej realizacji nauczania obróbki skrawaniem wykonywanej za pomocą obrabiarek sterowanych numerycznie i obsługi szeregu maszyn sterowanych numerycznie. Oczywiście nauka zasad obsługi maszyn sterowanych numerycznie rozpoczyna się od teoretycznej nauki podstaw pisania programów sterujących ich pracą i funkcji w nich występujących. W pewnym momencie trzeba jednak przejść do praktycznego programowania tokarki, frezarki, robota przemysłowego, maszyny pomiarowej, czy też sterowanych komputerem urządzeń transportowych i załadunkowych. I właśnie w tym momencie pojawia się prawdziwy problem związany z nauczaniem tych zagadnień. Oczywiście jest bowiem, że program sterujący napisany przez studenta czy ucznia może zawierać błędy. Ustrzec się ich nie są w stanie nawet doświadczeni programiści. Tymczasem każdy błąd pojawiający się w programie w momencie uruchomienia go na rzeczywistym urządzeniu może prowadzić do trudnych do przewidzenia konsekwencji. W grę wchodzi uszkodzenie przedmiotu obrabianego, narzędzi skrawających, chwytaków robota, czy też nawet całej maszyny, a w szczególnych wypadkach może pojawić się nawet niebezpieczeństwo dla osób ją obsługujących. Oczywiście takie uruchamianie nowego programu odbywa się z zachowaniem wszelkich zasad bezpieczeństwa, z reguły przy zmniejsz-

szonych w stosunku do przewidywanych w programie parametrach pracy. Nie pozwala to jednak uniknąć wspomnianych uprzednio niebezpieczeństw. Dodatkowym problemem jest również dostępność maszyn przeznaczonych do przeprowadzenia ćwiczeń. Z reguły laboratoria dydaktyczne dysponują bardzo niewielką liczbą maszyn sterowanych numerycznie, co jest związane z ich bardzo wysoką ceną. Tak więc w trakcie tego typu zajęć w sposób aktywny mogą uczyć się podstaw programowania jednocześnie dwie, trzy osoby. Pozostałe osoby mogą pełnić jedynie rolę biernych obserwatorów. Pojawia się więc problem skutecznego przeszkolenia dużej liczby uczestników zajęć w trakcie stosunkowo krótkiego czasu. Rozwiązanie tego problemu może stanowić wykorzystanie współczesnych technik komputerowej symulacji pracy maszyn sterowanych numerycznie.

2. Wykorzystanie symulatorów w programowaniu maszyn sterowanych numerycznie

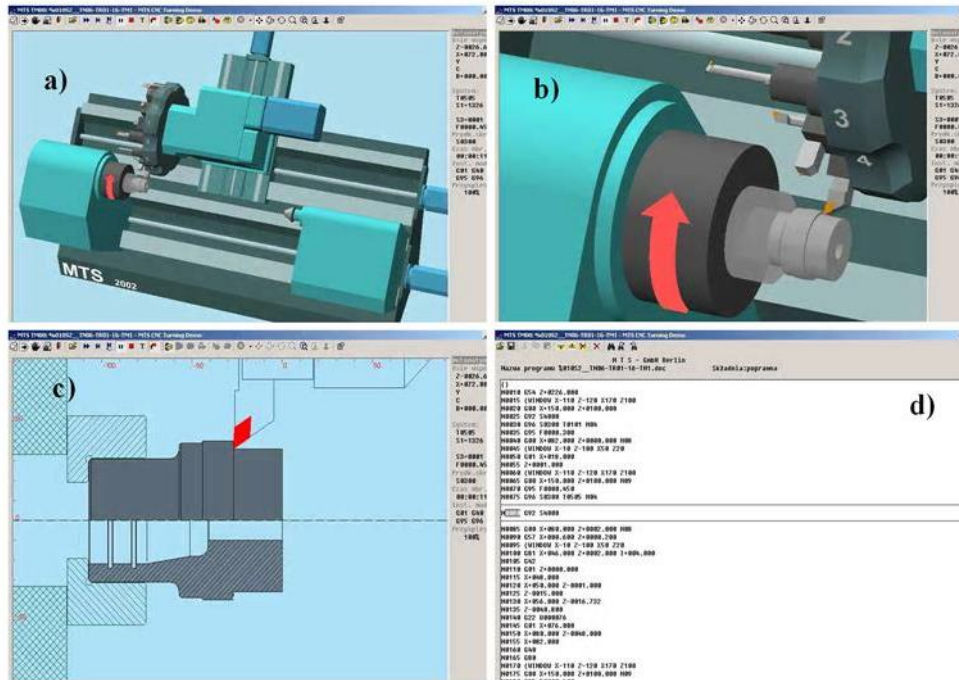
2.1. Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie

Symulatory obróbki pojawiły się w powszechnym zastosowaniu już kilkanaście lat temu. Ich podstawowym zadaniem było wówczas dokonywanie procesu testowania nowych, opracowanych „ręcznie” (napisanych przez technologa – programistę) programów sterujących obrabiarką skrawającą wdrażanych do praktycznego zastosowania w przemyśle. W chwili obecnej są one zastępowane znacznie bardziej zaawansowanymi programami CAD/CAM umożliwiającymi generowanie komputerowe kodów na obrabiarki sterowane numerycznie [Tubielewicz, Zaborski 2005]. Programy te pozwalają na bardzo szybkie wygenerowanie kodów dla praktycznie dowolnie złożonych powierzchni [Zaborski, Tubielewicz 2004]. Tak więc wypierają one z zastosowań przemysłowych „ręczne” tworzenie kodów dla obrabiarek sterowanych numerycznie. Dział technologiczny, mając do wyboru zakup w podobnej cenie zaawansowanego programu CAD/CAM (np. MasterCAM, AlphaCAM, EdgeCAM itp.) umożliwiającego automatyczne wygenerowanie kodu sterującego obrabiarką i symulatora obróbki (np. MTS, OSN Zero, itp.) pozwalającego jedynie na przetestowanie kodu napisanego przez człowieka – programistę prawie zawsze wybierze pierwsze rozwiązanie. Programy te jednak znajdują swoje zastosowanie w uczelniach i szkołach technicznych.

Jednym z najbardziej rozpowszechnionych w polskich uczelniach i szkołach technicznych jest symulator obróbki skrawaniem firmy MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH [www.mts-cnc.com]. Jest on wykorzystywany w procesie nauczania obsługi obrabiarek sterowanych numerycznie.

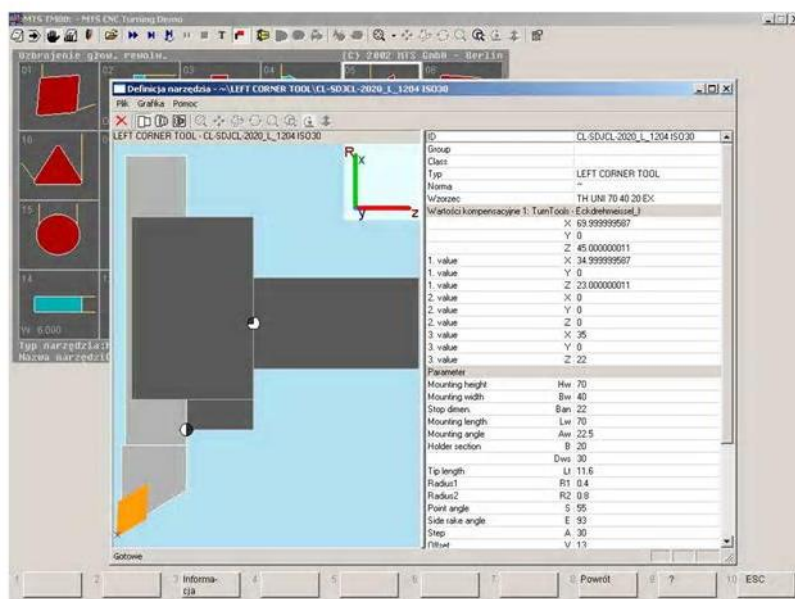
Osoba ucząca się „ręcznego” programowania obrabiarki, po wcześniejszym teoretycznym zapoznaniu się z podstawowymi funkcjami sterującymi obrabiarką i podstawami doboru parametrów technologicznych pracy obrabiarki może przy-

stąpić do samodzielnych prób tworzenia kodu alfanumerycznego sterującego procesem obróbki. Z oczywistych jednak względów można się spodziewać, że napisany kod sterujący będzie zawierał bardzo dużą ilość błędów. Dlatego wykonywanie ćwiczeń na tym etapie na rzeczywistej obrabiarkce wydaje się zbyt ryzykowne. Idealnym rozwiązaniem wydaje się więc przeniesienie do „wirtualnej rzeczywistości”, w której wszelkie błędy wprowadzonego kodu sterującego nie niosą za sobą żadnych groźnych konsekwencji. Po prostu na ekranie pojawi się komunikat o błędzie w programie, lub – jeżeli błąd nie uniemożliwia zadziałania programu – na ekranie będzie można zobaczyć, że wirtualna obróbka jest niezgodna z oczekiwaniami osoby tworzącej program. Praca nad opracowanym programem może rozpocząć się od jego kompletnego wpisania do edytora programu, po czym można przystąpić do jego przetestowania. Ten tryb pracy jest właściwy do testowania wcześniej napisanych programów sterujących. Najlepsze efekty dydaktyczne daje jednak interaktywny tryb pracy z symulatorem (rys.1). W największym uproszczeniu polega on na tym, że osoba tworząca kod sterujący wpisuje w okienko dialogowe jeden blok programu sterującego, a następnie nakazuje symulatorowi jego przetestowanie. Jeżeli wszystko zostanie wykonane poprawnie, taki blok programu można zatwierdzić i przejść do tworzenia kolejnego bloku. Jeżeli jednak coś zajdzie nie tak jak powin-



Rys. 1. Symulator MTS podczas symulacji pracy tokarki: a – wirtualna obrabiarka, b - wirtualny obraz strefy obróbki skrawaniem, c – płaski obraz przebiegu procesu obróbki, d – edycja kodu sterującego wirtualną obrabiarką

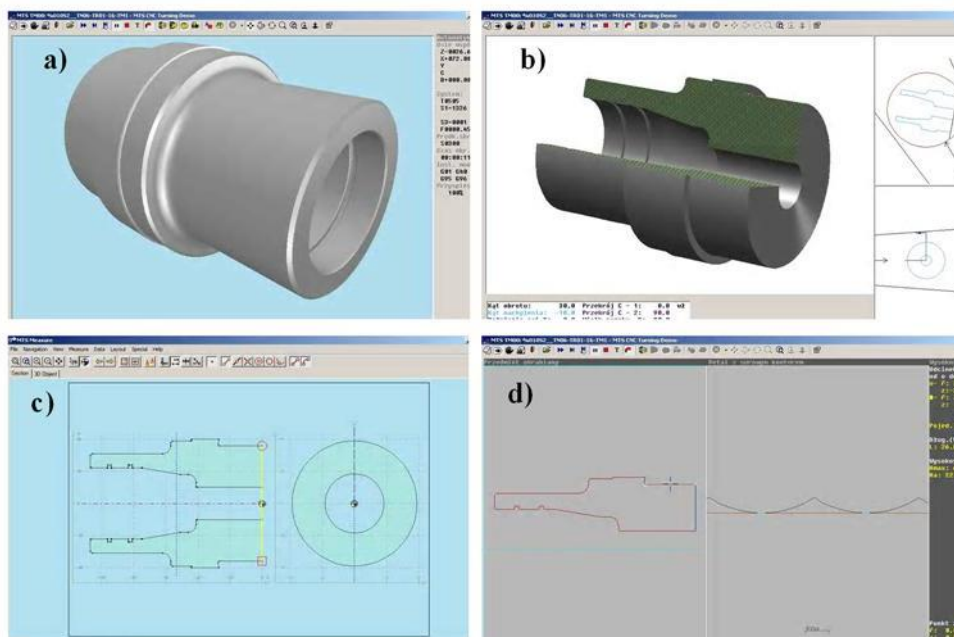
no, to można bloku nie zatwierdzić, tylko ponownie można wrócić do trybu jego edycji, skorygować wpisany blok i spróbować kolejny raz. Osoba ucząca się ma możliwość zobaczenia konsekwencji zmian, które zostały dokonane. Daje to bardzo dobre efekty dydaktyczne. Człowiek uczy się na własnych błędach bez ryzyka uszkodzenia maszyny i narzędzia. Współczesne symulatory obróbki umożliwiają również realistyczne symulacje początkowego etapu pracy z obrabiarką, związanego z przygotowaniem maszyny do pracy. Osoby uczące się rozpoczynają pracę od skonfigurowania układu obrabiarki i uzbrojenia głowicy narzędziowej we właściwe dla danego zadania technologicznego narzędzia (rys. 2).



Rys. 2. Symulator MTS – przygotowanie głowicy narzędziowej do pracy

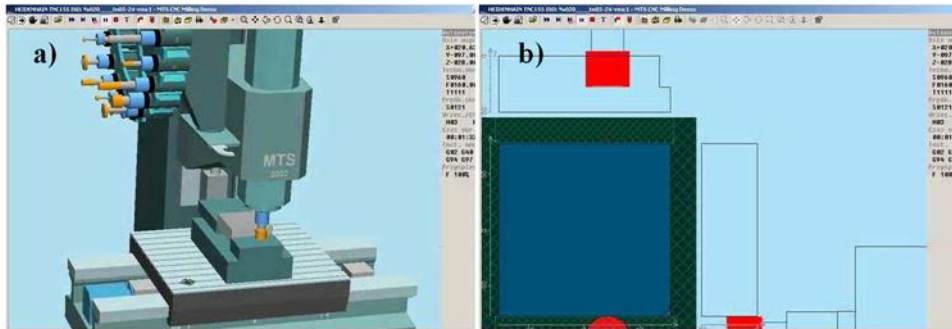
Oczywiście poprawna realizacja komputerowej animacji przedstawiającej wykonanie opracowywanego detalu nie daje żadnej pewności, że został on wykonany w sposób poprawny. Można jedynie przypuszczać, że z tworzonego programu wyeliminowane zostały błędy grube, które całkowicie uniemożliwiłyby działanie programu lub prowadziłyby do wykonania detalu o ewidentnie różnym od oczekiwanego kształcie. Kolejnym etapem powinna być kontrola jakości wykonania. Podczas rzeczywistej pracy obsługujący obrabiarkę ma możliwość dokonać szczegółowego pomiaru wykonanego przedmiotu, co pozwala stwierdzić, czy wszystkie wymiary mieszczą się w narzuconych pasowaniach i tolerancjach. Możliwości takie powinny zapewnić również współczesne symulatory obróbki. Tu również można szczegółowo obejrzeć „wykonany” przedmiot (rys. 3a). Co więcej, bez problemu możemy wykonać jego dowolne przekroje pozwalające na sprawdzenie, czy wszystkie wykonane powierzchnie są właściwie rozmieszczone (rys. 3b). Jest to niewątpliwa

przewaga pracy w rzeczywistości wirtualnej nad analizą kształtu rzeczywistego – fizycznego przedmiotu. Symulator umożliwia również przeprowadzenie dokładnych pomiarów dowolnego z wykonanych wymiarów (rys. 3c). Zaawansowanie współczesnych symulatorów obróbki poszło tak daleko, iż obecnie nie stanowi większego problemu symulacja chropowatości powierzchni obrobionych przedmiotów. Przyczyną wynika ona z kinematycznego odwzorowania geometrii ostrza skrawającego na powierzchni obrabianej w trakcie procesu skrawania. Można więc wirtualnie obejrzeć ślady, jakie na powierzchni obrobionej pozostawi zastosowane narzędzie (rys. 3d). Możliwe jest również wyznaczenie podstawowych parametrów chropowatości otrzymanych powierzchni. Tak więc, zamiast przeprowadzać rzeczywiste pomiary chropowatości powierzchni, można posłużyć się tu również symulacją komputerową.



Rys. 3. Analiza poprawności wykonania przedmiotu: a – obraz 3D wykonanego wirtualnie detalu, b – generowanie wybranych płaszczyzn przekroju analizowanego przedmiotu, c – wirtualny pomiar wykonanego detalu, d – symulacja przebiegu zarysu profilu chropowatości wykonanej powierzchni wraz z oszacowaniem teoretycznej wielkości wybranych parametrów chropowatości powierzchni

Wspomniany tu symulator obróbki firmy MTS pozwala na symulację pracy tokarki (rys. 1 – 3), od której z reguły rozpoczyna się naukę programowania obrabiarek sterowanych numerycznie. Słuchacze, którzy osiągną już pewien poziom zaawansowania w programowaniu tych maszyn, mogą również przystąpić do nauki zasad programowania frezarek sterowanych numerycznie (rys. 4)



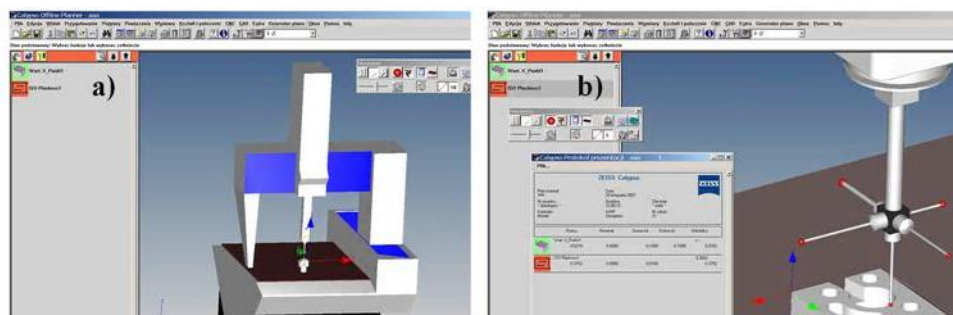
Rys. 4. Symulator MTS podczas symulacji pracy frezarki: a – wirtualna obrabiarka, b - plaski obraz przebiegu procesu obróbki

Wykorzystanie technik symulacyjnych umożliwia szybką i bezpieczną naukę programowania obrabiarek sterowanych numerycznie na wielu stanowiskach jednocześnie, co znacznie przyspiesza i ułatwia proces nauczania tych zagadnień. Oczywiście zastosowanie symulacji wirtualnych nie jest w stanie rozwiązać wszystkich możliwych problemów. Przejście od symulacji komputerowych do rzeczywistej obrabiarki wiąże się zawsze z dużym stresem związanym z pojawiającym się tu realnym ryzykiem uszkodzenia maszyny lub narzędzia. Niewątpliwie jest jednak, że etap ten jest znacznie łatwiejszy, gdy osoba, która do niego przystępuje, wykonała już wiele programów sterujących przetestowanych samodzielnie na symulatorze. Do rzeczywistej maszyny podchodzi osoba, która już teoretycznie przyswoiła sobie wszystkie wiadomości i przy maszynie pojawia się jedynie problem bariery psychologicznej związanej z pojawiającym się ryzykiem.

2.2. Programowanie współrzędnościowych maszyn pomiarowych

W chwili obecnej, oprócz powszechnie stosowanych już symulatorów pracy obrabiarek sterowanych numerycznie pojawiają się również symulatory innych maszyn i urządzeń stosowanych w procesie produkcyjnym. Jako przykład mogą posłużyć sterowane komputerem współrzędnościowe maszyny pomiarowe. W ostatnich latach pojawiły się programy pozwalające na przygotowanie planu pomiaru, czyli programu sterującego pracą maszyny podczas pomiaru na innym stanowisku niezwiązanym bezpośrednio z maszyną pomiarową. Pojawienie się tego typu programów zostało wymuszone koniecznością racjonalizacji czasu pracy maszyn pomiarowych. Maszyny te, z założenia bardzo kosztowne (ich koszt to z reguły kilkaset tysięcy złotych), powinny w miarę możliwości być wykorzystywane do pomiarów przez cały czas swojej pracy. Tymczasem specyfiką tych maszyn jest to, że programuje się je metodą uczenia, to znaczy nie tworzy się tu z reguły programu

alfanumerycznego zawierającego algorytm przebiegu pomiaru, ale wykonuje się jej programowanie poprzez wykonanie pierwszego pomiaru. Podczas tego pomiaru programista pokazuje maszynie, czynność po czynności, wszystkie etapy przygotowywanego zadania pomiarowego. Definiowane są tu wszystkie parametry każdej z czynności. Dotychczas z reguły odbywało się to na rzeczywistym detalu znajdującym się na stole pomiarowym maszyny. Z założenia takie czynności musiały być dość czasochłonne. Dopiero ich przeprowadzenie pozwalało na kolejne pomiary takich samych detali realizowane w trybie automatycznym, sterowanym przez komputer sterujący maszyną, wykonywane nieporównywalnie szybciej. Konieczność takiego programowania powodowała, że czas pracy maszyny był nie w pełni efektywnie wykorzystany. Pojawienie się w ostatnich latach trybu symulacji w programach sterujących maszynami pomiarowymi (np. programu Calypso sterującego pracą maszyny Eclipse firmy Zeiss [www.zeiss.pl]) pozwoliło rozwiązać ten problem. Obecnie przygotowanie planu pomiaru odbywać może się na kilku stanowiskach pracujących niezależnie od maszyny pomiarowej. W trakcie symulowanej pracy programista konfiguruje potrzebne końcówki pomiarowe i ustawia wirtualny model przeznaczony do pomiaru przedmiotu na wirtualnym stole przeniesionej do wirtualnej rzeczywistości maszyny pomiarowej (rys. 5a). Następnie, podobnie jak miało to dotychczas miejsce w rzeczywistości, realizowany jest proces pomiaru detalu, podczas którego tworzony jest plan pomiaru. W tym przypadku programista posługuje się w trakcie definiowania przebiegu pomiaru nie przedmiotem rzeczywistym, a jego obrazem wykonanym w którymś z programów CAD, umożliwiającym stworzenie trójwymiarowego zapisu geometrii mierzonego przedmiotu. Sprawdzenie poprawności procesu odbywa się poprzez wirtualne przeprowadzenie pomiaru na ekranie programu sterującego pracą maszyny, pracującego w trybie symulacji (rys. 5b). Dopiero w pełni przetestowany plan pomiaru przenoszony jest na maszynę pomiarową. W ciągu kilku minut można umieścić rzeczywisty przedmiot mierzo-



Rys. 5. Program sterujący pracą współrzędnościowej maszyny pomiarowej Zeiss Calypso pracujący w trybie symulacji: a – wirtualna maszyna pomiarowa, b – symulacja przebiegu procesu pomiaru

ny na stole maszyny i przygotować ją do pracy, po czym przystąpić do właściwego pomiaru. Dopiero taki tryb pracy, w którym pracę maszyny wspomaga kilka stanowisk wyposażonych w przestawiony w tryb symulacji program identyczny z tym, który znajduje się na rzeczywistej maszynie zapewnia jej w pełni efektywne wykorzystanie.

Oczywiście możliwość zainstalowania takiego programu sterującego ustawionego na tryb symulacji na znacznej liczbie stanowisk komputerowych ma również praktyczne zastosowanie w procesie edukacji i szkolenia operatorów tego typu maszyn. Dzięki wykorzystaniu w prowadzonych zajęciach dydaktycznych możliwości symulacji pracy maszyny pomiarowej możliwe staje się przeszkolenie jednocześnie kilku osób bez ryzyka uszkodzenia bardzo drogiej maszyny. Oczywiście, tak jak to miało miejsce przy obrabiarkach sterowanych numerycznie, i w tym wypadku musi pojawić się stresujący dla uczestników zajęć moment, w którym niezbędne stanie się przejście z symulatora do pracy z rzeczywistą maszyną. Będzie to jednak niewątpliwie znacznie łatwiejsze, niż w sytuacji, gdy naukę programowania należałoby zaczynać od początku na rzeczywistej maszynie. Warto podkreślić, że w odróżnieniu od obrabiarek sterowanych numerycznie, dla tej grupy maszyn symulator pomiaru pełni do dnia dzisiejszego nie tylko funkcje edukacyjne, ale stanowi bardzo cenne narzędzie praktycznego przygotowania programów sterujących stosowane w przemyśle. Jest to o tyle istotne, że absolwent szkoły technicznej, który nabył umiejętności pracy z symulatorem pracy maszyny pomiarowej na etapie szkolenia, może w dalszym ciągu korzystać z tego samego (lub zbliżonego) oprogramowania w swojej praktyce zawodowej.

2.3. Programowanie robotów przemysłowych

Oczywiście i inne grupy maszyn i urządzeń sterowanych numerycznie posiadają współcześnie swoje wirtualne odpowiedniki stosowane do nauki ich programowania. Przykładem mogą być tu symulacyjne programy pozwalające na nauczanie zasad programowania robotów przemysłowych, czy też całych elastycznych gniazd wytwórczych wyposażonych w szereg maszyn i urządzeń sterowanych numerycznie. Symulatory takie stają się obecnie w pełni multimedialne, oddziałując na osobę wykonującą wirtualną pracę w wirtualnym stanowisku obróbczym nie tylko obrazem, ale również w pełni realistycznym zestawem dźwięków związanych z symulowanym procesem. Symulator generuje odgłosy pracy robota, obrabiarki, dźwięki wywoływane przez otwieranie się, lub zamykanie uchwytu obróbkowego, otwieranie się lub zamykanie osłony obrabiarki. Wszystko to ma za zadanie zwiększyć poczucie realizmu symulowanych zdarzeń, a w konsekwencji poprawić efekt realizowany w procesie nauczania (rys. 6).



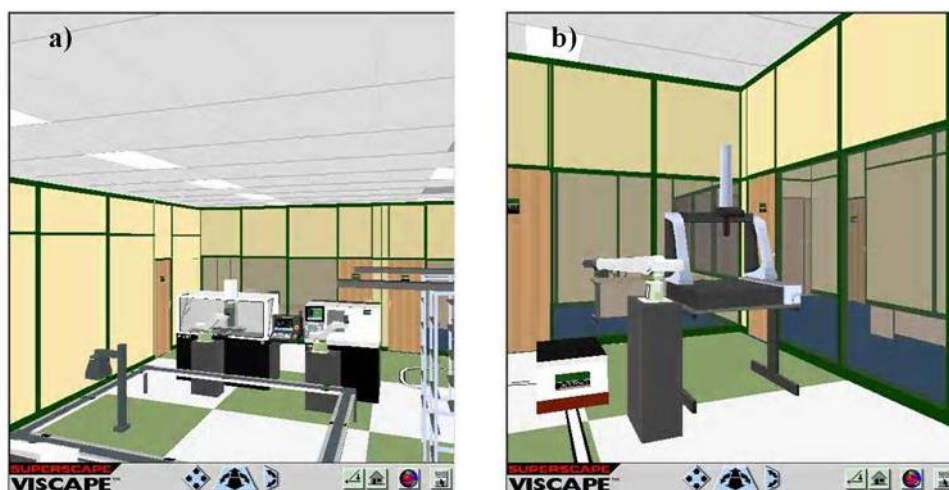
Rys. 6. Wirtualny robot VR Denford podczas pracy w elastycznym gnieździe obróbkowym

Opracowany przez firmę Denford wirtualny robot „Denford Virtual Reality” powstał w oparciu o budowę rzeczywistego robota przemysłowego Mitsubishi RV-M1 i posiada wszystkie funkcje prawdziwej maszyny. Ekran ukazuje po lewej stronie pulpit obsługi robota, a obraz ruchów robota VR po prawej (rys. 6). Osoba ucząca się prowadzi robota za pomocą myszki i programuje jego ruchy. Robot VR i oprogramowanie sterowania sprawiają, że wszystkie czynności wykonywane przez robota są pod kontrolą osoby ćwiczącej przebieg jego programowania. W nauczaniu można zastosować najnowszy sprzęt za ułamek pełnego kosztu rzeczywistego robota przemysłowego. Oprogramowanie działa również w trybie rzeczywistym i może być wykorzystywane do obsługi prawdziwego robota Mitsubishi RV-M1, tak więc opracowane programy mogą być bez przeszkód przeniesione na rzeczywistego robota wykorzystywanego w przemyśle.

3. Wirtualna rzeczywistość i jej zastosowanie w programowaniu CIM

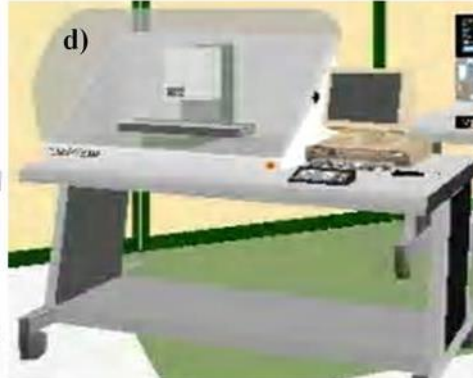
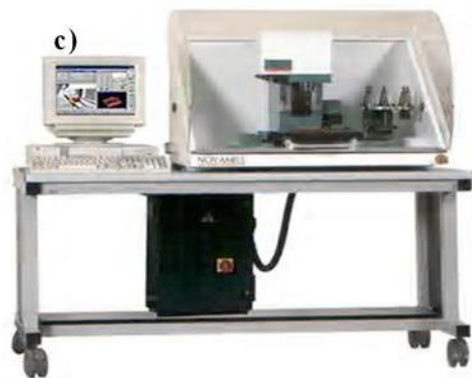
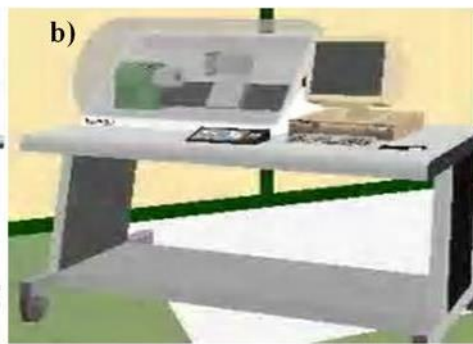
Głównym problemem wyższych uczelni technicznych związanym z praktyczną nauką zasad przygotowania produkcji w elastycznych systemach obróbkowych jest bardzo wysoki koszt odpowiedniego wyposażenia. Praktyczne zrealizowanie produkcji w warunkach komputerowo zintegrowanego wytwarzania CIM na skalę przemysłową jest z reguły poza finansowym zasięgiem szkół wyższych oraz instytucji technicznych i uniwersyteckich. Jedną z metod, którą wykorzystują uczelnie techniczne do nauczania tego typu zagadnień jest wykorzystanie nie rzeczywistych

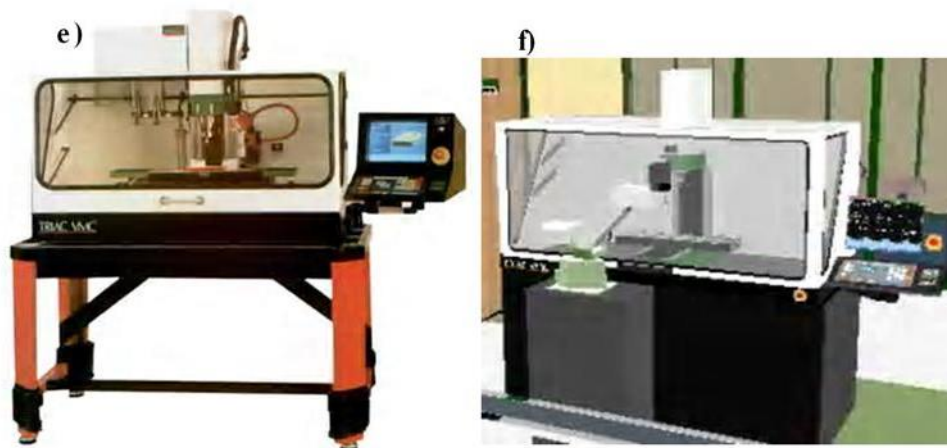
maszyn i urządzeń, ale symulatorów pracy poszczególnych urządzeń. Jeżeli możliwa jest symulacja pracy poszczególnych obrabiarek, maszyn pomiarowych, robotów przemysłowych, sterowanych komputerowo wózków jezdnych, to pojawia się pytanie, dlaczego by nie zrealizować symulacji ogółu zagadnień zachodzących podczas pracy elastycznego systemu produkcyjnego będącego fragmentem CIM. Koncepcję taką opracowała wspomniana już firma Denford [www.denford.com]. Symulowane w świecie wirtualnym systemy produkcyjne Denford składające się z szeregu skomplikowanych technologii produkcyjnych umożliwiają uniwersalne podejście do nauczania kompleksowych pojęć technicznych i technik produkcji, od symulacji rzeczywistości wirtualnej warsztatu produkcyjnego do zagadnień związanych z planowaniem i kontrolą przebiegu procesu produkcji. Systemy CIM Denford z założenia powinny być elastyczne (CIM Denford pozwala użytkownikom na konstruowanie systemu zintegrowanego z szeregu maszyn, komputerów i urządzeń automatycznych oraz oprogramowania CAD/CAM, oferując przez to elastyczność w tworzeniu systemu produkcyjnego dostosowanego do indywidualnych wymagań), modułowe (każdy moduł w CIM jest w stanie wykonywać swoje własne zadanie niezależne od reszty systemu, co umożliwia studiowanie różnych zakresów tematycznych oddzielnie bądź w kombinacjach), rozszerzalne (zarówno sprzęt jak i oprogramowanie mogą być wymieniane, jak również rozbudowywane w miarę upływu czasu czy wzrostu możliwości finansowych, co umożliwia prostej komórce produkcyjnej przekształcenie się w kompletny system produkcyjny), oraz łatwo dostępne (oprogramowanie pracuje na powszechnie dostępnej platformie systemowej Windows). System rzeczywistości wirtualnej Denford CIM jest repliką pełnego systemu przemysłowego CIM. Zawiera on wszystkie elementy CIM: roboty, frezarki CNC, tokarki CNC, automatycznie sterowane pojazdy, przenośniki, systemy automatycznego składowania i wyszukiwania, systemy wizyjne i współrzędnościowe maszyny pomiarowe (rys. 7).





Rys. 7. Wirtualny system komputerowo wspomaganego zintegrowanego wytwarzania CIM Virtual Reality firmy Denford: a – wirtualne stanowiska obróbkowe (tokarka i frezarka) wraz z systemem magazynowania, transportu i załadunku, b – wirtualna współrzędnościowa maszyna pomiarowa wraz ze sterowanym komputerowo wózkiem jezdny i robotem, c – ogólny widok wirtualnego laboratorium, d - wirtualna pracownia technologów – programistów systemu





Rys. 8. Przeniesienie rzeczywistych obrabiarek do wirtualnej rzeczywistości: a, b - rzeczywista i wirtualna tokarka, c, d – rzeczywista i wirtualna frezarka, e, f - rzeczywista i wirtualna wiertarka

Proces przenoszenia w rzeczywistość wirtualną poszczególnych grup urządzeń ilustrują przykłady przedstawione na rys. 8. Istotą tych czynności jest nie tylko przeniesienie do rzeczywistości wirtualnej kształtu i wyglądu rzeczywistej maszyny, ale przede wszystkim przeniesienie wszystkich funkcji realizowanych przez tę maszynę, wraz z zachowaniem sposobu ich programowania.

4. Podsumowanie

Wykorzystanie na zajęciach dydaktycznych współczesnych systemów komputerowego przygotowania produkcji pozwala pokazać studentom, iż dzięki ścisłemu związkowi pomiędzy etapem projektowania i wytwarzania, w łatwy i szybki sposób można zaprojektować i wykonać dowolny element. Tradycyjne sposoby nauczania obsługi maszyn sterowanych numerycznie związane są z zajęciami prowadzonymi bezpośrednio przy ich urządzeniach sterujących, co ogranicza możliwość szkolenia większej liczby studentów w tym samym czasie, a ponadto powoduje ryzyko uszkodzenia sprzętu, a nawet uszkodzenia ciała przez niedoświadczonych studentów. Zastosowanie komputerowych symulatorów pozwala na równoczesne szkolenia większych grup studentów ograniczonych jedynie ilością dostępnych komputerów. Szkolenie jest przeprowadzane w całkowicie bezpiecznym otoczeniu uwzględniającym najnowsze zdobycze techniki obejmujące zarówno sprzęt, jak i oprogramowanie. Student ma możliwość bezpiecznego przyswojenia sobie zawilości technik programowania CNC. Opisane tu zmiany muszą być uwzględniane w procesach dydaktycznych realizowanych w szkołach i uczelniach technicznych.

Literatura

- Tubielewicz K., Zaborski A. (2005), *Projektowanie technologiczne za pomocą systemów CAD/CAM*. „Przegląd Mechaniczny” nr 6, s. 31–35.
- Tubielewicz K., Zaborski A. (2007), *Dydaktyczne aspekty wykorzystania komputera w procesie przygotowania produkcji wyrobów [w:] Teoretyczne i praktyczne problemy edukacji technicznej. Technika – Informatyka – Edukacja*, Tom VII s. 207–212, red. W. Furmanek. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów.
- Zaborski A., Tubielewicz K. (2004), *Zastosowanie systemów CAD/CAM do komputerowo wspomaganej przygotowania produkcji*. „Mechanik” nr 8–9, s. 588–591.
- www.denford.com
- www.mts-cnc.com
- www.zeiss.pl