

Jerzy Józwik<sup>1)</sup>, Maciej Włodarczyk<sup>1)</sup>, Tomasz Ścierka<sup>1)</sup>

## **WIRTUALNY KONTROLER VNC PIONOWEGO CENTRUM OBRÓBKOWEGO FV 580A – symulacja, weryfikacja i analiza porównawcza procesu obróbki**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono proces generowania wirtualnego kontrolera VNC w aplikacji Post Builder systemu NX z uwzględnieniem typu sterowania maszyny. Skonfigurowano wykonany model kinematyczny wraz z kontrolerem i postprocesorem w bibliotece systemu NX. Przygotowano do obróbki przykładowe modele przy wykorzystaniu Synchronous Technology oraz wykonano program obróbki. Przeprowadzono weryfikację ścieżek i symulację obróbki. W końcowej części pracy porównano zasymulowaną obróbkę z rzeczywistym procesem frezowania podczas prób na maszynie.

**Słowa kluczowe:** sterownik, obrabiarka CNC, symulacja, system NX, weryfikacja programu, skrawanie.

### **WPROWADZENIE**

Nieodłącznymi narzędziami nowoczesnego inżyniera są programy wspomagające procesy projektowania *CAD/CAM/CAE* [1-5]. Szczególne miejsce w grupie narzędzi tego typu zajmuje system NX firmy *Siemens PLM Software* (rys. 1). Szeroko rozwinięte funkcje modułu *CAM* systemu *NX* dostarczają inżynierom narzędzi wspomagających wytwarzanie. Technolog programista obrabiarki ma możliwość programowania skomplikowanych ścieżek narzędzi przy pomocy szerokiej gamy metod i strategii obróbki. System *NX* dostarcza zaawansowanych rozwiązań w zakresie programowania maszyn *CNC* oraz symulacji i weryfikacji programowanych ścieżek narzędzi. Daje możliwość budowy wirtualnych obrabiarek, w specjalnie do tego celu przygotowanym środowisku konstruktora obrabiarek *MTB (Machine Tool Builder)*. Pozwala to na dostosowanie symulowanych procesów technologicznych do własnej maszyny i maksymalną zbieżność symulacji do rzeczywistego procesu obróbki [11–13].

Kompletna symulacja jest możliwa dzięki zastosowaniu techniki posprocesingu odwrotnego. Specjalnie przeznaczone do tego celu komponenty systemu pozwalają na prowadzenie symulacji na podstawie rzeczywistego postprocesora, poprzez zastosowanie do tego celu kontrolera wirtualnego. Środowisko programowe systemu *NX* oferuje użytkownikowi moduł *Manufacturing*, a w nim szereg przydatnych narzędzi optymalizujących projektowanie. Programista ma dostęp do baz danych procesów techno-

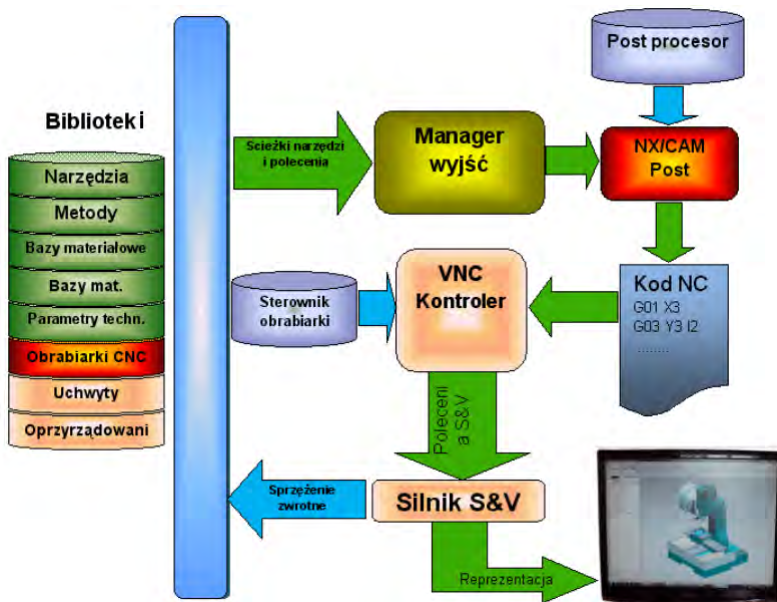
---

<sup>1)</sup> Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

logicznych, baz materiałowych i narzędziowych [1, 11–13]. Schemat działania oraz obiegu informacji w systemie wirtualnej symulacji i weryfikacji przedstawiono na rysunku 2.



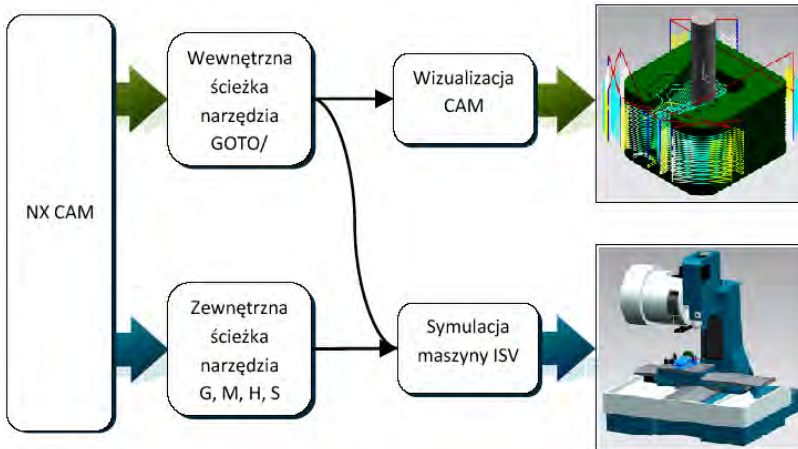
Rys. 1. Możliwości modułu Manufacturing systemu NX [11]



Rys. 2. Schemat działania oraz obiegu informacji w systemie wirtualnej symulacji i weryfikacji [11]

Dostęp do baz informacji technologicznych, materiałowych i narzędziowych oraz obrabiarek skraca proces przygotowania produkcji. Rozbudowany moduł weryfikacji ścieżek i symulacji obróbki, pozwala bezpieczniej i efektywniej wykorzystywać możliwości zastosowanych obrabiarek. Na rysunku 3 przedstawiono schemat sposobów realizacji wizualizacji i symulacji CAM w systemie NX.

Symulacja kinematyczna maszyn o geometrii modeli 3D, pozwala w maksymalny sposób na „przybliżenie” się do rzeczywistego procesu, realizowanego fizycznie na maszynie [6–10].

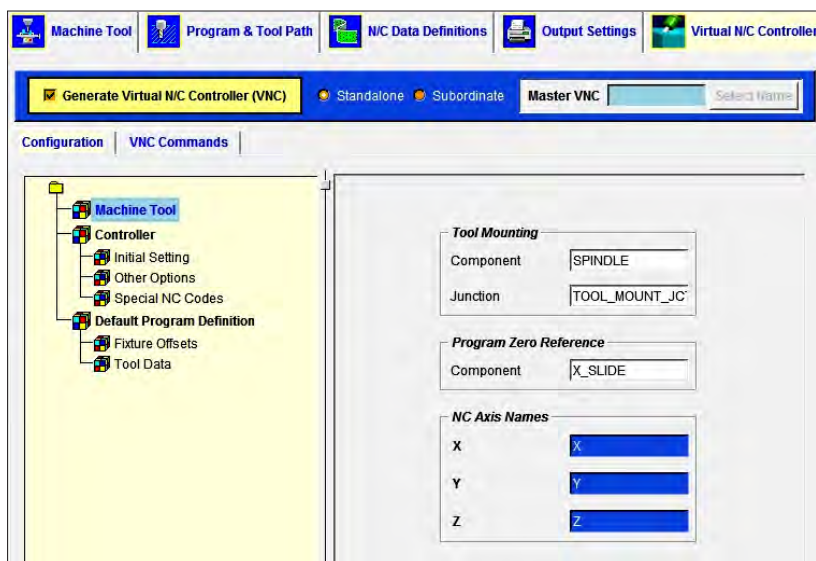


Rys. 3. Schemat sposobów realizacji wizualizacji i symulacji CAM w systemie NX

### Generowanie wirtualnego kontrolera VNC w aplikacji Post Builder

System NX zawiera aplikację *Post Builder* umożliwiającą tworzenie postprocesorów dla obrabiarek o wielu osiach sterowanych numerycznie (od 2 do 5 osi). Aplikacja ta funkcjonuje przy wykorzystaniu okien dialogowych i schematów blokowych (rys. 4).

Aplikacja *Post Builder* pozwala na wykorzystanie poszczególnych części dostępnych postprocesorów, w celu zbudowania własnego postprocesora. Na podstawie pliku źródłowego postprocesora centrum frezarskiego *FV-580A* ze sterowaniem *Fanuc OiMC*, po jego otwarciu w środowisku aplikacji *Post Builder* systemu *NX* wygenerowano kontroler wirtualny. *VNC* kontroler jest odpowiednikiem postprocesora dla rzeczywistej maszyny. Napisany jest w języku skryptowym *tcl*, ale może być również opracowany w językach wyższego poziomu takich jak *C++*. Podobnie jak postprocesor konwertuje kod generowany przez program *CAM* na kod obsługiwany przez maszynę. *VNC* kontroler generuje kod odczytywany w środowisku wirtualnej obrabiarki. *VNC* kontroler współpracuje bezpośrednio ze sterownikiem *Machine Tool Driver* odwołując się do sklasyfikowanych w konstruktorze obrabiarek komponentów maszyny.



Rys. 4. Okno Post Builder podczas generowania Virtual NC Controller

Jest to działanie nazywane postprocesingiem odwrotnym. Wirtualny kontroler jest programowalnym interfejsem, który uruchamia model obrabiarki generując rzeczywiste ruchy, które są wyświetlane w trakcie symulacji obrabiarki. Wygenerowany kontroler VNC zapisano wraz z plikami źródłowymi postprocesora. Posłużyło to do dalszej konfiguracji wirtualnego centrum obróbkowego.

## Konfiguracja instalacji obrabiarki w bibliotece maszyn programu NX

Wirtualna maszyna może zostać użyta do symulacji obróbki wyłącznie przez wywołanie jej z biblioteki obrabiarek systemu NX. W tym celu dodano zbudowany model kinematyczny wraz z postprocesorem i kontrolerem VNC do biblioteki maszyn NX. Biblioteki obrabiarek znajdują się w katalogu: \MACH\resource\library\machine\installed\_machines. Utworzono nowy katalog pod nazwą „fv-580a”, w którym umieszczono wszystkie pliki związane z modelem kinematycznym obrabiarki. W katalogu „graphics” umieszczono złożenie modelu z kinematyką utworzoną w konstruktorze MTB. W katalogu o przywoływanej nazwie maszyny muszą znajdować się wszystkie części złożenia obrabiarki. Następnie w katalogu „fanuc\_postprocessor” umieszczono pliki postprocesora i kontrolera VNC. Wczytywanie obrabiarki jest możliwe po dokonaniu wpisu w zawartości pliku „machine\_database.dat” w postaci:

```
DATA|fv-580a|1|tomeksci|None|Ex:|${UGII_CAM_LIBRARY_
INSTALLED_MACHINES_DIR}|fv-580a\fv-580a.dat|1.000000|
```

Przygotowana w ten sposób struktura katalogów i umieszczenie wpisu w plik „machine\_database” umożliwi wywołanie utworzonej kinematyki z biblioteki z poziomu projektowanego programu obróbki. Wczytanie odbywa się wraz z geometrią poszczególnych zespołów obrabiarki, postprocesorem i kontrolerem VNC.

## PRZYGOTOWANIE PROGRAMU OBRÓBK

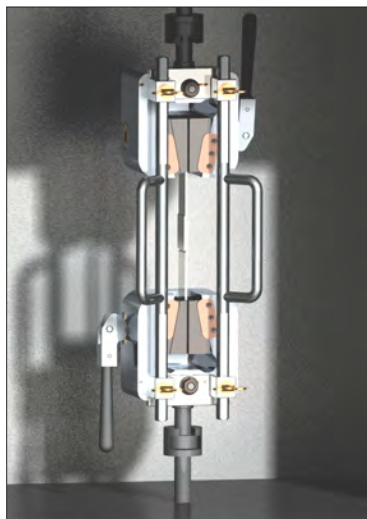
Program NX oferuje szeroki wachlarz narzędzi wspomagających programowanie maszyn sterowanych numerycznie w module *Manufacturing*. Wykorzystując narzędzia służące do frezowania 3-osiowego zaprojektowano obróbkę części uchwytu maszyny wytrzymałościowej, której model 3D przedstawiono na rysunku 5. Zaprojektowano program obróbki głowicy, w której frezowano kieszeń współpracującą ze szczękami mocującymi próbkę oraz program frezowania mimośrodowo blokującego obrót wałka zębatego.

Przygotowanie modeli części do obróbki CAM przeprowadzono przy pomocy *Synchronous Technology (ST)*. Narzędzia ST pozwalają łatwo usunąć nie obrabiane w danych operacjach geometrie modelu 3D przygotówki.

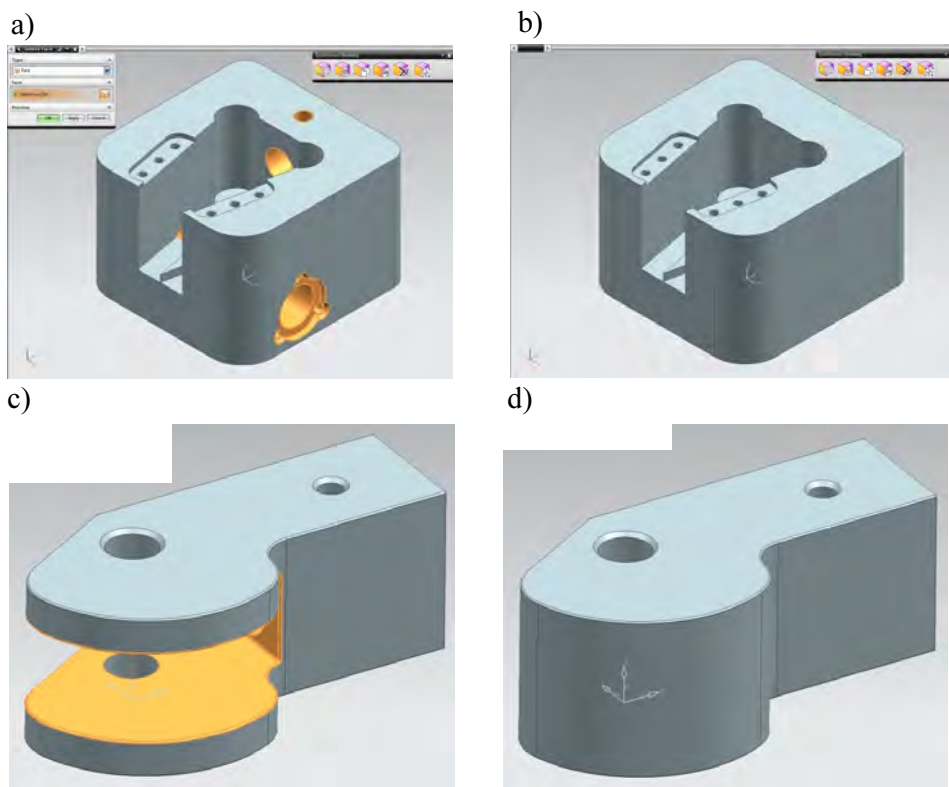
### Przygotowanie modelu części do obróbki CAM przy wykorzystaniu *Synchronous Technology*

W przygotowaniu modelu głowicy i mimośrodowo maszyny wytrzymałościowej do obróbki CAM wykorzystano moduł systemu *Synchronous Technology (ST)*. Moduł ten pozwala programiście na uproszczenie lub usunięcie nieistotnej geometrii modelu przedmiotu obrabianego, optymalizując w ten sposób programowanie. Narzędzia przyspieszają operacje czyszczenia modeli, które w wyniku importowania z innych formatów mogą zawierać uszkodzoną lub niekompletną geometrię [11]. *Synchronous Technology (ST)* posiada narzędzia służące do przesuwania, pochylenia, usuwania, zmian rozmiaru wybranych geometrii. W obrabianych przedmiotach użyto funkcji *Delete Face* w celu usunięcia geometrii obrabianych na innej obrabiarce lub w innym zamocowaniu. Wygenerowanie ścieżek z geometrią tych otworów uniemożliwiłoby dalszą obróbkę. Na rysunku 6 widoczne są w kolorze pomarańczowym lica do usunięcia w przygotowywanych do obróbki modelach 3D.

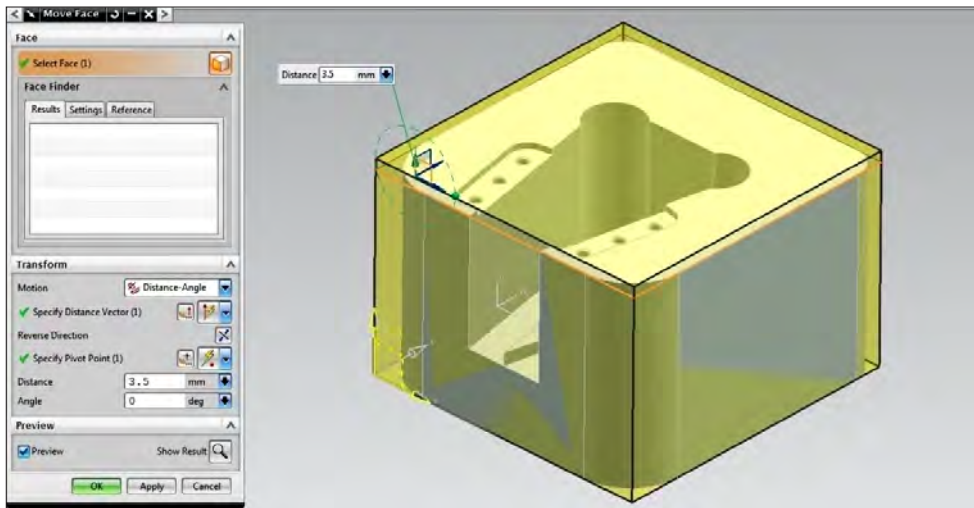
*Synchronous Technology (ST)* pozwala również w łatwy sposób utworzyć przygotówkę w przypadku obrabiania tylko wybranych powierzchni modelu. Umożliwiają to opcje *Move Face*, *Replace Face*, *Offset Region*, *Pull Face* używane z zależności od potrzeb, podczas przygotowania naddatków do późniejszej obróbki. W obrabianym przedmiocie ustawiono naddatek na planowanie górnej płaszczyzny poprzez użycie funkcji *Move Face* na odległość 3,5 mm (rys. 7). W podobny sposób przygotowano półfabrykat mimośrodowo zacisku. Wszystkie operacje wykonywane na modelu widoczne są



Rys. 5. Model 3D uchwytu maszyny wytrzymałościowej



Rys. 6. Wykorzystanie modułu Synchronous Technology do usunięcia geometrii nie obrabiających w projektowanych zabiegach: a) przed operacją Delete Face, b) po usunięciu geometrii



Rys. 7. Przygotowanie półfabrykatu obrabianej części głowicy przy pomocy operacji Move Face

w drzewie *Part Navigator*. Umożliwia to łatwą edycję i wyłączenie wybranych operacji w zależności od potrzeby wykorzystania ich podczas tworzenia programu obróbki.

Dzięki technologii synchronicznej możliwa jest edycja także nieparametrycznych plików pochodzących z innych systemów *CAD*.

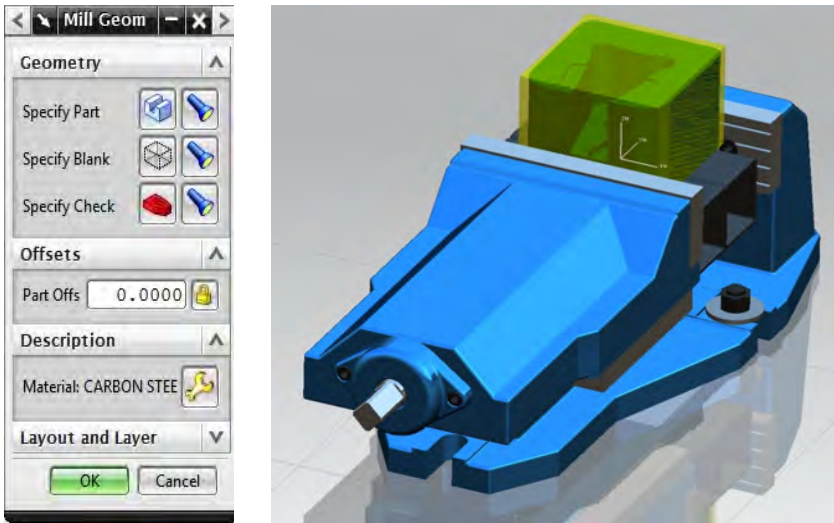
## Wykonanie programu frezowania

Program frezowania kieszeni głowicy rozpoczęto od wykonania złożenia przygotowki, przedmiotu obrabianego i imadła z przygotowanych uprzednio modeli 3D (rys 8). Obróbkę wykonano w dwóch zamocowaniach. Na przykładzie pierwszego zamocowania wykonano symulację procesu obróbki. Po ustawieniu układu współrzędnych przedmiotu obrabianego (*MCS*) zdefiniowano geometrię *WORKPIECE* wskazując część obrabianą (*PART*), przygotowkę (*BLANK*) i uchwyt (*FIXTURE*).

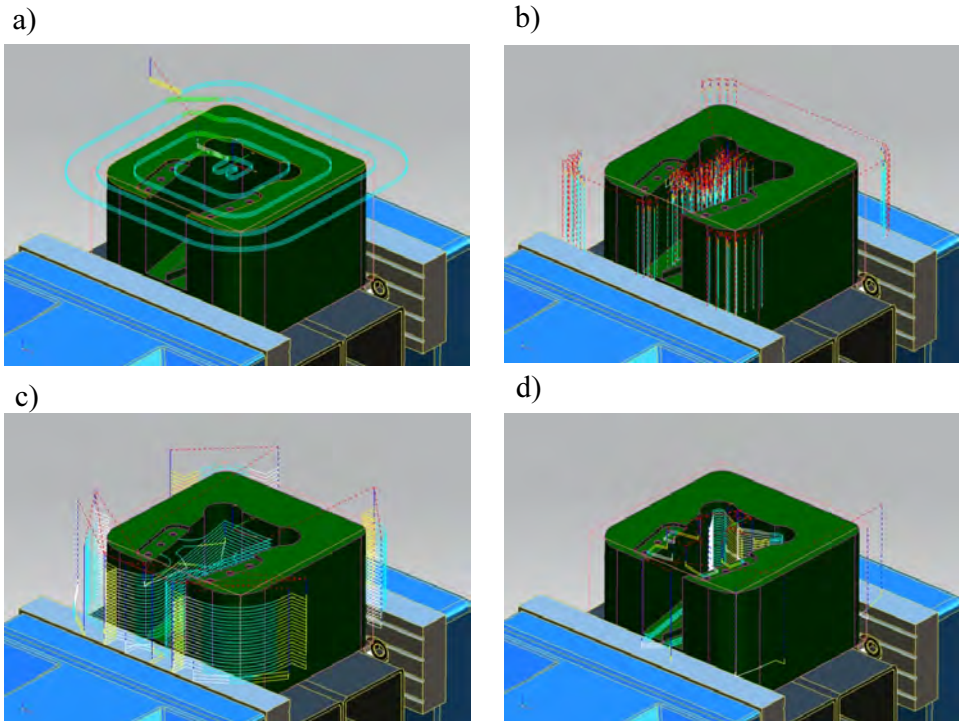
Następnie przystąpiono do definiowania operacji obróbkowych. Przeprowadzono frezowanie w czterech zabiegach:

- planowania powierzchni (*FACE\_MILLING\_AREA*),
- frezowania zgrubnego narzędziem typu plunger (*PLUNGE\_MILLING*),
- frezowania kształtowego zgrubnego (*CAVITY\_MILL*),
- frezowania wykańczającego (*CAVITY\_MILL*).

Wygenerowano ścieżki narzędzi widoczne na rysunku 9. Po ustawieniu geometrii obróbki *WORKPIECE* w taki sposób jak w przypadku frezowania głowicy przeprowadzono frezowanie mimośrodowo zacisku (rys. 10).

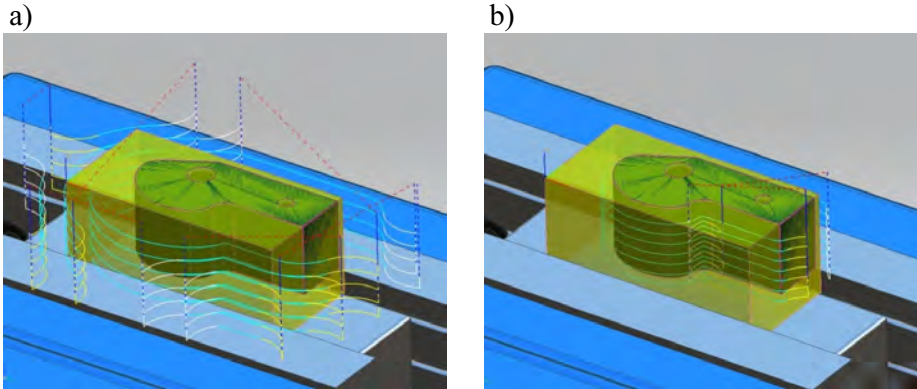


Rys. 8. Złożenie modelu i wskazanie geometrii WORKPIECE



Rys. 9. Ścieżki narzędzi podczas zabiegów: a) planowania, b) frezowania „plunge”, c) frezowania kształtowego zgrubnego, d) frezowania wykańczającego





**Rys. 10.** Ścieżki narzędzi zabiegów: a) frezowania zgrubnego, b) frezowania wykańczającego

Frezowanie przeprowadzono w czterech zabiegach:

- a) frezowania zgrubnego (*CAVITY\_MILL*) (rys. 10a),
- b) frezowania wykańczającego (*CAVITY\_MILL\_IPW*) (rys. 10b),
- c) wiercenia otworu  $\phi 6$  mm (*DRILLING*),
- d) wiercenia otworu  $\phi 3$  mm (*DRILLING*).

Zastosowane narzędzia i parametry obróbki ustalono wg zaleceń i katalogu firmy Sandvik. W dalszym etapie przeprowadzono proces weryfikacji i symulacji utworzonych programów obróbki.

### Instalacja wirtualnej obrabiarki w utworzonym programie obróbki

Po zaprojektowaniu procesu obróbki części w środowisku *CAM* programista ma możliwość przeprowadzenia procesu symulacji na wirtualnej obrabiarce bez konieczności stosowania maszyny rzeczywistej. Po wygenerowaniu programu obróbki należy zainstalować z biblioteki wybraną maszynę, na której tak jak na obiekcie rzeczywistym zostanie przeprowadzona obróbka.

Kolejność poprawnej konfiguracji przeprowadzono na utworzonym centrum frezarskim *FV-580A*. W widoku *Machine Tool View Operation Navigator* wybrano *Edit Generic Machine* po czym wybrano opcje wczytania obrabiarki z biblioteki. Z kategorii maszyn wybrano typ *MILL* a z wyświetlonej listy obrabiarkę *FV-580A* (rys. 11).

W kolejnym kroku dokonano wyboru sposobu pozycjonowania modelu obróbki na maszynie. W zależności od potrzeb programista może pozycjonować przedmiot obrabiany według:

- orientacji układu współrzędnych *MCS*,
- przez użycie pozycjonowania przez nadanie więzów *Assembly Constrain*,
- przez synchronizację układu współrzędnych dla przedmiotu obrabianego z wirtualnej maszyny (*Junction*) z układem bieżącym.

Name	Classification	Axis Name	Initial Value	NC Axis
FV-580A				
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE			
[-] Z_BASE				
SPINDLE		Z	0	✓
[-] Y_BASE				
Y_SLIDE		Y	0	✓
[-] X_SLIDE				
X_SLIDE		X	0	✓
[-] SETUP	_SETUP_ELEMENT			
BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_E...			
FIXTURE	_SETUP_ELEMENT			
PART	_PART, _SETUP_ELEMENT			

Rys. 11. Przypisanie komponentów typu SETUP w oknie MTN

W przeprowadzonej symulacji zastosowano pozycjonowanie przez nadanie więzów *Assembly Constrain*, w celu ustawienia i utwierdzenia przedmiotu wraz z imadłem na stole obrabiarki.

Po ustawieniu modelu obrabianego na stole obrabiarki przypisano w *Machine Tool Navigator – Setup Configurator* elementy instalacyjne *SETUP* (rys. 11). Są to części identyfikowane przez kontroler *VNC* jako: przygotówka (*BLANK*), uchwyt (*FIXTURE*) i części obrabiane (*PART*). Wprowadzenie tych komponentów odbywa się poprzez *Edit K-Component* utworzonych wcześniej w *MTB* komponentów.

## PROCES WERYFIKACJI I SYMULACJI

Możliwość weryfikacji i symulacji projektowanych procesów obróbkowych jest wyznacznikiem jakości i zaawansowania oprogramowania *CAM*. Rozbudowane struktury maszyn wieloosiowych obrabiarek, w których każda z osi napędzana jest własnym serwonapędem, wymagają stosowania zaawansowanych technik programowania i synchronizacji.

W środowisku programowym systemu *NX* istnieje wielopoziomowe podejście przeprowadzania weryfikacji i symulacji. Od standardowego - charakterystycznego dla wielu innych systemów *CAM* (symulacji na podstawie wewnętrznej definicji ścieżki), po zaawansowaną symulację *3D* z synchronizacją dla wielowrzecionowych centrów frezarskich [10].

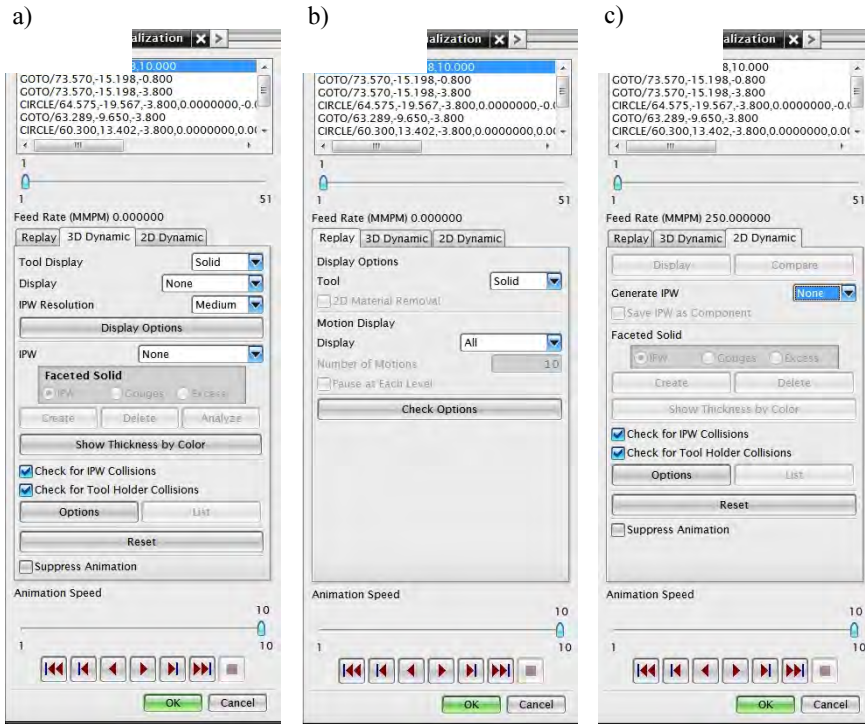
### Weryfikacja i wizualizacja podstawowa

Przeprowadzenie symulacji procesu wytwarzania na podstawie wewnętrznej definicji ścieżki, pliku *CL* lub innego rodzaju zdefiniowania kolejnych położeń narzędzia obróbczego należy do standardowych możliwości systemów *CAM*. Programista otrzymuje informację na temat kolejnych położeń narzędzia na poziomach obróbki w kolej-

nych operacjach, sposobie i miejscu wejścia narzędzia w materiał oraz pozostałego jeszcze wielkości nadkładu na nieobrobionych ścianach. Stosując narzędzia weryfikacji możliwe jest również wykrycie ewentualnych kolizji narzędzia z elementem obrabianym, szczególnie w przypadku, gdy droga przemieszczenia narzędzia pomiędzy kolejnymi regionami obróbki przebiega poprzez występujące w elemencie występy [1].

System *NX* dysponuje narzędziami do weryfikacji ścieżki narzędzia na poziomie podstawowym umożliwiającymi weryfikację w trzech trybach:

- *Replay* (rys. 12a) – wyświetlanie ścieżki w trybie narzędzia poruszającego się po wygenerowanych ścieżkach bez usuwania materiału. Możliwe jest przy tym dowolne ustawienie ilości poziomów wyświetlanych ścieżek jak również długość wyświetlanych kroków. Narzędzie może być wyświetlane jako osi, punktu lub złożenie. Wyświetlane mogą być również występujące podcięcia lub kolizje zdefiniowanej oprawki z przedmiotem.
- *3D Dynamic* (rys. 12b) – dynamiczne wyświetlanie 3D – w trybie tym narzędzie porusza się po wygenerowanych ścieżkach z usuwaniem materiału. Możliwe jest obracanie i inspekcja obróbki z dowolnego kierunku. Ustawienia wyświetlania narzędzia i wykrywania kolizji są dostępne jak w trybie *Replay*. Dodatkowo dostępne są funkcje ustawień wizualizacji i wyświetlania pozostałego po obróbce materiału *IPW* (*In Process Workpiece*).



Rys. 12. Tryby wizualizacji podstawowej a) *Replay*, b) *3D Dynamic*, c) *2D Dynamic*

- *2D Dynamic* (rys. 12c) – dynamiczne wyświetlanie *2D* – tryb ten jest tożsamy trybem *3D* z tą różnicą, że nie możliwa jest zmiana orientacji wyświetlania w trakcie wizualizacji i widoczne są tylko przedmiot obrabiany, przygotówka i narzędzie [1].

## Symulacja pracy obrabiarki

Kompletna symulacja pracy obrabiarki pozwala na osiągnięcie poziomu weryfikacji najbardziej zbliżonego do rzeczywistej pracy maszyny. Wykorzystując utworzony model wirtualnego centrum frezarskiego FV-580A przeprowadzono symulację procesu frezowania części uchwytu maszyny wytrzymałościowej.

Po utworzeniu programów obróbkowych i zainstalowaniu wirtualnej obrabiarki wywołano panel symulacji poprzez *Tool Path Simulate*. W panelu tym zawarte są wszystkie dostępne funkcje zintegrowanej weryfikacji i symulacji procesu (rys. 13).

Poszczególne człony panelu kontrolnego symulacji odpowiadają za:

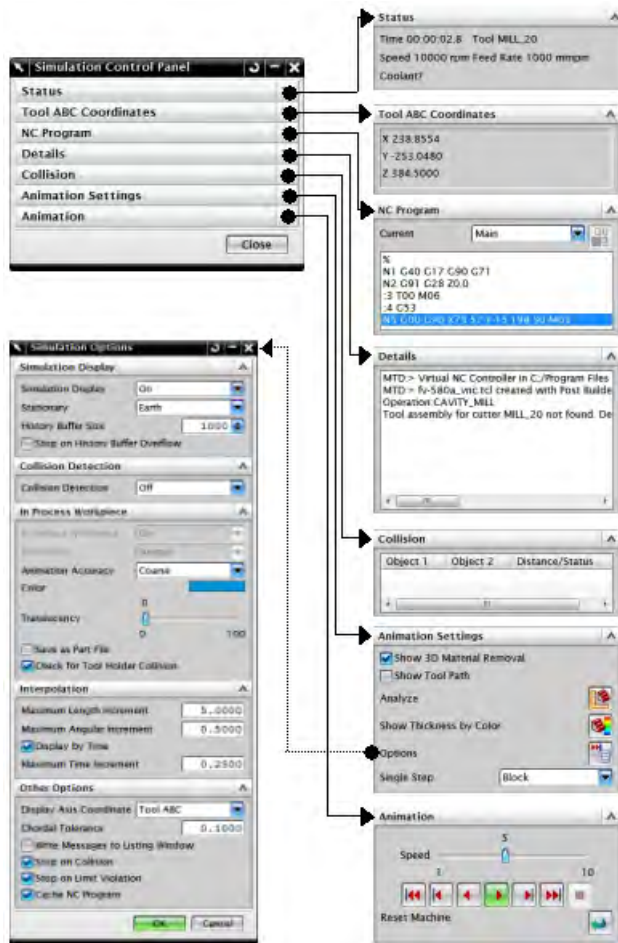
- *Status* – wyświetlanie czasu rzeczywistej obróbki (licznik skalowalny w zależności od prędkości symulacji), aktualnie używanego narzędzia i parametrów technologicznych,
- *Tool ABC Coordinates* – wyświetlanie położenia zera układu współrzędnych narzędzia w stosunku do układu zerowego maszyny,
- *NC Program* – wyświetlanie aktualnie realizowanego bloku programu *NC*,
- *Details* – wyświetlenie statusu użytego w symulacji postprocesora, kontrolera *VNC* i poszczególnych narzędzi,
- *Collisoin* – wyświetlanie kolizji obiektów obrabiarki,
- *Animation Settings* – zawiera ustawienia wyświetlania usuwanego materiału, wizualizacji ścieżki narzędzia, opcje wyświetlania pozostałości materiału po obróbce,
- *Animation* – kontrolę symulacji, regulację prędkości i kroku wizualizacji.

Dodatkowo w opcjach *Animation Settings* użytkownik ma możliwość konfiguracji:

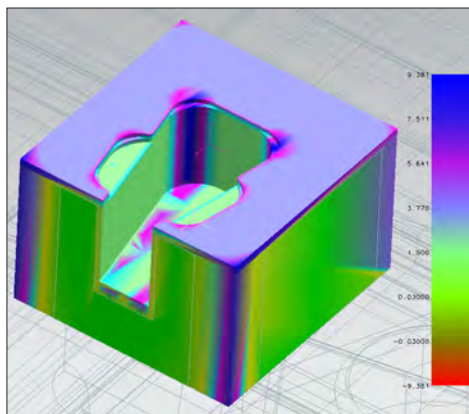
- ustawień wyświetlania i położenia wirtualnej maszyny,
- detekcji wychwytywanych kolizji,
- ustawień związanych z wyświetlaniem geometrii *IPW*,
- ustawień interpolacji,
- ustawień opcji wyświetlania wizualizacji.

Funkcje zintegrowanej weryfikacji i symulacji w *NX* przedstawiono na rysunku 13. W dowolnym momencie prowadzonej symulacji użytkownik ma możliwość utworzenia mapy konturowej wielkości naddatku i pomiar odległości (*Show Thickness by Color*) w dowolnym punkcie geometrii (rys. 14).

Pozwala to na wizualne określenie ilości pozostałego materiału oraz wychwycenie ewentualnych podcięć materiału.



Rys. 13. Funkcje zintegrowanej weryfikacji i symulacji w NX



Rys. 14. Mapa konturowa wielkości pozostałego nadadku obróbkowego głowicy uchwytu

## ANALIZA PORÓWNAICZA SYMULOWANEGO PROCESU Z RZECZYWISTYM PROCESEM OBRÓBKI

Porównanie procesu przeprowadzonego na wirtualnej obrabiarce z rzeczywistą obróbką wykonano na przykładzie frezowania części mimośrodowo zacisku uchwytu i głowicy uchwytu maszyny wytrzymałościowej. Rzeczywistą obróbkę przeprowadzono na centrum frezarskim *FV-580A* będącym na wyposażeniu Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej. Proces obróbki monitorowano w celu porównania czasów obróbki detalu. W obu symulowanych programach obróbkowych nie wykryto kolizji pomiędzy narzędziem a przedmiotem obrabianym i uchwytem jak również zespołami ruchowymi maszyny. Po wykonaniu symulacji wygenerowane programy obróbki przesłano do pamięci obrabiarki i wykonano proces skrawania, w trakcie którego mierzono przybliżony czas poszczególnych operacji frezowania. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 1 i tabeli 2 wraz z wynikami odczytanymi podczas symulacji.

Pomiary czasu przeprowadzono stoperem dla każdej operacji osobno. Różnice czasowe symulacji i rzeczywistego procesu wynikają z powodu braku symulacji wymiany narzędzia na wirtualnej maszynie. Z tego powodu czas obróbki na rzeczywistej maszynie uległ wydłużeniu.

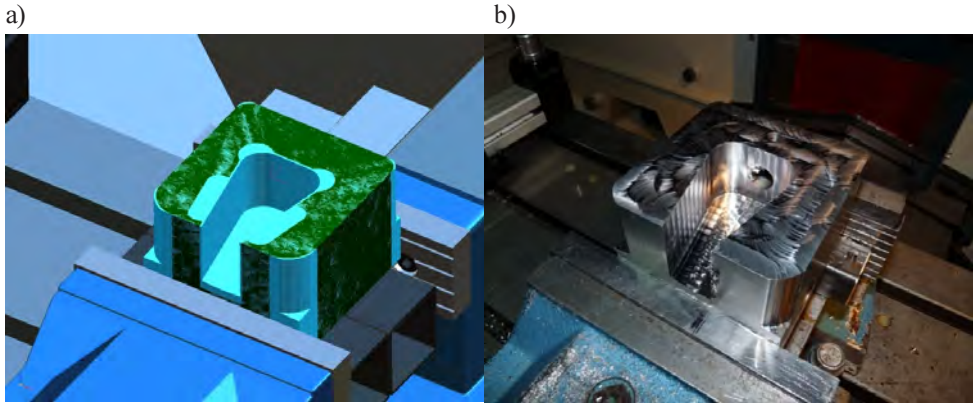
Na rysunkach 15 i 16 przedstawiono widok frezowanych części uchwytu w zestawieniu modelu z symulacji 3D i zdjęcia rzeczywistego elementu. Widoczne są poszczególne zagłębienia i pozostałości materiału po przejściach narzędzia. Przedstawiona wizualizacja obrabianych elementów pokazuje w jakim stopniu symulowany proces, jest zbliżony do rzeczywistego.

**Tabela 1.** Czas obróbki głowicy uchwytu

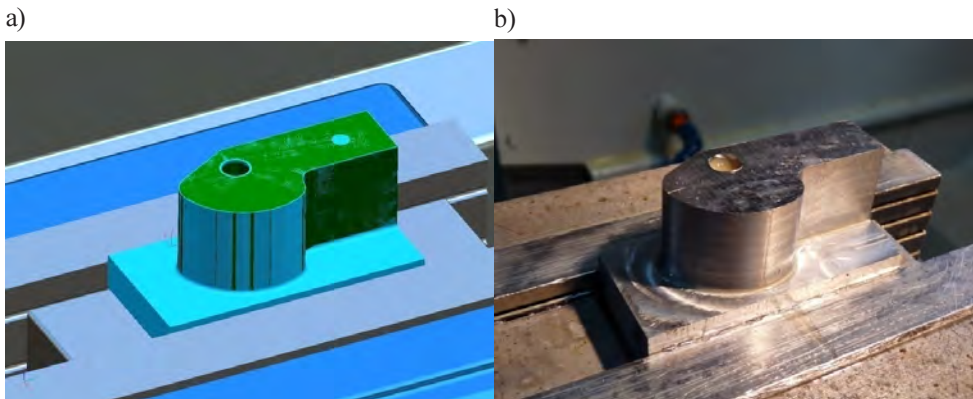
Obrabiany detal	Zabieg	Czas obróbki wirtualnej	Czas obróbki rzeczywistej
Głowica uchwytu	a) planowania powierzchni	8 min 05 s	8 min 55 s
	b) frezowania zgrubnego narzędziem typu plunger	7 min 55 s	8 min 20 s
	c) frezowania zgrubnego	1 h 15 min 30 s	1 h 17 min 10 s
	d) frezowania wykańczającego	23 min 35 s	24 min 15 s

**Tabela 2.** Czas obróbki mimośrodowo zacisku uchwytu

Obrabiany detal	Zabieg	Czas obróbki wirtualnej	Czas obróbki rzeczywistej
Mimośród zacisku uchwytu	a) frezowania zgrubnego	13 min 10 s	12 min 25 s
	b) frezowania wykańczającego	6 min 45 s	6 min 30 s
	c) wiercenia otworu $\varnothing 6\text{mm}$	2 min 10 s	2 min 25 s
	d) wiercenia otworu $\varnothing 3\text{mm}$	1 min 50 s	2 min 10 s



**Rys. 15.** Widok głowicy uchwytu po częściowej obróbce: a) model z symulacji 3D, b) rzeczywisty element



**Rys. 16.** Widok mimośrodowo zacisku uchwytu po częściowej obróbce: a) model z symulacji 3D, b) rzeczywisty element

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zintegrowane systemy projektowania *CAD/CAM/CAE* zrewolucjonizowały pracę współczesnych inżynierów. Narzędzia wspomagania wytwarzania *CAM* zajmują w grupie tych narzędzi szczególne miejsce. Wprowadzanie zaawansowanych technik projektowania i symulacji pozwala na zwiększanie możliwości wytwórczych.

Prowadzenie kompletnej symulacji kinematycznej wirtualnych obrabiarek w przestrzeni 3D techniką postprocesingu odwrotnego jest narzędziem pozwalającym na:

- weryfikację poprawności wygenerowanych ścieżek poprzez analizę kodu *NC* bez konieczności prowadzenia prób na maszynie,
- obserwację ruchów modelu 3D obrabiarki oraz symulację usuwania materiału,

- identyfikację ewentualnych błędów projektowych już na etapie symulacji,
- detekcję kolizji nie tylko pomiędzy narzędziem a przedmiotem obrabianym, ale także pomiędzy zespołami ruchowymi maszyny i oprzyrządowaniem, co jest szczególnie ważne w obróbce wieloosiowej,
- efektywne wykorzystanie możliwości obróbkowych maszyny przez uwzględnienie ograniczeń ruchu osi i przestrzeni roboczych,
- optymalizację i synchronizację ruchów w przypadku obróbki wielowrzecionowej,
- pomiar czasów obróbki w większym stopniu zbliżonych do rzeczywistych na obrabiarce,
- skrócenie czasu przygotowania produkcji przez brak konieczności przeprowadzania prób na maszynie,

Budowanie wirtualnych parków maszynowych pozwala na projektowania procesów technologicznych bez konieczności eksperymentowania na maszynie rzeczywistej. Przeprowadzony proces budowy i symulacji wirtualnej obrabiarki pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- wirtualny modelu kinematyczny pionowego centrum frezarskiego *FV-580A* odwzorowuje ograniczenia ruchu osi i przestrzeni obróbkowej,
- zbudowana kinematyka współpracuje za pośrednictwem wirtualnego kontrolera z postprocesorem używanym na obrabiarce,
- wykonana symulacja procesów obróbki przykładowych elementów została bezkolizyjnie odwzorowana na rzeczywistej maszynie,
- nieznaczne różnice czasu obróbki na podstawie symulacji z czasem zmierzonym podczas rzeczywistego procesu wynikają z braku symulacji wymiany narzędzia), należy przypuszczać, że po ich uwzględnieniu czasy te pokryją się,
- wizualizacja poszczególnych zabiegów obróbkowych odpowiada wyglądowi części obrabianych na centrum frezarskim.

Przeprowadzona symulacja pozwoliła na pełne odwzorowanie rzeczywistego procesu obróbki poprzez obserwację ruchów modelu obrabiarki, wychwycenie kolizji i pomiar czasu obróbki bez fizycznego kontaktu z maszyną. Porównanie symulacji i rzeczywistego procesu frezowania dało obraz zasadności tworzenia tego typu modeli kinematycznych i pokazało jak zaawansowane techniki symulacji umożliwiają odzwierciedlenie rzeczywistego procesu technologicznego. Przedstawiona praca (w połączeniu z drugim artykułem autorów pt.: „Model geometryczny i kinematyczny pionowego centrum obróbkowego *CNC FV 580*” może stanowić przewodnik metodyczny tworzenia wirtualnych maszyn technologicznych z uwzględnieniem sterowania nimi jak obiektami rzeczywistymi. W konsekwencji pozwala to na to na tworzenia wirtualnych laboratoriów, w których prowadzenie procesu dydaktycznego jest możliwe bez konieczności zakupu drogich i zajmujących dużo miejsca obrabiarek.



## LITERATURA

1. Augustyn K. NX CAM. Programowanie ścieżek dla obrabiarek CNC. Helion Gliwice 2010.
2. Augustyn K. EdgeCAM. Komputerowe wspomaganie obróbki skrawaniem. Helion Gliwice 2006.
3. Habrat W. Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno 2007.
4. Honeczarenko J. Obrabiarki sterowane numerycznie. WNT, Warszawa 2008.
5. Kolka A., Kosmol J., Słupik H. Programowanie obrabiarek sterowanych numerycznie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2001.
6. Kosmol J. Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. WNT, Warszawa 2000.
7. Král' Ján et al. Tvorba parametrických 3D plôch v CAD systémoch. In: Acta Mechanica Slovaca, roč. 12, č. 3-a, 2008: 223-228.
8. Kwiatkowski W. Podstawy teorii sterowania – wybrane zagadnienia. Wydawnictwo BEL 2006.
9. Szafarczyk M., Niedbała M. Obrabiarki modułowe, przekształcalne, przestawialne. Mechanik, nr 12, 2003.
10. Instrukcja użytkownika Centrum obróbkowe pionowe FV-580A MOC MECHANICY Sp. z o.o.
11. <http://www.siemens.com/plm> (2010-09-12).
12. <http://www.automatyka.siemens.pl/> (2010-09-28).
13. <http://www.camdivision.pl/> (2010-09-16).

## VIRTUAL CONTROLLER VNC OF VERTICAL CNC MACHINE CENTER FA-580A

### Summary

In this paper generating process of virtual controller is presented. This process is care out with used NX system with Post Builder application and take into type of steering machine system. Kinematics model with controller and postprocessor in NX library was configured. Machining process of geometrical models with used Synchronous Technology and NC program was developed. In this article tool path verification and simulation is presented. Finally, process of machining simulation and real cutting process during tests on CNC machine tool is compared.

**Key words:** controller, CNC machine tool, NX system, simulation, program verification, cutting.