

Jerzy Józwik¹⁾, Maciej Włodarczyk¹⁾, Tomasz Ścierka¹⁾

MODEL GEOMETRYCZNY I KINEMATYCZNY PIONOWEGO CENTRUM OBRÓBCZEGO CNC FV 580A

Streszczenie. W pracy przedstawiono możliwości systemu NX jako zintegrowanego środowiska programowego CAD/CAM/CAE. Opisano proces tworzenia modelu geometrycznego i kinematycznego centrum frezarskiego FV-580A. Proces budowy wirtualnej maszyny przeprowadzono w środowisku konstruktora obrabiarek MTB (Machine Tool Builder) programu NX. Na zbudowanym modelu wirtualnym przeprowadzono symulację i weryfikację ruchów.

Słowa kluczowe: modelowanie, projektowanie, systemy CAD/CAM, model geometryczny, model kinematyczny, symulacja, NX system.

WPROWADZENIE

Nieodłącznymi narzędziami nowoczesnego inżyniera są programy wspomagające procesy projektowania *CAD/CAM/CAE* [2]. Szczególne miejsce w grupie narzędzi tego typu zajmuje system *NX* firmy *Siemens PLM Software* [11–12]. Szeroko rozwinięte funkcje modułu *CAD* oraz *CAM* systemu *NX* dostarczają narzędzi wspomagających projektowanie i wytwarzanie, co zwiększa wydajności pracy inżynierów, konstruktorów, technologów i programistów maszyn. Budowanie wirtualnych parków maszynowych pozwala na projektowania procesów technologicznych bez konieczności eksperymentowania na maszynie rzeczywistej. Daje to możliwości tworzenia wirtualnych laboratoriów, w których prowadzenie działań dydaktycznych jest możliwe bez konieczności zakupu drogich i zajmujących dużo miejsca obrabiarek. Symulacja kinematyczna maszyn o geometrii modeli *3D*, pozwala w maksymalny sposób na przybliżenie się do rzeczywistego procesu, realizowanego fizycznie na maszynie [1, 3–9].

METODYKA I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE

Proces budowy wirtualnej obrabiarki CNC w środowisku programu *NX* poprzedziła analiza zasadności tworzenia wirtualnych modeli kinematycznych. Zapoznano się z tematyką tworzenia kinematycznych modeli obrabiarek w systemie *NX*. Przed wykonaniem geometrycznego i kinematycznego modelu wirtualnej obrabiarki *CNC* przyjęto następujące założenia:

¹⁾ Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

- zostanie wykonany model geometryczny i kinematyczny centrum frezarskiego *FV-580A* będącego na wyposażeniu Katedry Podstaw Inżynierii Produkcji Politechniki Lubelskiej,
- do tworzenia geometrii modelu zostanie wykorzystana dokumentacja dostarczona przez dystrybutora maszyny oraz pomiary bezpośrednie maszyny,
- tworzony model będzie wiernie odwzorowywał przestrzenie robocze obrabiarki,
- utworzona kinematyka będzie współpracować z dostępnym postprocesorem,
- możliwa będzie symulacja procesów obróbki w znacznym stopniu zbliżonych do rzeczywistych.

Zakres prac przygotowawczo-projektowych obejmował:

- zapoznanie się z dokumentacją centrum frezarskiego *FV-580A* [10],
- przeprowadzenie niezbędnych do wykonania modelu 3D pomiarów gabarytów, przestrzeni obróbkowych, poszczególnych zespołów ruchowych maszyny nie uwzględnionych w dokumentacji,
- wykonanie modelu 3D centrum frezarskiego *FV-580A*,
- zapoznanie się z funkcjami modułu budowy kinematyki obrabiarki *MTB (Machine Tool Builder)* oraz działaniem aplikacji *Post Builder* systemu *NX*,
- wykonanie kinematycznego modelu obrabiarki na podstawie utworzonej wcześniej geometrii 3D zespołów obrabiarki.

Proces budowy wirtualnej maszyny przeprowadzono w środowisku konstruktora obrabiarek *MTB (Machine Tool Builder)* programu *NX*, przy pomocy którego możliwe jest:

- budowanie wirtualnych modeli obrabiarek i narzędzi,
- stosowanie modeli geometrycznych 3D do definiowania zespołów obrabiarki,
- definiowanie kinematyki poszczególnych członów,
- animacja ruchów według ustawionych osi maszyny do celów testowych,
- edycja podzespółów poprzez drzewo złożenia.

PROCES TWORZENIA MODELU KINEMATYCZNEGO OBRABIARKI

Model kinematyczny obrabiarki w programie *NX* wykonano jako złożenie brył geometrycznych elementów reprezentujących poszczególne zespoły wykonawcze maszyny. Kinematyka maszyny jest dodawana do modelowanych zespołów i zawiera się w pliku złożenia. Stopień odwzorowania rzeczywistej obrabiarki odzwierciedla gabaryty maszyny, tak aby możliwe było symulowanie pełnej przestrzeni roboczej obróbki. Model kinematyki określa związek pomiędzy częściami składowymi maszyny, określa również nazwy osi i wartości graniczne przemieszczeń [11].

Proces tworzenia modelu kinematycznego centrum frezarskiego *FV-580A* ze sterowaniem *Fanuc 0iMC*, przy pomocy konstruktora *MTB* obejmował:

- wykonanie złożenia modelu 3D centrum frezarskiego *FV-580A*,
- zdefiniowanie kinematyki w module budowy obrabiarki *MTB*,

- wygenerowanie wirtualnego kontrolera *VNC* w aplikacji *Post Builder*,
- konfigurację instalacji obrabiarki.

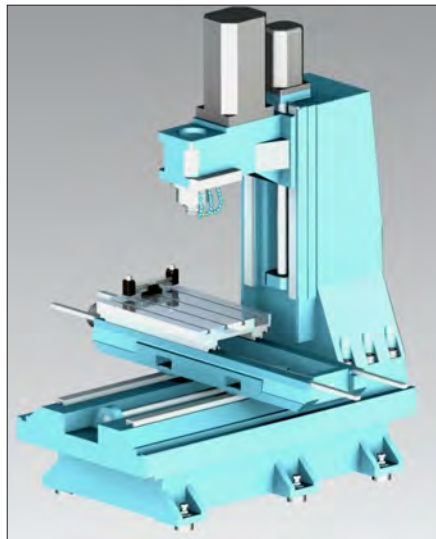
Model przeznaczony do konfiguracji kinematyki musi spełniać szereg wymagań:

- geometria złożenia maszyny musi zawierać podstawowe zespoły: korpusy, stoły, prowadnice, wrzeciona, obudowy odwzorowujące przestrzeń roboczą,
- w katalogu o przywoływanej z biblioteki nazwie maszyny muszą znajdować się wszystkie części złożenia obrabiarki,
- w bibliotece obrabiarek musi być dokonany wpis w „akta” w pliku *machine_database.dat*, aby obrabiarka mogła być wczytywana,
- w katalogu postprocesor musi być utworzony plik tekstowy *.ascii, w którym zdefiniowano postprocesor maszyny.

Złożenia modelu 3D centrum obróbkowego *FV-580A*

Budowa kinematyki obrabiarki w systemie *NX* jest możliwa po uprzednim wykonaniu modeli 3D poszczególnych podzespołów. Polega ona na utworzeniu brył geometrycznych poszczególnych elementów, a następnie wykonaniu złożenia zespołów wykonawczych maszyny.

Na podstawie dokumentacji przekazanej przez producenta maszyny oraz dodatkowych pomiarów obrabiarki zbudowano model 3D pionowego centrum frezarskiego *FV-580A* [10]. Do utworzenia geometrii części użyto narzędzi modułu *NX Modeling* (rys. 1), natomiast do modelowania obudów wykorzystano moduł *NX Sheet Metal* (rys. 2).



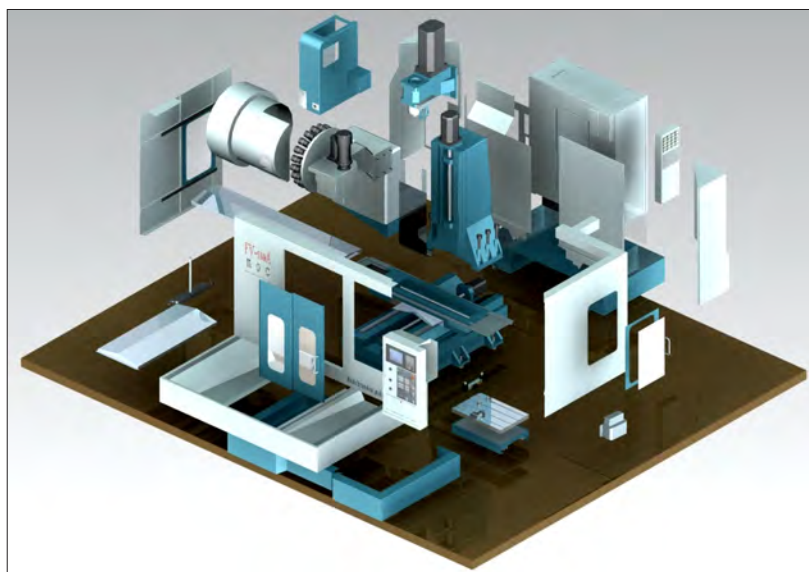
Rys. 1. Części składowe pionowego centrum obróbkowego *FV580-A* zaprojektowane w module *Modeling*

Wykonano modele 3D poszczególnych zespołów: łoża, słupa, sań, prowadnic, silników i obudów. Jest to wystarczające, aby odwzorować przestrzeń roboczą obrabiarki.

Na rysunku 3 przedstawiono widok 3D złożenia zespołów modelowanej obrabiarki *FV-580A*. Złożenie modelu obrabiarki zostało wykonane w specjalny sposób po to, by możliwe było łatwe zdefiniowanie kinematyki. Poszczególne części pogrupowano w zależności od ruchów jakie będą wykonywać w modelu kinematycznym. Stół obrabiarki został połączony w zespół z każdym elementem poruszającym się w osi X maszyny. Podobnie, sanie osi Y oraz wrzeciennik poruszający się w osi Z, zostały połączone w osobne zespoły ruchowe. Tak przygotowany model posłużył do zbudowania (na jego podstawie) kinematyki w module *MTB*.



Rys. 2. Osłona pionowego centrum obróbkowego FV-580A zaprojektowana w module NX Sheet Metal



Rys. 3. Widok 3D podzespołów pionowego centrum obróbkowego FV-580A

Definiowanie kinematyki obrabiarki w module *Machine Tool Builder MTD*

Definiowanie kinematyki wirtualnej obrabiarki w konstruktorze obrabiarek *MTB* polega na określeniu relacji między składnikami modelu maszyny oraz określeniu kierunków i ograniczeń ruchu osi sterowanych X, Y, Z. *MTB* opiera się na strukturze drzewa (rys. 4) do reprezentacji modelu tworzonej kinematyki. Drzewo to zawiera wszystkie elementy kinematyki i pokazuje relacje między każdym z tych elementów.

Podobnie jak w module *Assembly* w drzewie *MTN* (*Machine Tool Navigator*) obowiązuje zasada struktury złożenia *Master Model*. Struktura ta polega na ustanowieniu hierarchii części w zespole na zasadzie rodzic – dzieci (*Parent – Children*). Każda część typu rodzic jest nadrzędna w stosunku do dzieci. Przejawia się to tym, że podczas definiowania kinematyki każde dziecko porusza się w zespole ze swoim rodzicem (rys. 4).

Machine Tool Navigator - Machine Tool Builder						
Name	Classification	Axis Name	NC Axis	Axis Type	Axis Limits	Junctions
FV-580A						
[-] MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE					MACHINE_ZERO*
[-] Z_BASE						
[-] SPINDLE		Z	✓	Linear	510	TOOL_MOUNT_JCT*
[-] Y_BASE						
[-] Y_SLIDE		Y	✓	Linear	420, 0	
[-] X_SLIDE		X	✓	Linear	580, 0	
[-] SETUP	_SETUP_ELEMENT					PART_MOUNT
[-] BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_ELE...					
[-] FIXTURE	_SETUP_ELEMENT					
[-] PART	_PART, _SETUP_ELEMENT					

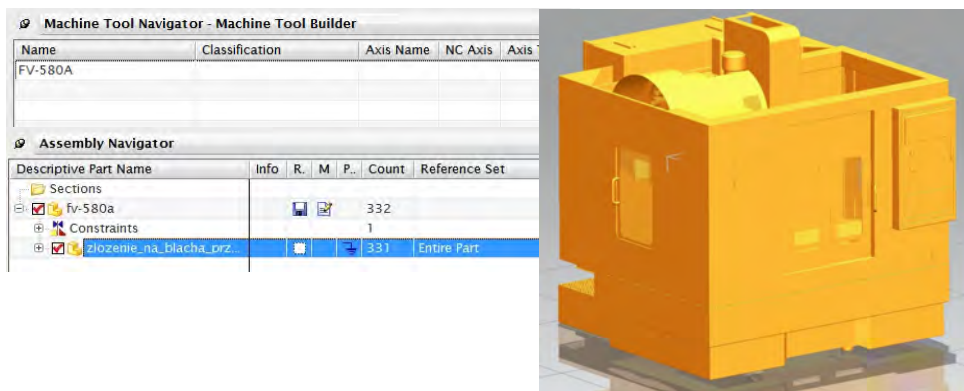
Rys. 4. Drzewo złożenia Machine Tool Navigator pionowego centrum frezarskiego FV-580A

Wykorzystując przygotowany odpowiednio w module *Assembly model 3D*, budowany w strukturze *Master Model*, nadano składniki fizyczne maszyny, nazywane *K-Components*.

K-Components są to części reprezentowane przez zespoły modelowane i są określone w *Machine Tool Builder* jako odniesienia do złożenia w *Assembly*. W budowanej kinematyce w skład *K-Components* wchodzi części złożenia: baz stałych (łoże i słup frezarki), części ruchome osi X (stół, korpusy i obudowy sań), części ruchome osi Y (korpusy i obudowy sań), części ruchome osi Z (wrzeciennik, wrzeciono, obudowy wrzeciona).

Budowę obrabiarki rozpoczęto od nadania jej nazwy *FV-580A* w *MTN* i dodania całego złożenia części z modułu *Assembly* (rys. 5). Jest to ważny krok, ponieważ pod taką nazwą maszyna będzie wywoływana z biblioteki do programu obróbkowego.

Pierwszym z określonych komponentów obrabiarki w drzewie *MTN* była baza maszyny (*MACHINE BASE*), za którą przyjęto łoże obrabiarki. Jest to część modelu 3D w pełni utwierdzona przy pomocy *Assembly Constraints* typu *Fix*.



Rys. 5. Operacja dodania złożenia do modułu MTB

Po określeniu bazy należy określić układ współrzędnych obrabiarki. W tym celu utworzono na bazie maszyny komponent skrzyżowanie – *Junctions*. *Junctions* służy do klasyfikacji układów współrzędnych, przypisania im nazw i funkcji.

Definiuje się układy współrzędnych dla:

- układu zerowego maszyny,
- układu automatycznego montażu narzędzi,
- układu montażu przedmiotów obrabianych.

Układy te są także używane do definiowania osi *NC* i są na trwałe związane z poszczególnymi komponentami (poruszają się razem z nimi).

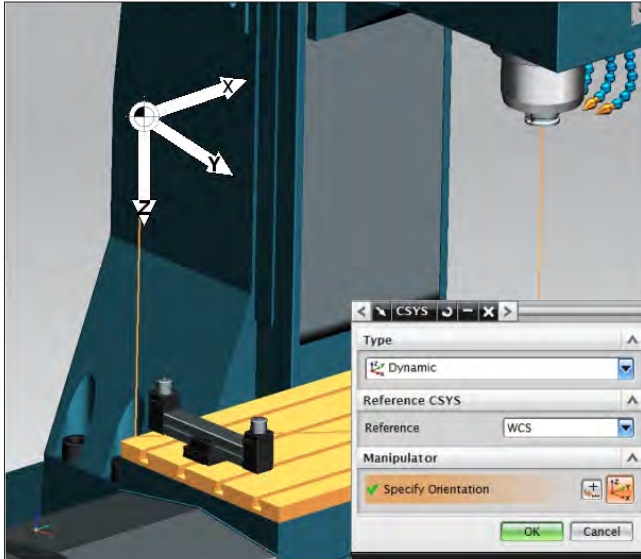
Bazowym nieruchomym układem przy pomocy którego definiowane są osie *NC* i ograniczenia maszyny jest układ zerowy (*_MACHINE_ZERO*). Zdefiniowano go dynamicznie przy pomocy umieszczonego w złożeniu punktu i układu absolutnego maszyny. Punkt ten zdefiniowano na podstawie danych z instrukcji dostarczonej przez producenta maszyny o ograniczeniach ruchu obrabiarki (tab. 1).

Punkt zerowy umiejscowiono zgodnie z instrukcją użytkownika [10] w odległości 610mm od płaszczyzny stołu, w odległości 35 mm od krawędzi bocznej, stycznie do krawędzi tylnej stołu (rys. 6).

Układ zerowy zdefiniowano w punkcie zerowym przy pomocy *Dynamic CSYS*, następnie obrócono go w celu poprawnego określenia kierunków osi (rys. 6). W na-

Tabela 1. Wielkości charakterystyczne zakresów ruchów centrum frezarskiego FV-580A [15]

Przesuw	Jednostka	Wartość
Przesuw w osi „X”	mm	580
Przesuw w osi „Y”	mm	420
Przesuw w osi „Z”	mm	510
Odległość wrzeczona od stołu	mm	100–610

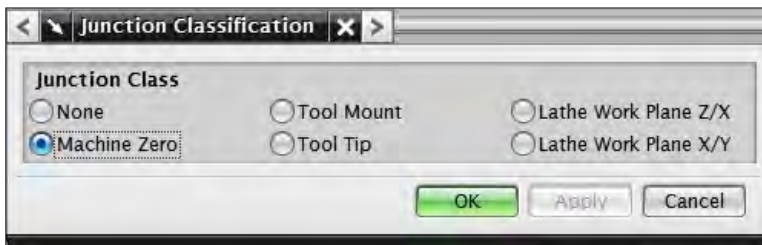


Rys. 6. Określenie punktu zerowego układu współrzędnych obrabiarki

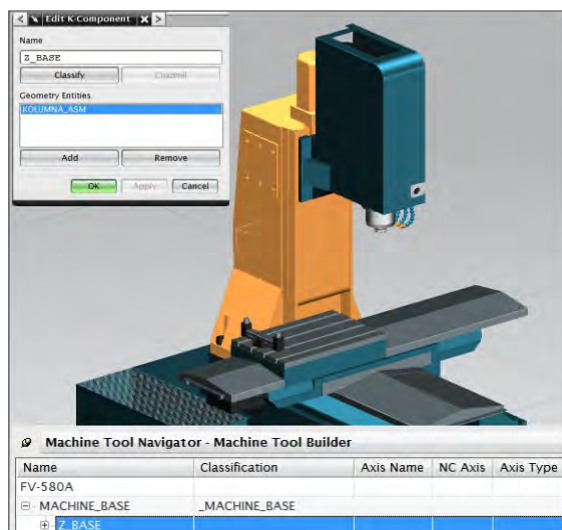
stępnym kroku nadano klasyfikację układu jako *Machine Zero* przez polecenie *Junction Classification* (rys. 7).

Dopiero po klasyfikacji system odnosi się do utworzonego układu jako zerowego wirtualnej obrabiarki. W podobny sposób definiowane są układy współrzędnych montażu narzędzi i przedmiotów obrabianych. W następnym kroku dodano *K-Component* dla osi Z, będącego nieruchomą bazą dla komponentu wrzeciona, poprzez opcję *Insert K-Components* do bazy maszyny *MACHINE_BASE* (rys. 8). Po ustawieniu bazy dla wrzeciona, możliwe było dodanie komponentu wrzeciona (*SPINDLE*). Jako wrzeciono zdefiniowano części pokazane na rysunku 9.

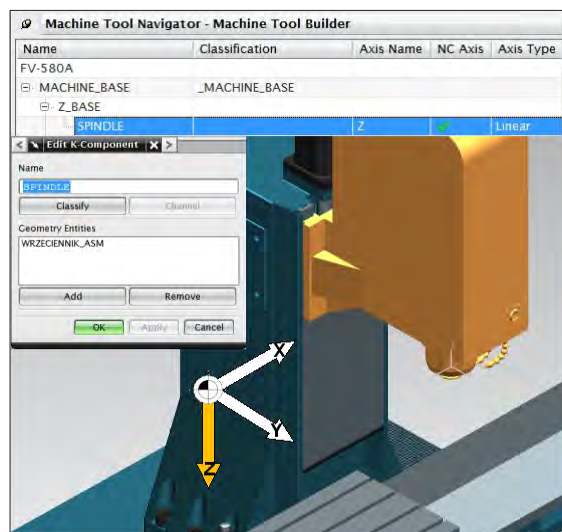
Są to wszystkie elementy poruszające się razem w osi Z. Dodanie osi *NC* przeprowadzono na bazie wrzeciona *Z_BASE* przez użycie *Insert Axis*. Jest to przypisanie do ruchu komponentu wrzeciona. W oknie *Edit Axis* (rys. 10) nadano nazwę osi i ustalono przynależności osi do układu współrzędnych poprzez *Select Junction*.



Rys. 7. Okno klasyfikacji zerowego układu współrzędnych



Rys. 8. Klasyfikacja K-Component Z_BASE



Rys. 9. Klasyfikacja K-Component SPINDLE

Określono typ osi jako liniową i zaznaczono *NC Axis* po to, by oś była traktowana jako sterowana w programie NC. Następnie nadano ograniczenia drogi komponentów osi Z do wartości 510 mm, poprzez opcje *Axis Limits* (rys. 10).

Użytkownik ma możliwość sprawdzenia ustawionej kinematyki osi przez *Test Axis*. Animacja ruchu może być wykonywana w ustawionych krokach lub trwać do osiągnięcia punktów granicznych ruchu. Daje to możliwość sprawdzenia poprawność ustawionych kierunków i limitów przesuwno lub obrotu.

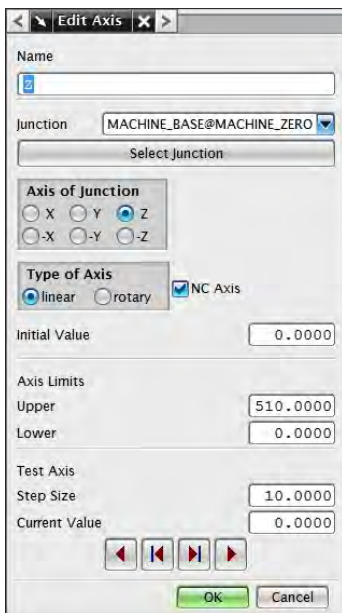
Kolejnym krokiem było zdefiniowanie układu współrzędnych automatycznego montażu narzędzi (rys. 11).

Do komponentu *SPINDLE* dodano *Junction* i ustawiono układ współrzędnych przy pomocy *Dynamic CSYS*, centrycznie w płaszczyźnie montażu oprawki narzędziowej. Ważne jest ustawienie układu współrzędnych wymiany narzędzi z kierunkiem osi X zgodnym z osią symetrii narzędzia (rys. 11). System automatycznej wymiany narzędzia pozycjonuje mocowane narzędzie w osi X układu wymiany, dlatego też bardzo ważne jest poprawne zdefiniowanie tego układu. Konieczne jest także sklasyfikowanie układu odniesienia narzędzi, podobnie jak podczas definiowania zerowego układu współrzędnych.

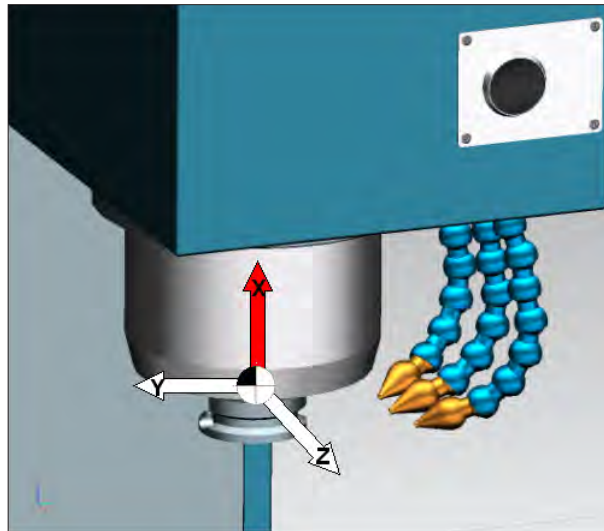
W oknie *Junction Classification* (rys. 12) nadano układowi oznaczenia *Tool Mount*. Wirtualny kontroler *VNC* podczas postprocesingu odnosi się do przypisanych tutaj informacji.

W dalszym etapie konfiguracji wirtualnej obrabiarki przeprowadzono instalację komponentów osi X a następnie osi Y (rys. 13). Proces ten przebiegał w ten sam sposób jak przy konfiguracji komponentów osi Z. Do *MACHINE_BASE* dodano *K-Component* bazę osi Y (*Y_BASE*), za które przyjęto łożo wraz z listwami prowadnicowymi (rys.13b).

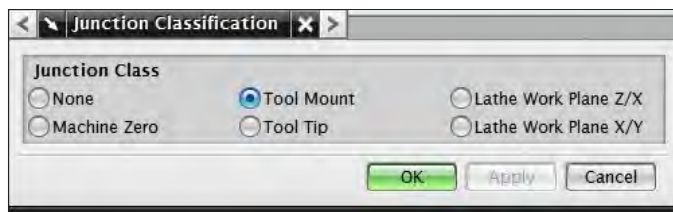
Następnie do *Y_BASE* dodano *K-Component* zespołu osi Y (*Y_SLIDE*) i zdefiniowano w nim oś Y. W oknie *Edit Axis* przypisano oś do *MACHINE_ZERO* oraz oznaczono oś jako liniową oś NC. Nadano ograniczenie przesuwu 420 mm i sprawdzono poprawność ruchu przez funkcję *Test Axis* (rys.13b).



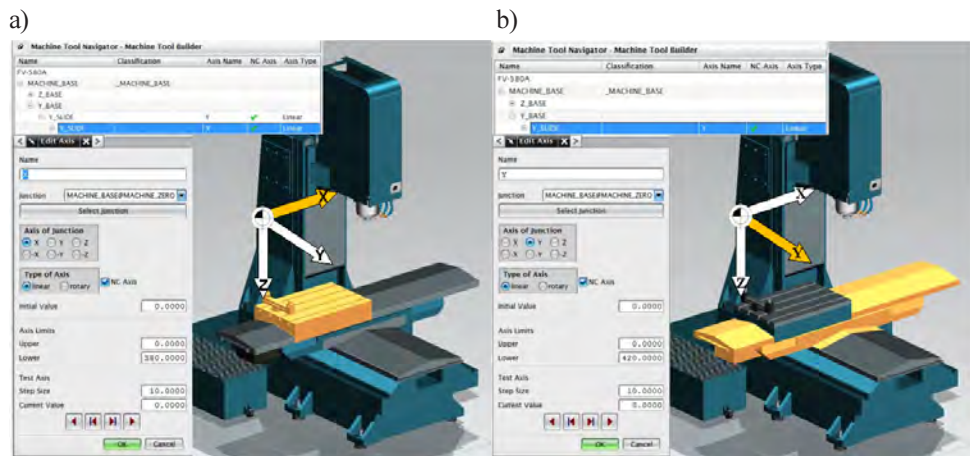
Rys. 10. Okno edytora osi Edit Axis



Rys. 11. Widok zdefiniowanego układu współrzędnych montażu narzędzi



Rys. 12. Okno klasyfikacji układu współrzędnych montażu narzędzi



Rys. 13. Klasyfikacja komponentów i ustawień: a) dla osi X, b) dla osi Y

Ostatnią definiowaną osią była oś X (rys. 13a). Konfiguracja osi, w której zamontowany jest stół frezarki, do którego będzie instalowany przedmiot obrabiany przebiega w odmienny sposób. Komponenty osi X nie posiadają własnej bazy ponieważ ich ruch odbywa się wraz z częściami osi Y, więc do bazy osi Y dodano *K-Component* osi X (*X_SLIDE*).

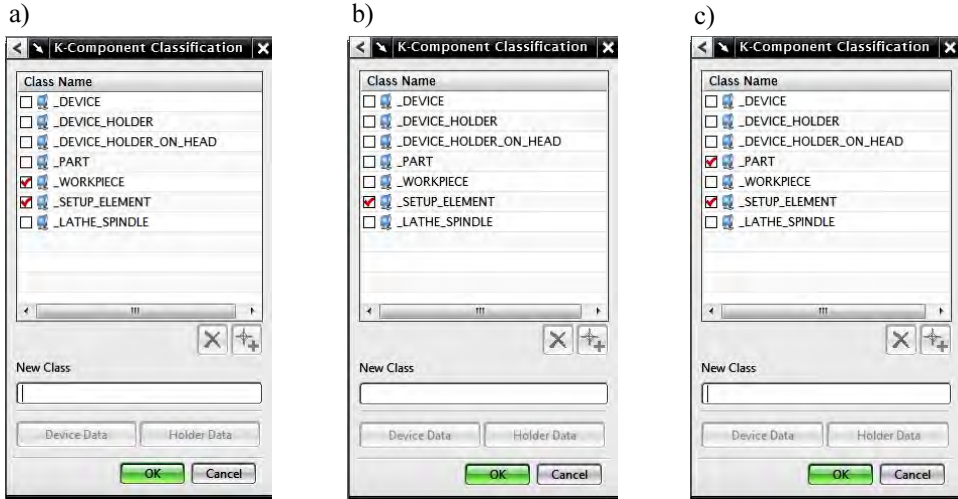
W drzewie nawigatora *MTN* widoczna jest hierarchia komponentów osi X podrzędna osi Y (rys. 13a). Do *K-Component* osi X dodano *Axis X* jako liniową oś *NC* i wprowadzono limit przesuwu na wartość 580mm. Sprawdzono poprawność ruchu przez funkcje *Test Axis*.

Ostatnim etapem definiowania 3-osiowej struktury centrum obróbkowego *FV-580A* jest konfiguracja komponentów łączących symulację, z programem CAM środowiska *Manufacturing NX*. Za takie połączenie opowiada *K-Component* o nazwie *SETUP*. Został on wstawiony do komponentów osi bezpośrednio współpracujących z obrabianym przedmiotem, w tym przypadku osi X.

Do komponentu *SETUP* dołączono elementy definiujące przygotówkę *BLANK*, uchwyt *FIXTURE* i przedmiot obrabiany *PART* (rys.14). Elementy te sklasyfikowano odpowiednio w oknie *K-Component Classification* w celu przyporządkowania jako elementy instalacyjne (rys. 15).

X_SLIDE		X	✓	Linear
SETUP	_SETUP_ELEMENT			
BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_ELE...			
FIXTURE	_SETUP_ELEMENT			
PART	_PART, _SETUP_ELEMENT			

Rys. 14. Konfiguracja komponentów instalacyjnych SETUP dla osi X



Rys. 15. Klasyfikacja K-Component dla elementów: a) przygotówek, b) uchwytów, c) części obrabianych

Podczas wywołania z biblioteki wirtualnej obrabiarki elementy typu *SETUP* muszą zostać zdefiniowane na przedmiocie obrabianym w programie obróbki. Zdefiniowana w przedstawiony sposób wirtualna obrabiarka może być dodana do biblioteki maszyn w programie *NX*. W konstruktorze obrabiarek *MTB* możliwe jest zdefiniowanie magazynu narzędziowego w celu symulacji operacji wymiany narzędzia. W pracy ograniczono się do symulacji wymiany narzędzia prowadzonej bezpośrednio do wrzeciona, ze względu na brak kontrolera *VNC* wykonującego taką operację.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaprezentowany proces budowy i symulacji wirtualnej obrabiarki pozwala stwierdzić, że:

- wirtualny model kinematyczny pionowego centrum frezarskiego *FV-580A* odwzorowuje ograniczenia ruchu osi i przestrzeni obróbkowej,
- zbudowana kinematyka ma możliwość współpracy za pośrednictwem wirtualnego kontrolera z postprocesorem używanym na obrabiarce,
- wykonana symulacja została bezkolizyjnie odwzorowana na rzeczywistej maszynie,

Przeprowadzona symulacja pozwoliła na pełne odwzorowanie rzeczywistego procesu obróbki poprzez obserwację ruchów modelu wirtualnej obrabiarki, wychwycenie kolizji i pomiar czasu obróbki bez fizycznego kontaktu z maszyną rzeczywistą. Porównanie symulacji wirtualnej obrabiarki z rzeczywistym obiektem dało obraz zasadności tworzenia tego typu modeli kinematycznych i pokazało w jaki sposób zaawansowane techniki symulacji umożliwiają odzwierciedlenie rzeczywistego procesu na maszynie. Budowanie wirtualnych parków maszynowych pozwala na projektowanie procesów technologicznych bez konieczności eksperymentowania na maszynie rzeczywistej. Uzyskane rezultaty modelowania i definiowania kinematyki dały możliwości tworzenia wirtualnych laboratoriów, w których prowadzenie działań dydaktycznych jest możliwe bez konieczności zakupu drogich i zajmujących dużo miejsca obrabiarek. Symulacja kinematyczna maszyn o geometrii modeli 3D, pozwala w maksymalny sposób na przybliżenie się do rzeczywistego procesu, realizowanego fizycznie na maszynie.

LITERATURA

1. Frączek J., Wojtyra M. Kinematyka układów wieloczłonowych. WNT, Warszawa 2008.
2. Habrat W. Obsługa i programowanie obrabiarek CNC. Wydawnictwo i Handel Książkami „KaBe”, Krosno 2007.
3. Honczarenko J. Elastyczna automatyzacja wytwarzania. WNT, Warszawa 2000.
4. Honczarenko J. Obrabiarki sterowane numerycznie. WNT, Warszawa 2008.
5. Kosmol J. Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem. WNT, Warszawa 2000.
6. Kosmol J. Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie. WNT, Warszawa 1998.
7. Sobolewski J. Przekładnie śrubowe kulkowe. WNT, Warszawa 2009.
8. Wrotny L.T. Kinematyka i dynamika maszyn technologicznych i robotów przemysłowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996.
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).

GEOMETRIC AND KINEMATICS MODEL OF VERTICAL CNC MACHINE CENTRE FV580

Summary

In this paper possibilities of NX system as CAD/CAM/CAE software are presented. Geometry and kinematics modelling process of 4-axial vertical CNC machine centre is described. It was carried out with use Machine Tool Builder Software in NX system. Simulation and verification of the correctness of movements were carried out on this model.

Key words: modelling, design, CAD/CAM systems, geometric model, kinematics model, simulation, NX system.