



Temat numeru:


## Umiarkowane zachmurzenie

Wszystko (prawie) na temat „cloud computing”...

 **Polskie konstrukcje:  
Syrena Sport wczoraj  
i... dziś?**

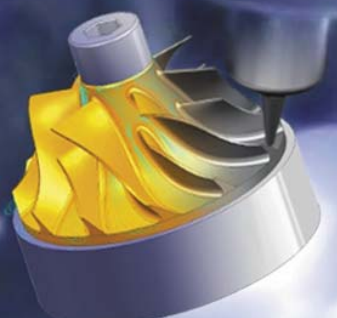
 **Darmowe systemy CAD a.d. 2010**

 **Turbomachinery w NX 7.5**

 **CADowe przedszkole:  
szyk kołowy  
w SolidWorks 2009  
i Solid Edge 2D Drafting**

# NX & TURBOMachinery

## Opis najnowszej wersji NX CAM 7.5 cz. II



**W poprzednim odcinku opisaliśmy ogólne zmiany wprowadzone do najnowszej wersji pakietu NX CAM firmy Siemens PLM Software. W tym zajmiemy się specjalistycznym modułem programowania ścieżek do frezowania komponentów turbin, pod nazwą NX Turbomachinery. W tym przypadku turbiny to nie tylko wirniki, ale także inne elementy wielołopatkowe, które ogólnie określa się właśnie terminem „turbomachinery”**

**AUTOR:** Krzysztof Augustyn, CAMdivision

**N**ajnowsze systemy turbin oferują wysoką sprawność w wielu dziedzinach – od generowania energii po silniki samolotowe. Jest to jedna z przyczyn rosnącego zapotrzebowania na komponenty zawierające wiele elementów typu łopatek

ki, które są najważniejszymi elementami silników turbinowych. W ciągu ostatniej dekady nastąpiło odejście od wytwarzania tarcz wirników turbin lotniczych (często nazywanych wirnikami typu „blisk”) w postaci zestawów oddzielnych łopatek składanych

z piastami na rzecz produkcji pojedynczych komponentów. Pojedyncza część jest zazwyczaj lżejsza, co przekłada się na wyższą wydajność. Początkowo rozwiązania tego rodzaju były stosowane i testowane w wojskowości i przeszły następnie do zastosowań komercyjnych.

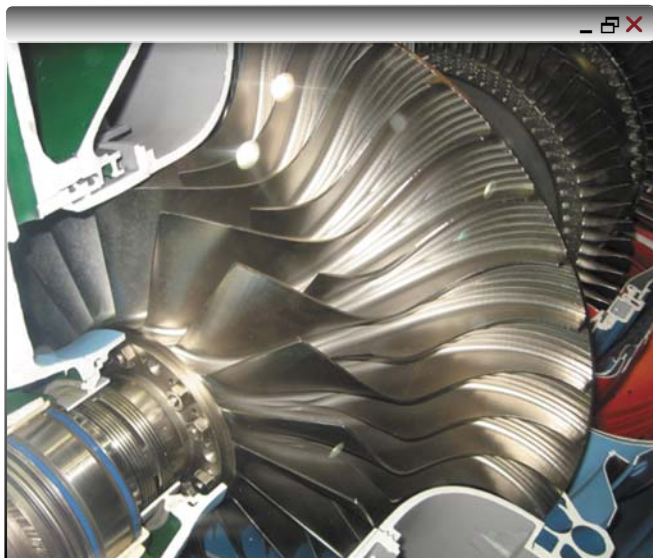
Obróbka maszynowa wirników z wieloma łopatkami wiąże się jednak z dodatkowymi wymaganiami w zakresie programowania NC, które jest niezbędne w przypadku obsługi obrabiarek wieloosiowych używanych do produkcji takich elementów. Mimo, że wielu dostawców systemów CAM wybiera takie skomplikowane komponenty w celu potwierdzenia możliwości oprogramowania<sup>1</sup> w dziedzinie obróbki 5-osiowej, faktycznym testem dla nich powinna być... produktywność programowania. Niestety, w wielu przypadkach standardowe oprogramowanie 5-osiowe nie spełnia wymogów wielozadaniowości. Zazwyczaj 5-osiowe oprogramowanie CAM nie oferuje obsługi specjalnych operacji zaprojektowanych z myślą o wydajnym programowaniu ścieżek NC dla komponentów turbin.

Dotychczas specjalistyczne zadania dotyczące programowania i obróbki maszynowej bardziej złożonych komponentów łopatek turbin i wirników były realizowane przy użyciu zaawansowanych narzędzi i oprogramowania NC dostarczanego wraz z obrabiarką lub kupowanego oddzielnie od wyspecjalizowanego dostawcy. W przypadku wielu firm taki sposób działania nie jest dobry co najmniej z punktu widzenia oprogramowania, ponieważ lepiej jest stosować aplikacje zintegrowane z pozostałymi obszarami działalności.

Poza koniecznością obsługi rozwiązań wielu producentów oraz przesyłania lub translacji danych, problem dotyczy również zarządzania danymi i kontroli wersji. W przypadku większych przedsiębiorstw problem polega na tym, że odrębne aplikacje działają poza systemem zarządzania danymi produktów (PDM), co powoduje wzrost kosztów związanych ze skutecznym administrowaniem takimi informacjami. Ponadto unikatowe, specjalistyczne pakiety oprogramowania i ich aktualizacje są bardzo kosztowne.

# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery



Rys. 1. Przekrój przez obiekt „turbomachinery”

## NX Turbomachinery

Nowy moduł NX Turbomachinery został opracowany we współpracy z najważniejszymi klientami Siemens PLM Software tj. Pratt and Whitney, GE Aircraft Engines, Rolls-Royce oraz innymi znanymi dostawcami i producentami silników lotniczych oraz generatorów energii (żeby nie szukać daleko, chociażby z Siemens Power Generation).

Podstawowym celem nowego modułu NX Turbomachinery jest maksymalne ułatwienie programowania skomplikowanych części. System oferuje użytkownikom specjalizowane operacje związane z programowaniem elementów urządzeń/silników turbinowych. Ideą jest proste wybranie geometrii i wskazanie systemowi odpowiednich typów i elementów łopatek w danej operacji. Po definicji parametrów technologicznych operacji otrzymujemy całkowicie bezkolizyjne ścieżki narzędzia dla całego komponentu bez konieczności wprowadzania do nich dalszych modyfikacji.



Rys. 2. Typowe elementy typu Turbomachinery.

W przypadku braku specjalizowanych operacji w systemie CAM, wygenerowanie ścieżki narzędzia tylko między dwiema łopatkami i rozdzielaczem jest dużo bardziej czasochłonne.

## Typowy proces CAX

Zanim przejdziemy do szczegółowego opisu modułu NX Turbomachinery, przedstawimy przebieg typowego procesu wprowadzenia części (rys. 4.) do produkcji pod kątem systemów CAX.

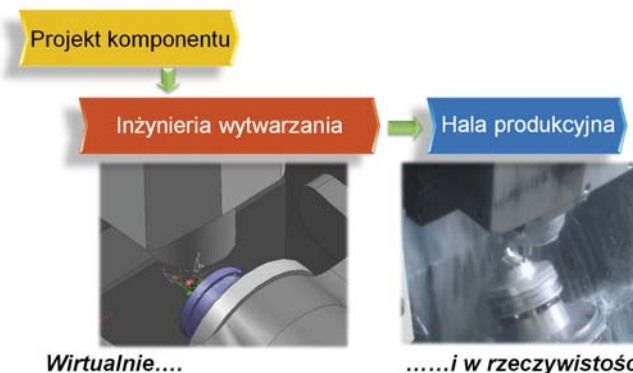
Składają się nań następujące etapy:

- przygotowania/edycji danych CAD;
- programowania NC, a w nim:
- wyboru strategii obróbki;
- określenia parametrów;
- wybór narzędzia;
- wybór sterowania/obrabiarki;
- postprocessing;
- walidacja programu.

Często poszczególne etapy związane z inżynierią wytwarzania są wykonywane w osobnych aplikacjach CAX. Trzeba podkreślić, że NX jest systemem, w którym możemy przeprowadzić całość tych zagadnień w ramach jednej aplikacji CAD/CAM/CAE/CMM.

## Dane z CAD

Typowy system CAM pracuje na importowanej geometrii z innych systemów CAD i nie posiada możliwości ich edycji



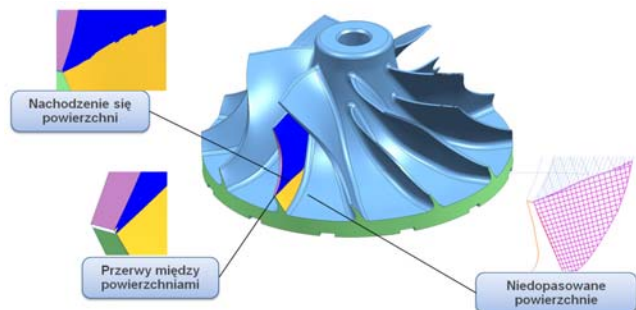
Rys. 3. Od świata wirtualnego do rzeczywistości.

# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery



Rys. 4. Przebieg typowego procesu w oparciu o CAx

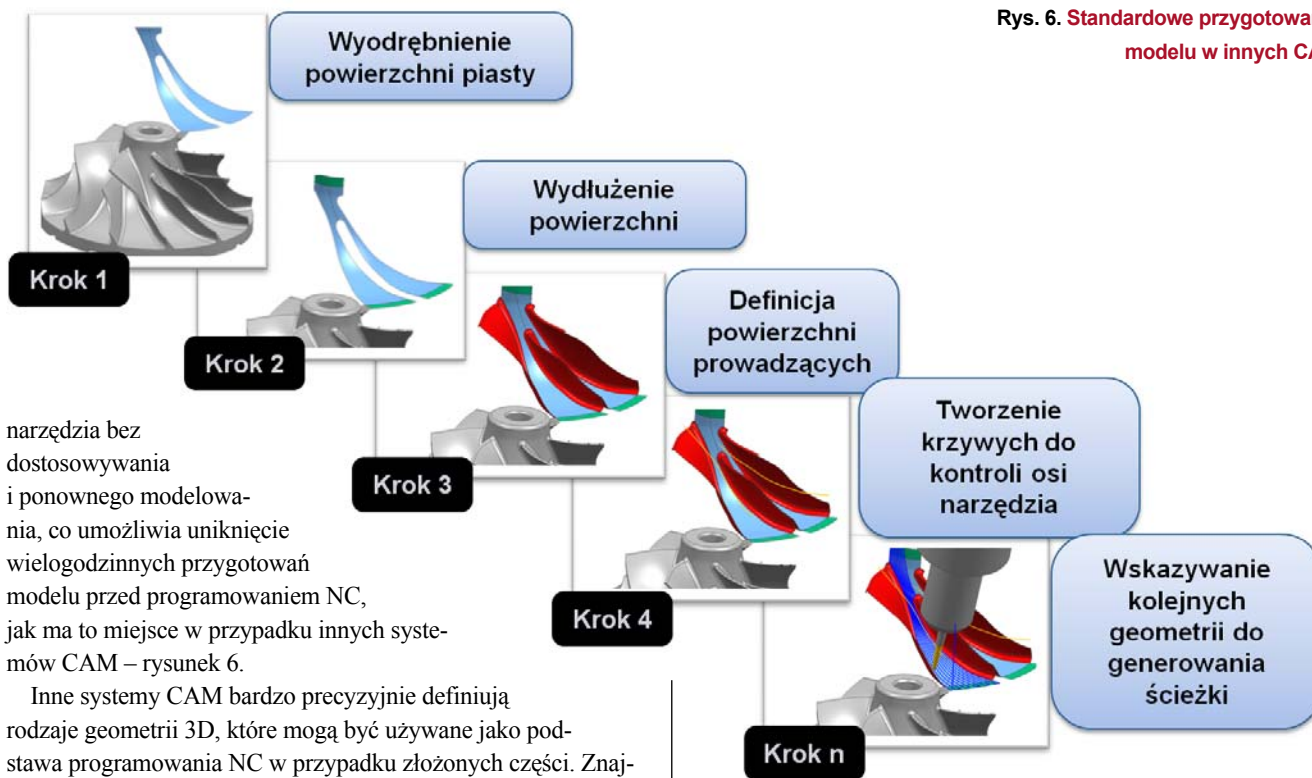


Rys. 5. Typowe problemy z danymi CAD

lub skutecznej naprawy. Na rysunku 5. przedstawiono problemy, na jakie na co dzień napotykają programiści w pracy z zaimportowaną geometrią (np.: nakładanie się powierzchni, przerwy między powierzchniami i niedopasowane powierzchnie sąsiadujące).

Pakiet NX CAM posiada zaawansowane możliwości analizy geometrii pod kątem wychwycenia tego typu wad oraz ich naprawy – z możliwością wykorzystania Synchronous Technology do edycji bezpośredniej zaimportowanych modeli nieparametrycznych. Oczywiście sam pakiet NX CAD umożliwia zamodelowanie tego typu elementów od podstaw w środowisku NX, bez konieczności uciekania się do importu danych z innych systemów.

Rozwiązanie NX Turbomachinery pozwala na efektywną obsługę dowolnych formatów z innych CAD, niezależnie od pochodzenia modelu. Działa bezpośrednio na podstawie zaimportowanej geometrii w celu generowania prawidłowych ścieżek



Rys. 6. Standardowe przygotowanie modelu w innych CAM

narzędzia bez dostosowywania i ponownego modelowania, co umożliwia uniknięcie wielogodzinnych przygotowań modelu przed programowaniem NC, jak ma to miejsce w przypadku innych systemów CAM – rysunek 6.

Inne systemy CAM bardzo precyzyjnie definiują rodzaje geometrii 3D, które mogą być używane jako podstawa programowania NC w przypadku złożonych części. Znajdowanie i rozwiązywanie problemów z danymi matematycznymi modelu CAD może być żmudnym i czasochłonnym zadaniem.

W przypadku NX CAM łopatki mogą składać się z jednej lub wielu powierzchni. Nieciągłości występujące pomiędzy powierzchniami mogą być naprawione automatycznie. Dzięki temu można uzyskać płynne ścieżki narzędziowe, nawet gdy sąsiadujące powierzchnie posiadają niejednolite parametry linii UV (!).

## Definicja geometrii

Geometrię do obróbki w NX CAM można wskazać w danej operacji lub zdefiniować ją globalnie wcześniej. Wówczas nie musi-

my jej ponownie wybierać, tylko definiujemy kolejną operację obróbki, której rodzaj określa jaką geometrię będziemy obrabiać.

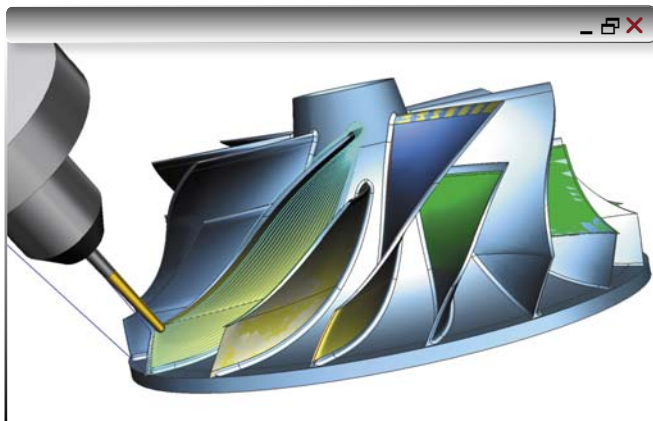
## Specjalizowane operacje

Rozwiązanie NX Turbomachinery pozwala ograniczyć nakład pracy programistów, a dzieje się tak dzięki operacjom 5-osiowego programowania NC, stworzonym specjalnie do obróbki części wielołopatkowych – rysunek 9. Łopatki mogą posiadać krzywizny z kątami ujemnymi. Dodatkowo na wirniku może występować wiele łopatek rozdzielających.



# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery



Rys. 7. Wysoka jakość ścieżki pomimo niskiej jakości geometrii.

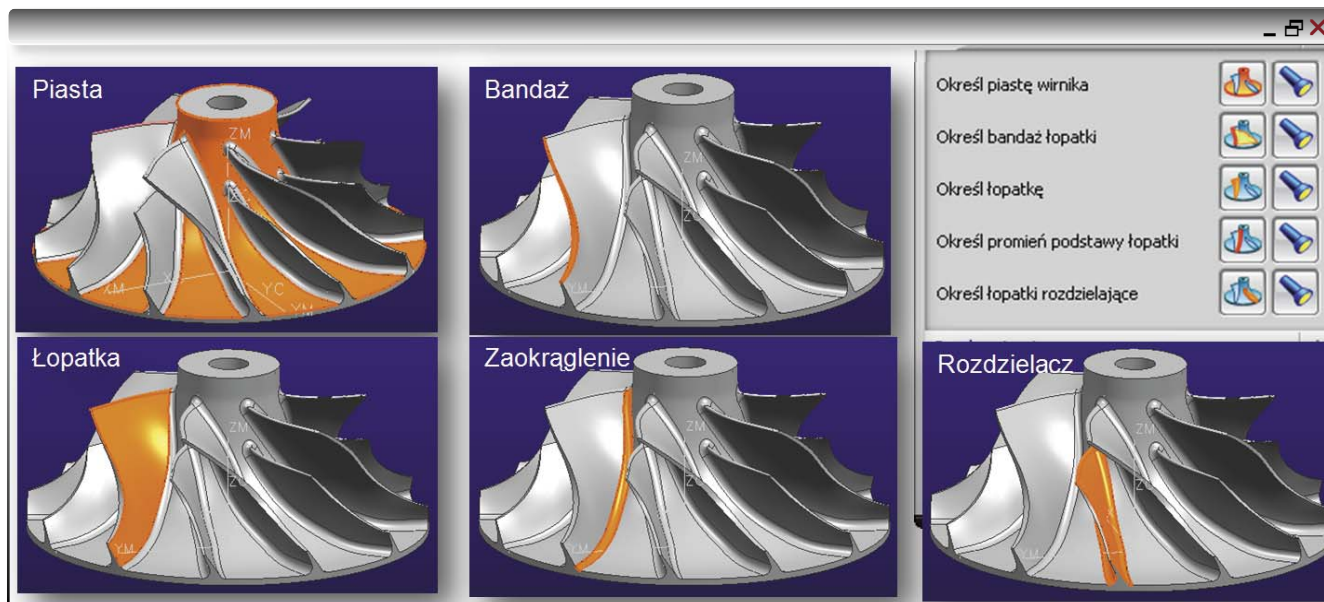
## Obróbka zgrubna

5-osiowa obróbka zgrubna (ang. simultaneous 5-axis roughing) umożliwia przeprowadzanie wysokowydajnej 5-osiowej obróbki zgrubnej (bez konieczności stosowania pomocniczych powierzchni kontrolnych) poprzez określenie takich parametrów, jak wzór ścieżki (rysunek 10.), punkt startu narzędzia, odległości pomiędzy poziomami obróbki, głębokość obróbki, szerokość skrawania, liczba przejść pomiędzy łopatkami, odchylenie osi narzędzia oraz opcje wygładzania i wydłużania ścieżek podczas obróbki krawędzi natarcia i spływu.

Poziom kolejnych warstw skrawania (rys. 11.) może być:

- zależny od piasty;
- bandaż;
- interpolowany...

Podczas obróbki zgrubnej można ograniczyć ilość materiału uszanowanego w ramach operacji, dzięki czemu można obrócić jedynie górne 50% łopatki podczas jednej operacji. Łopatki wirników zwykle są długie, co może powodować odchylenie obrabianej łopatki. Jeśli podczas obróbki łopatka jest optymalnie usztywniona masą materiału, odchylenie spowodowane obróbką skrawaniem jest zminimalizowane.

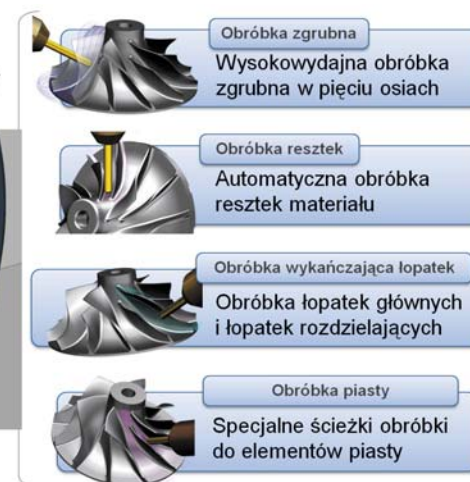


Rys. 8. Rodzaje geometrii wirnika.

Zazwyczaj użytkownicy wykonują obróbkę zgrubną górnych 50% łopatki, a następnie wykańczają górne 40% komponentu. Potem obrabiają zgrubnie dolne 50%, a następnie wykańczają pozostałe 60% łopatki. W przypadku stopów tytanu o dużej twardości zwykle przeprowadza się obróbkę na dwóch głębokościach – dwie głębokości obróbki zgrubnej i dwie głębokości obróbki wykańczającej.

Operacje NX CAM umożliwiają automatyczne znalezienie krawędzi natarcia i spływu łopatki, ale można je również zdefiniować samodzielnie.

Wyspecjalizowane operacje do obróbki łopatek i wirników



Rys. 9. Typowe operacje obróbki.



# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery

## Obróbka resztek

Obróbka resztek (ang. rest milling) pozwala zautomatyzować usuwanie materiału pozostałego po poprzednich operacjach, a także zoptymalizować użycie narzędzi w celu ograniczenia ruchów jałowych. Przykładowo: jeśli większy frez pozostawił materiał między podstawą rozdzielacza i łopatką główną, dzięki aplikacji NX CAM można automatycznie obróbić pozostały materiał za pomocą dosłownie jednego kliknięcia. Taki sposób działania prowadzi do wyższej efektywności obróbki. Operacja ta może być również stosowana pomiędzy etapami toczenia i frezowania, co jest przydatne w przypadku turbin, gdzie części obrotowe są poddawane wcześniej właśnie takiej obróbce.

## Obróbka piasty

Wykańczanie piasty wirnika (ang. hub finishing) umożliwia stosowanie specjalnie zoptymalizowanych ścieżek narzędzia dla wykańczania piasty wirników oraz precyzyjne sterowanie parametrami ścieżki. Ścieżki można na przykład wydłużyć stycznie, tak jak zostało to pokazane na rysunku 13.

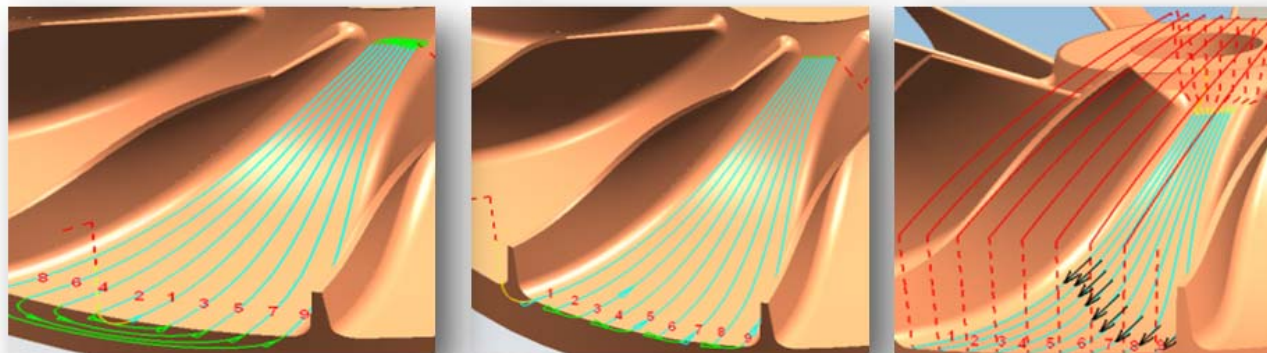
## Kontrola osi frezu

W przypadku tego typu obróbek istotna jest kontrola osi narzędzia w zakresie kątów wyprzedzenia i opóźnienia (lead/lag). Jest to szczególnie ważne podczas korzystania z frezów kulowych i czołowych, gdzie dolny wierzchołek nie ma krawędzi skrawającej, a krawędź natarcia można utworzyć, pochylając narzędzie.

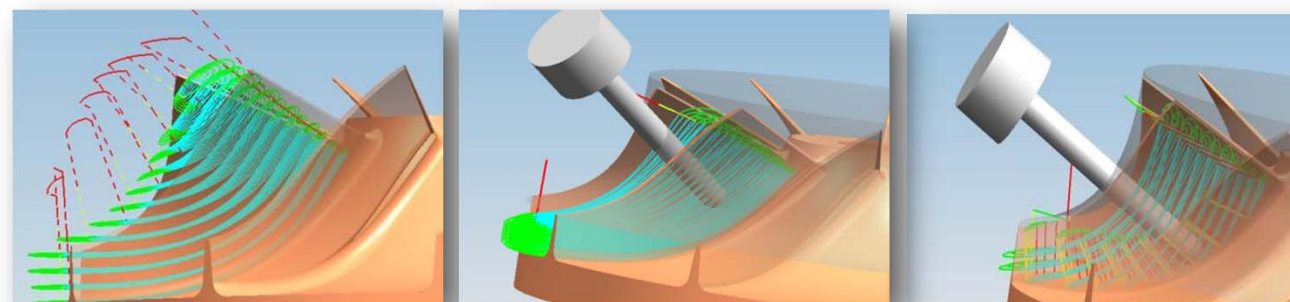
Wyprzedzenie i opóźnienie dla krawędzi natarcia oraz spływu można określić niezależnie, a oś narzędzia jest interpolowana pomiędzy nimi. Parametry te można określić na bandażu łopatki i piastie – oprogramowanie interpoluje wartości przyrostu, aby uzyskać łagodne przejścia między nimi. Na rysunku 14. przedstawiono możliwości wygładzenia ścieżek narzędzia

## Obróbka łopatek

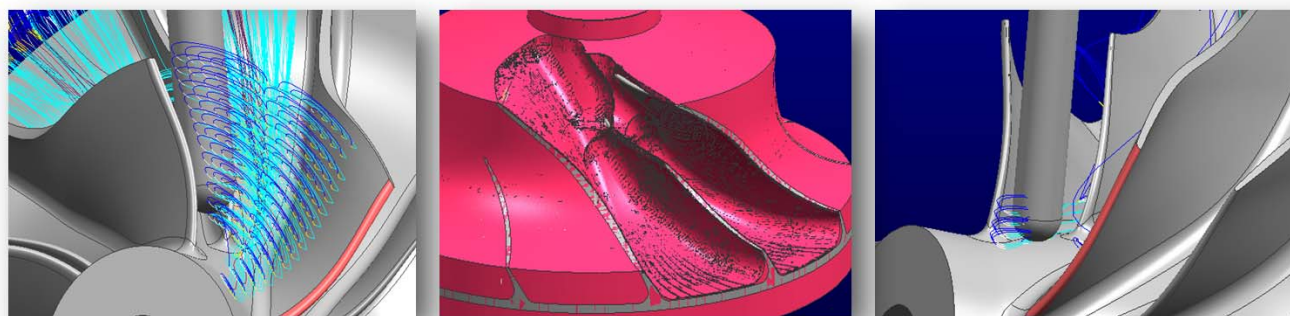
W obróbce wykańczającej łopatek głównych i rozdzielających możliwe jest ustalenie, która strona łopatki będzie obrabiana lub



Rys. 10. Różne możliwości kształtowania wzoru ścieżki.



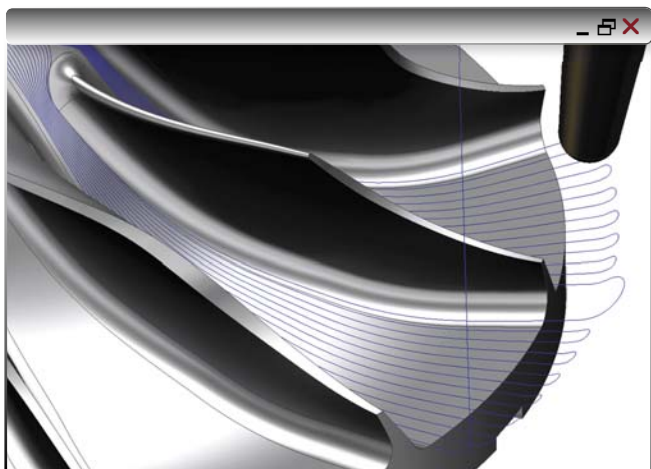
Rys. 11. Różne możliwości rozkładu skrawanych warstw.



Rys. 12. Obróbka zgrubna, półfabrykat i obróbka resztek.

# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery



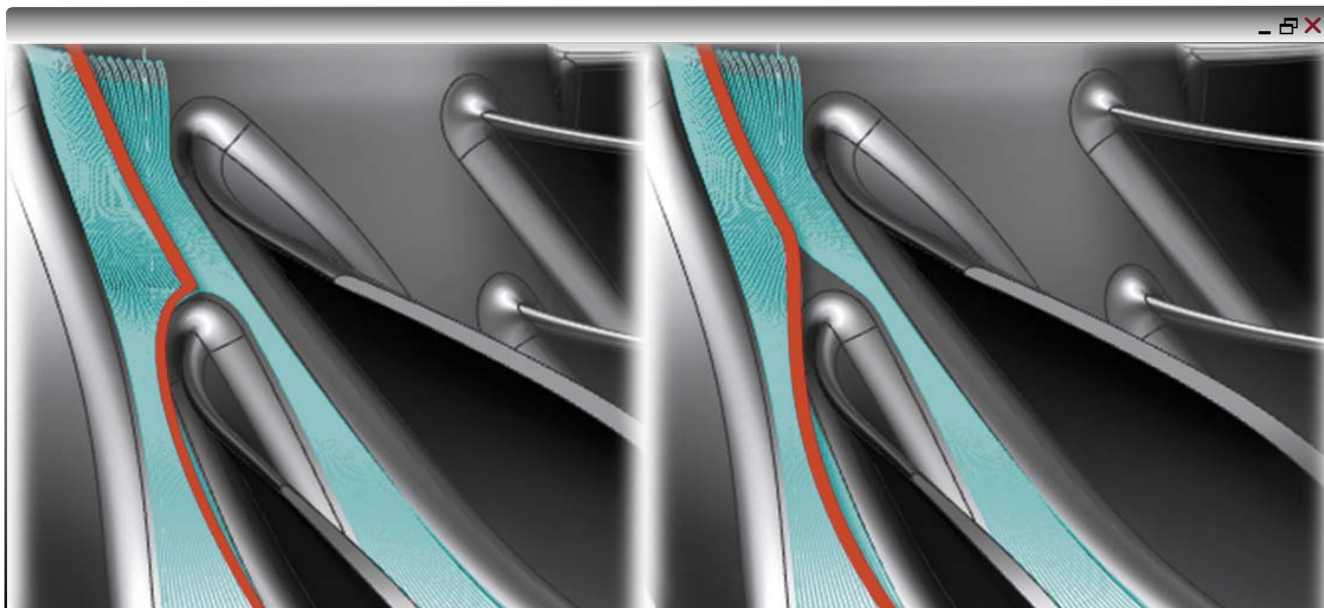
Rys. 13. Wydłużenie ścieżki frezu przy obróbce piasty.

też obróbka dwóch stron jednocześnie. Ponadto NX CAM posiada specjalne opcje do stabilizacji osi narzędzi w pobliżu krawędzi natarcia i splywu łopatki, które umożliwiają sterowanie kątem pochylenia narzędzia w pobliżu tych krawędzi części. Przekłada się to na wysoką jakość powierzchni uzyskanej po obróbce.

## Kontrola obciążenia i posuw

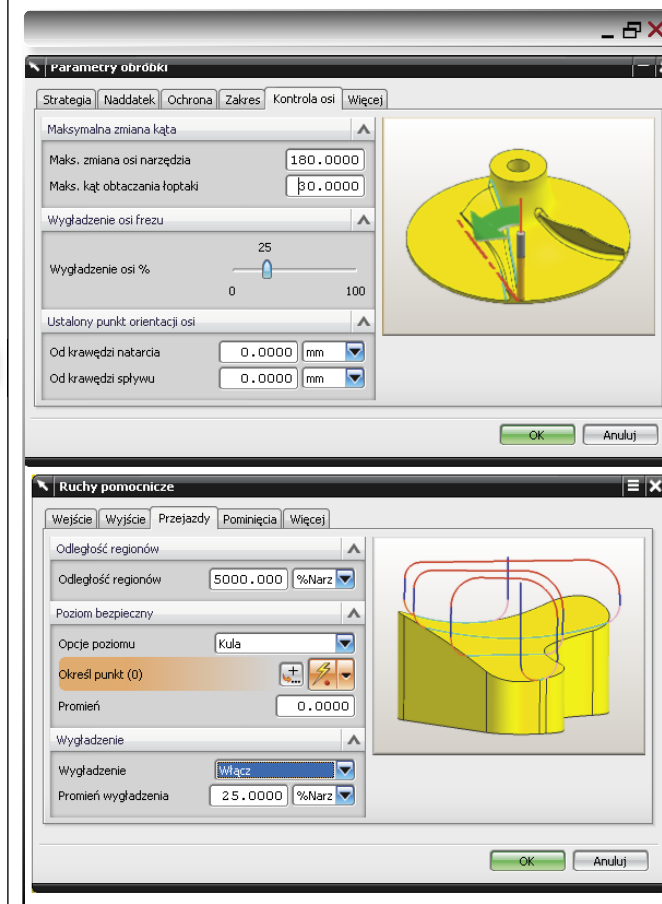
Specjalne funkcje kontrolują wartość obciążenia narzędzia i wykrywają ścieżki o dużym obciążeniu frezu; stosują dla nich mniejsze wartości posuwu. Optymalizacja szybkości posuwu automatycznie analizuje obciążenie narzędzia wzdłuż ścieżki i dostosowuje wartość posuwu dla zapewnienia równej ilości usuwanego materiału – zwiększając w ten sposób żywotność narzędzia.

Rys. 14. Wygładzenie ścieżek frezu.



## Walidacja i symulacja

NX CAM, w chwili obecnej jako jedyny system na rynku, oferuje możliwość przeprowadzenia generowania ścieżek NC, optymalizacji posuwu i symulacji kodu NC w jednym zintegrowanym środowisku.



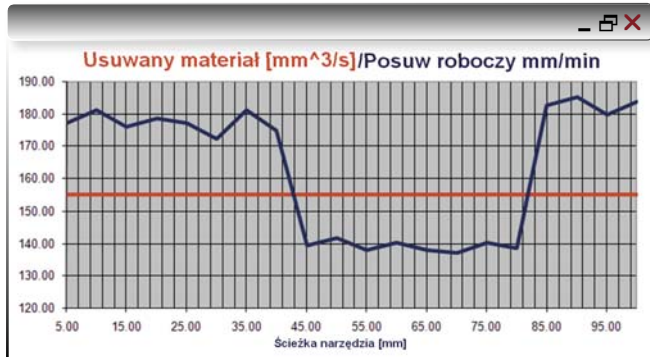
Rys. 15. Interfejs kontroli osi frezu.

# Systemy CAM w praktyce

NX CAM 7.5 – Turbomachinery



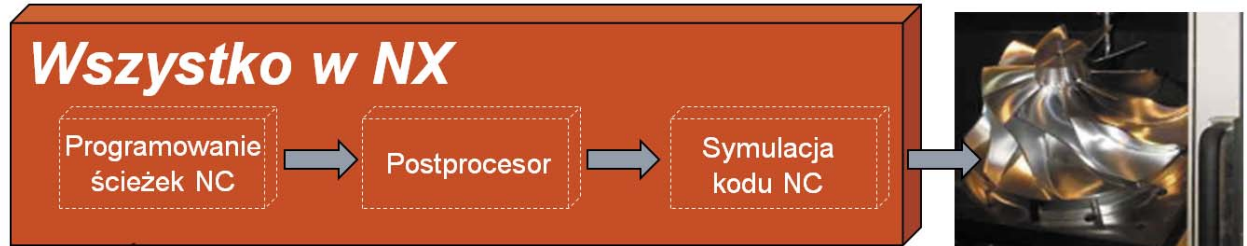
Rys. 16. Wirnik po obróbce wykańczającej.



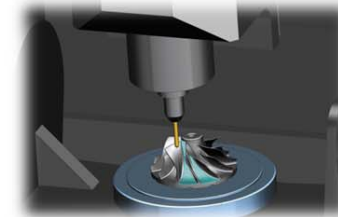
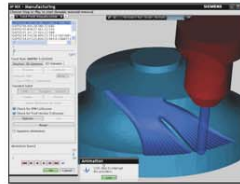
Rys. 17. Optymalizacja posuwu.

Takie rozwiązanie pozwala na weryfikację ścieżki obróbki wewnątrz NX CAM przy użyciu modelu bryłowego obrabiarki, z uwzględnieniem jej kinematyki na bazie kodu NC, z zapewnieniem pełnej wykrywalności kolizji pomiędzy elementami obrabiarki czy elementami mocującymi.

Ważną zaletą rozwiązania NX jest to, że oprogramowanie CAM stanowi część zintegrowanego pakietu aplikacji, które mogą



Podstawowa weryfikacja ścieżki



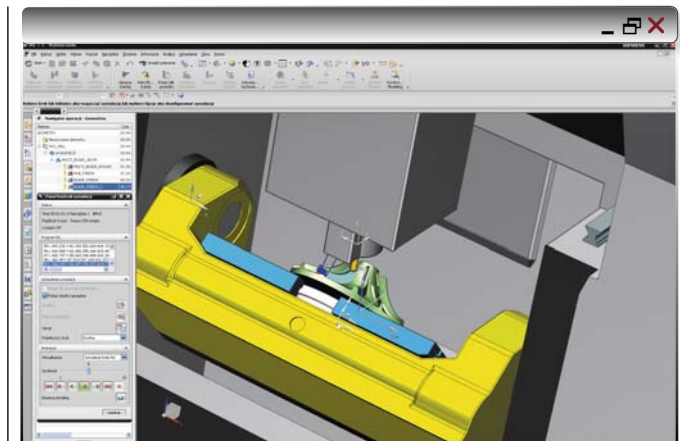
Pełna symulacja kinematyki obrabiarki na bazie kodu NC

Rys. 18. Proces walidacji kodu NC.

być używane podczas wszystkich prac związanych z inżynierią produkcji. Ze względu na spójne podejście do modelu, aktualizacja geometrii powoduje również aktualizację ścieżki narzędzia NX CAM lub inspekcji w NX CMM.

Rozwiązanie Turbomachinery Milling dostępne w pakiecie NX pozwala uprościć proces 5-osiowego programowania NC w przypadku złożonych części z wieloma łopatkami, takich jak wirniki do silników lotniczych czy turbiny energetyczne. Dzięki specjalnemu wsparciu 5-osiowej obróbki programiści NC mogą korzystać z nowoczesnych operacji przeznaczonych do opracowywania inteligentnych ścieżek narzędzia dla elementów typu wirniki. Zapewnia to szybszy czas obróbki, wyższą jakość wykończenia powierzchni i dłuższy okres żywotności narzędzi.

cdn.



Rys. 19. Symulacja kodu NC w środowisku NX CAM.

augustyn@camdivision.pl

Źródło: materiały Siemens PLM Software

<sup>1</sup> nie tylko producentów systemów CAM, w dodatku – nie tylko komercyjnych. Darmowy CalculiX (program do analiz MES) również „promowany” jest poprzez przykłady wykorzystania go do analiz łopatek i całej turbiny.