

Skrócony opis projektu

Celem projektu jest opracowanie systemu eksperckiego (**SE**), który będzie wspomagał **przygotowanie procesu technologicznego** obróbki skrawaniem w zakresie frezowania, wiercenia i toczenia. Analiza SE będzie dotyczyła pracy maszyn CNC, wyposażonych w określone (lub potencjalnie dostępne) narzędzia i pomoce warsztatowe (uchwyty, oprawki, itd.).

Praca SE będzie polegała na znajdowaniu kolejnych (lub alternatywnych) rozwiązań, przy stopniowym precyzowaniu wymagań i uzupełnianiu danych.

Algorytm pracy SE zakłada:

- Wykorzystanie modeli 3D i dokumentacji technicznej uzupełnionych o dane niegeometryczne (wymagania jakościowe, dokładności czy technologii wykonania, inne), jako danych wejściowych do analizy;
- Analizę geometrycznych i niegeometrycznych (rozszerzonych) cech przedmiotu obrabianego do opracowania przez SE wstępnego, parametrycznego schematu procesu technologicznego, określającego kolejność zabiegów technologicznych;
- Opracowanie wstępnych wariantów procesu technologicznego w oparciu o schemat wnioskowania SE z uwzględnieniem różnych kryteriów (baza wiedzy);
- Dobór narzędzi, parametrów skrawania, oprawek, oprzyrządowania i obrabiarek NC z uwzględnieniem danych katalogowych i rozszerzonych (parametry dynamiczne OUPN: obrabiarka - uchwyt - przedmiot obrabiany – narzędzie i inne dane) w oparciu o bazę wiedzy i bazy danych SE;
- Opracowanie szczegółowych rozwiązań wybranych procesów technologicznych w CAM (Mastercam, Catia);
- Weryfikację i optymalizację programów NC oraz parametrów skrawania w oparciu o symulację procesu (analizę modalną, symulację wariantów zabiegów w CAM, wirtualną analizę pracy obrabiarki CNC). Uzupełnianie baz danych i modyfikację schematu wnioskowania SE na podstawie niezbędnych w rozpatrywanym przypadku badań;
- Monitorowanie realizacji procesu technologicznego. Rejestrację rzeczywistych czasów obróbki (prawidłowości procesu), czasów do wymiany narzędzia (trwałości narzędzia) w stosunku do danych teoretycznych. Przesyłanie danych do SE w celu weryfikacji założeń modułu wnioskowania (baz danych)

Opis prac

WP 1

W projekcie przewidziano prace związane z **opracowaniem parametrycznego zapisu części obrabianych i zespołów na potrzeby systemu eksperckiego (zadanie 1a)**. Potrzebny jest precyzyjny opis części, przygotówki i oprzyrządowania w CAD, uzupełniony o cechy technologiczne związane z techniką i jakością wytwarzania. Działanie SE pozwala na **zdefiniowanie dodatkowych danych, dotyczących własności dynamicznych, sztywności, traktowanych jako cechy**. Zapis ten będzie dostosowany do procedur przetwarzania danych opracowanych w zadaniu 2.

Dane geometryczne, technologiczne i dodatkowe mogą być pozyskane na podstawie analizy modelu 3D CAD części. Przewiduje się do tego wykorzystanie programów CAD (funkcjonalnie zaawansowanych co najmniej jak Solidworks, Catia) oraz nowych formatów danych, takich jak STEP-NC (norma STEP -ISO-10303). Analiza tych cech umożliwi automatyczne opracowanie nowego procesu technologicznego w oparciu o zdefiniowane kryteria i algorytmy.

Projekt zakłada **opracowanie procedur automatycznego pozyskiwania danych technologicznych obróbki części na potrzeby SE** (automatyczną analizę cech technologicznych) – **zadanie 1b**. Zasadniczo skróci to czas przygotowania danych dla potrzeb SE, chociaż trudno na tym etapie założyć, że udział człowieka będzie w tym przypadku całkowicie wyeliminowany. Przy tworzeniu rozszerzonego opisu części i oprzyrządowania, a następnie planu procesu technologicznego - możliwy jest udział technologa, który może pomóc zinterpretować wymagania jakościowe i dokładności geometrycznej (dokumentacja techniczna). Może także wpłynąć na zmianę kolejności operacji, określenie strategii obróbki, dobór narzędzia, oprawek, obrabiarek, systemów mocowań itd. Podejście takie odwołuje się do zbioru zdefiniowanych wcześniej procesów części technologicznie podobnych. Ma to związek z kolejnym etapem realizacji zadania, czyli **opracowaniem procedur uzupełniania danych technologicznych obróbki części na potrzeby SE – zadanie 1c**. Kładzie się tutaj nacisk na prostotę i efektywność sposobu wprowadzania danych i łatwość obsługi formatu danych.

Praca systemu eksperckiego wymaga opisu cech rozszerzonych (geometrycznych i niegeometrycznych) modelu części i przygotówki (półfabrykatu) w sposób symboliczny. Na tym etapie jest on już opracowany, ale wymaga formalnej implementacji w strukturę analityczną SE wraz z jego modułami CAD/CAM/CAE/VR/CNC.... Powoduje to konieczność **opracowania procedur eksportu danych rozszerzonych do SE w zadaniu 1d** i zapewnienia powiązania ich z resztą modułów SE w wymaganym zakresie.

Funkcje SE w zakresie planowania procesu technologicznego przewidują także (w zakresie rozwiązań szczegółowych) np. wykorzystanie tzw. konfiguratora narzędzi specjalnych w celu zastosowania jednego narzędzia wielofunkcyjnego zamiast kilku standardowych i skrócenia czasu obróbki, jeżeli będą spełnione określone warunki.

WP 2

Realizację punktu 2 przewidziano w następujących obszarach:

- Przeprowadzona zostanie **analiza procesów przygotowania produkcji elementów lotniczych w przedsiębiorstwach specjalizujących się w produkcji elementów lotniczych** i będzie polegała na konsultacjach ze specjalistami oraz przeglądzie dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej.
- Utworzona zostanie **wieloetapowa struktura procesu technologicznego elementów lotniczych**.
W poszczególnych etapach projektowania wybrane zostaną problemy decyzyjne właściwe dla określonego celu cząstkowego
- W celu zorganizowania i zidentyfikowania zasobów wiedzy, **sporządzone zostaną odpowiednie formularze wiedzy**, na podstawie których zostanie przeprowadzony proces pozyskiwania wiedzy potrzebnej do rozwiązania problemów decyzyjnych. **Opracowane zostaną zbiory informacji** obejmujące: konstrukcję elementów lotniczych, charakterystykę technologiczną systemu wytwarzania, związki pomiędzy konstrukcją danego elementu i strukturą procesu technologicznego oraz możliwość tworzenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych elementów i właściwych im procesów technologicznych.
- Proces rozwiązywania problemów decyzyjnych wymaga **utworzenia dopuszczalnych wariantów technologicznych** z punktu widzenia możliwości systemu wytwarzania oraz opłacalności produkcji. Uwzględniając stopień szczegółowości opisu struktury procesu technologicznego warianty będą tworzone na różnych poziomach obejmujących np. materiały wejściowe do produkcji, kolejność i rodzaje operacji technologicznych, obrabiarki i urządzenia, oprzyrządowanie itp.
- Przewiduje się **opracowanie procedury formułowania problemu decyzyjnego** rozwiązywanego przez system ekspercki, która obejmuje wybór rodzaju elementów lotniczych, określa ich wielkość produkcji, rodzaj materiałów obrabianych, przedstawia opis konstrukcji elementów pod względem wymiarów, dokładności, jakości powierzchni itp.
- **Opracowanie metody symbolicznej reprezentacji wiedzy o konstrukcji elementów lotniczych** pozwoli na stosowanie stałych i zmiennych cech konstrukcyjnych wybranych elementów. Dana cecha identyfikowana jest poprzez geometryczną postać konstrukcyjną oraz stałe i zmienne wymiary. Wymiary mają związek nie tylko z geometrią przedmiotu, ale także z dokładnością powierzchni, zakresem tolerancji wymiarowych, odchyłkami kształtu i położenia, chropowatością powierzchni itp. Zadanie będzie polegało w początkowej fazie na podziale konstrukcji na obiekty

elementarne, a w kolejnej - zapisie obiektów za pomocą symboli. Umożliwi to symboliczne przetwarzanie wiedzy w systemie eksperckim.

- **budowa symbolicznej reprezentacji wiedzy o strukturze procesu technologicznego.** Podstawę reprezentacji stanowią symbole technologiczne, które są związane z projektowaniem procesu technologicznego danego elementu lotniczego. Informacje zawarte w symbolach oznaczają m.in. operacje technologiczne, stanowiska na których przeprowadzana jest dana operacja, elementy struktury operacji (zamocowania przedmiotu, zabiegi obróbkowe), przyrządy i uchwyty, narzędzia skrawające, parametry obróbki przedmiotu
- **Opracowanie reguł projektowania procesów technologicznych elementów lotniczych,** umożliwi podstawową reprezentację wiedzy systemu eksperckiego. Zostaną opracowane na podstawie związków zachodzących pomiędzy symbolicznymi reprezentacjami wiedzy o konstrukcji oraz struktury procesu technologicznego. W częściach warunkowych reguł umieszczone zostaną symbole wyróżnionych obiektów elementarnych konstrukcji, a w częściach działaniowych symbole procesu technologicznego, zaprojektowanego według założonego poziomu szczegółowości. W ten sposób zostaną scharakteryzowane poszczególne etapy obróbki wybranych elementów.
- W kolejnym kroku **zbudowane zostaną schematy wnioskowania w systemie eksperckim.** Schematy wnioskowania przedstawiają sposób rozwiązywania problemu decyzyjnego. W budowie tych schematów zostaną zastosowane drzewa decyzyjne, które w sposób graficzny obrazują proces podejmowania decyzji w projektowaniu procesu obróbki skrawaniem elementów lotniczych
- Zrealizowany zostanie **zapis reguł projektowania w bazie wiedzy.** Struktura bazy wiedzy wynika z wieloetapowego projektowania procesów technologicznych. Przewiduje się, że w zapisie reguł projektowania zostanie użyty szkieletowy system ekspercki np. PC Shell, wchodzący w skład pakietu programów sztucznej inteligencji SPHINX.
- **Dla przyjętych modułów określone zostaną cele stosowania i sposoby działania w systemie.**
W ramach tego etapu opracowane zostaną następujące moduły:
 - **baza wiedzy** - zawiera elementarną wiedzę przedstawioną w reprezentacji symbolicznej; budowa bazy uwzględnia wiedzę heurystyczną i algorytmiczną,

- **moduł wnioskowania** - jest elementem integrującym działanie systemu doradczego; jako podstawę działania tego modułu zastosowane zostanie wnioskowanie progresywne,
- **moduł dialogu** – umożliwia formułowanie problemu decyzyjnego oraz wybór wariantu w trakcie procesu projektowania,
- **moduł generowania** - podstawowym zadaniem tego modułu jest wyprowadzanie wyników działania systemu w postaci opisu procesu technologicznego,
- **moduł objaśniania** - cel stosowania tego modułu skupia się na uzasadnianiu wyboru w przypadku gdy należy wybrać jeden wariant spośród kilku wariantów technologicznych.
- Końcowym etapem będzie **testowanie systemu eksperckiego w zakresie poprawności zapisu elementów wiedzy oraz działania schematów wnioskowania**. W zależności od uzyskanych wyników badań przeprowadzona zostanie weryfikacja systemu na zasadzie udoskonalania bazy wiedzy lub reformatyzacji reprezentacji wiedzy.
- W oparciu o wnioski płynące z działania modelowej wersji bazy danych opracowanej przez badaczy, **będzie opracowane środowisko SE o charakterze użytkowym**. Opracowany zostanie interfejs użytkownika, umożliwiający wprowadzanie danych, monitorowanie zmiennych, oraz prezentację i ocenę wyników symulacji. Zaprojektowane będą stosowne formularze oraz mechanizm wprowadzania danych na różnych etapach pracy systemu eksperckiego. Wykonany zostanie program łączący wszystkie elementy systemu eksperckiego, gotowy do prowadzenia analiz.
- Przeprowadzone będzie **zapisywanie w bazie danych istniejących systemów narzędziowych czołowych producentów narzędzi** (typy i rodzaje narzędzi skrawających, sposoby mocowań, płytki skrawające, pokrycia płytek) oraz pozostałych danych wymaganych do skutecznej pracy SE.
- Przeprowadzone będą **testy działania poszczególnych elementów systemu oraz wprowadzone będą konieczne do pracy poprawki**. Zostanie opracowana niezbędna **dokumentacja**.
- Na bieżąco, w miarę realizacji poszczególnych etapów budowy SE będą przygotowywane pakiety danych i dokumentacji do budowy użytkowej wersji SE. Będą to algorytmy, wymagania, opisy, fragmenty kodu programu, schematy działania, przykłady testów poprawności działania wybranych procedur, itd.

WP 3

Przewiduje się **implementację przetwarzania danych narzędzi, opravek itd. zgodnie ze strukturą opisaną normą ISO 13399, STEP, STEP-NC (ISO 14649)**.

Dane te dla potrzeb systemu eksperckiego należy uzupełnić i w wybranych przypadkach zweryfikować. W odniesieniu do parametrów geometrycznych systemów narzędziowych, wykorzystane będą możliwości **dedykowanych maszyn pomiarowych do pomiaru wybranych grup narzędzi**. Pozwoli to na stwierdzenie, czy wybrane zestawy atrybutów są kompletne do pracy systemu i na ich uzupełnienie. Zastosowanie maszyny pomiarowej pozwoli na **identyfikację danych geometrycznych narzędzi na potrzeby pracy SE** (w stopniu dotychczas niestosowanym) oraz **powiązanie tych danych z opisem rozszerzonym narzędzi i pozostałych składników OUPN**.

W ramach realizacji projektu przeprowadzane będą także pomiary geometrii systemów narzędziowych różnych dostawców po obróbce związanej z realizacją procesu technologicznego lub jego fragmentem. Ta faza badań będzie miała również miejsce w trakcie doświadczeń związanych z realizacją zadania 4 (zwłaszcza 4a i 4b). Pomiary zużycia geometrycznego narzędzi w trakcie obróbki pozwolą na weryfikację wskaźników zużycia geometrycznego narzędzia oraz (pośrednio) wyznaczonych doświadczalnie wskaźników skrawalności materiałów obrabianych w danych warunkach OUPN.

Rozwiązanie to pozwala na szybki i precyzyjny pomiar geometrii krawędzi skrawającej narzędzia ze szczególnym uwzględnieniem stopnia ich zużycia. Szczególną wartością dla osiągnięcia celów projektu mają w tym przypadku takie cechy tego stanowiska pomiarowego, jak stosunkowo małe gabaryty i masa oraz wysoka dokładność i powtarzalność pomiaru w warunkach warsztatowych. Pozwoli to na zbieranie wyników pomiarów bezpośrednio w zakładach produkcyjnych i powiązanie pomiarów geometrycznych narzędzi z realizacją funkcji monitorowania maszyn CNC i realizacji procesów technologicznych na warsztacie. **(łączy się z zadaniami 4 i 6)**.

Wykorzystanie technik pomiarowych pozwoli na weryfikację modeli matematycznych i reguł wnioskowania projektowanego systemu, w odniesieniu do narzędzi różnych dostawców (przez co prowadzone analizy będą miały charakter uniwersalny). Realizowana będzie weryfikacja stosowanych dotychczas zależności dotyczących warunków i parametrów skrawania w odniesieniu do geometrii ostrza narzędzia na podstawie zmierzonej geometrii wybranych, reprezentatywnych narzędzi.

Zaproponowana metodyka oparta na:

- szybkich i dokładnych pomiarach narzędzi,
- analizie drgań własnych OUPN
- weryfikacji wyników symulacji na warsztacie

daje możliwości efektywnej budowy charakterystyk (lub wyznaczania parametrów) wydajnościowych poszczególnych grup narzędzi (zestawów OUPN). Badania będą skoncentrowane na reprezentatywnych narzędziach i na podstawie ich badań, będą

formułowane reguły dotyczące grup narzędzi. Celem tych badań jest wprowadzenie wystarczającej liczby danych do poprawnego działania systemu eksperckiego.

Ze względu na otwartą budowę SE, badania nowych narzędzi i systemów narzędziowych będą realizowane sukcesywnie w całym okresie rozwoju i pracy systemu eksperckiego. Wybrane metody charakteryzują się dostateczną dokładnością i dużą szybkością obliczeń (w odróżnieniu od np. czasochłonnych analiz teoretycznych metodą MES).

Warto sprecyzować, że cechy geometryczne będą analizowane na poziomie geometrii ogólnej i mikrogeometrii naroża. Dlatego ostatecznie będą niezbędne dwie, specjalne maszyny pomiarowe do efektywnych pomiarów w obu tych zakresach.

Pierwsza maszyna (5-cio osiowa) o charakterze stacjonarnym. Będzie służyła do zbierania danych w warunkach laboratoryjnych (pomiaru nowych narzędzi, tzw. makro geometria narzędzia). Druga maszyna pomiarowa (a w zasadzie stanowisko pomiarowe) – znacznie mniejsza, mobilna, pozwoli na zaawansowany pomiar geometrii newralgicznych elementów ostrza (uzupełnianie danych tzw. mikro geometrycznych narzędzia) oraz na pomiar geometrycznych wskaźników zużycia narzędzia (w laboratorium i na warsztacie).

Działania takie wymagają zakupu reprezentatywnych narzędzi do prób, materiałów obrabianych, przewidzenia kosztów prób maszynowych i analizy wyników. Próby te będą wykonywane tylko w uzasadnionych przypadkach (**zadanie 3a, 3c, 6, 7 i może 4c**).

Wykonana zostanie **uniwersalna definicja opisu parametrycznego systemów narzędziowych w odniesieniu do istniejących norm**. Opracowane będą procedury uwzględniające elementy takie jak: standaryzacja narzędzi, materiałów obrabianych, opravek, uchwytów obróbkowych i obrabiarek, z podziałem na kategorie i pod kategorie przy użyciu specjalnych atrybutów. Atrybuty te będą zawierały zakresy wartości, jakie mogą być przyjmowane.

Określone zostaną źródła danych, metody definiowania i sposoby weryfikacji atrybutów. Pozwoli to na efektywne gromadzenie informacji w bazie danych systemu eksperckiego w dalszej części prac projektowych (zadania 4, 6, 7).

Prawidłowy dobór parametrów skrawania wymaga **identyfikacji właściwości materiału obrabianego**. Szereg charakterystyk materiałowych zostało już opracowanych, dlatego projekt przewiduje **pozyskanie odpowiednich baz danych materiałowych**. Użycie ich zgodnie z bieżącym rozwojem standaryzacji oraz **uzupełnianie danych w zakresie niezbędnym do prowadzenia analiz i rozwoju systemu**.

Jak już wspomniano we wstępie, materiały trudnoobrabialne, charakterystyczne dla stosowanych w przemyśle lotniczym, mają skrawalność nie tylko niską, ale w pewnym zakresie zmienną między kolejnymi dostawami. Na skrawalność ma wpływ między innymi (wymieniony wcześniej) skład chemiczny stopu. Doświadczenia różnych firm produkcyjnych potwierdzają, że trudno jest zakładać w każdym przypadku pełną zgodność składu

chemicznego materiału obrabianego z deklarowaną w specyfikacji. Wpływa to z kolei na efekty obróbki cieplnej materiałów obrabianych (np. twardość, wytrzymałość na rozciąganie, czy wspomniane współczynniki skrawalności). Praca SE może wymagać wykonania badań (na zasadzie usługi w wyspecjalizowanych jednostkach) składu chemicznego materiału obrabianego za pomocą spektrometru. To kolejny element weryfikacji oceny poprawności realizacji procesów skrawania, który będzie uwzględniony w budowie SE (**zadanie 3b i ewentualnie 6,7**).

WP 4

W projekcie przewiduje się wykorzystanie nowatorskiej metody bezpośredniego pomiaru sił skrawania podczas obróbki w czasie występowania drgań samowzbudnych. Metoda ta opiera się na zastosowaniu podatnie umocowanego dynamometru, który drga równocześnie z narzędziem].

W projekcie przewiduje się zastosowanie różnych metod rozwiązywania tych równań (klasyczną, analityczną czy numeryczną), oraz poszukiwanie granicy stabilności metodą symulacji numerycznej – adekwatnie do sytuacji. Pomiary narzędzi i OUPN pozwolą na analizę procesu skrawania i teoretyczną weryfikację parametrów skrawania (wcześniej wyznaczonych przez SE - w punkcie 2 – w oparciu o wartości katalogowe i wzory ogólne) na podstawie charakterystyk drgań własnych w programie CUTPRO oraz autorskiej aplikacji. Jest to bardzo ważny etap gromadzenia wiedzy na potrzeby systemu eksperckiego, który będzie realizowany w **zadaniu 4a i 4c**.

Realizacja **zadań 4a i 4c** (oraz **zadania 3**) pozwoli także na wybór teoretycznie najlepszej geometrii narzędzia oraz na określenie dla niego teoretycznego zakresu parametrów skrawania w realizacji danego zadania obróbkowego. W proponowanym podejściu celem jest opracowanie wystarczająco skutecznych parametrów wydajnościowych konkretnych grup narzędzi, choć przewiduje się również zaprojektowanie algorytmów, które wzmocnią działanie systemu eksperckiego i podniosą dodatkowo aspekt naukowy projektu.

Celem realizacji **zadania 4b** jest zastosowanie Cutpro do automatycznej analizy modalnej typu SISO, które umożliwi określenie podatności dynamicznej oraz przebiegu FRF przez użytkownika o ograniczonym doświadczeniu lub wiedzy w tej dziedzinie.

Prowadzone na tym etapie analizy pozwolą na zdefiniowanie charakterystycznych zestawów cech geometrycznych i niegeometrycznych (rozszerzonych) dla obrabiarek (**zadanie 4d**) koniecznych do pracy systemu wnioskowania SE. W oparciu o schemat cech opracowanych w punkcie 4d powstanie także baza danych parametrycznych modeli obrabiarek CNC (**zadanie 4e**).

W trakcie badań teoretycznych (symulacji procesów skrawania) zasadnicze znaczenie ma możliwość weryfikacji opracowywanych charakterystyk (lub parametrów) wydajnościowych narzędzi i zestawów narzędziowych na potrzeby pracy projektowanego systemu. Związane

będzie to z **próbami skrawania** konkretnych zabiegów obróbkowych w warunkach doświadczalnych oraz produkcyjnych. Projekt przewiduje wynajęcie czasu maszynowego wraz z obsługą techniczną, oprzyrządowaniem, narzędziami do przeprowadzenia prób skrawania, które sprawdząłyby kluczowe punkty pracy systemu eksperckiego (**zadanie 4j**). Zasadnicze znaczenie dla realizacji projektu będzie miało monitorowanie pracy maszyn i procesów planowane w zadaniu 6.

W realizacji **zadania 4i** przewidziano więc integrację procedur pomiarowych SE z programem SMM – TIZIMES w zakresie opisanym w zadaniu 6. W skrócie chodzi tu o sprzężenie zwrotne on-line z warsztatu zawierające takie informacje, jak:

- bieżąca i planowana dostępność maszyn, oprzyrządowania, narzędzi i uchwytów;
- określanie rzeczywistych czasów obróbki, rzeczywistych czasów pracy narzędzia, energochłonności procesów, poprawności ekologicznej procesów (hałas, mgły i opary, zużycie płynów chłodzących), itd.

Jak opisano dalej w zadaniu 6, pozwoli na nieustanne samo uczenie SE, rozbudowę bazy wiedzy i doskonalenie modułów wnioskowania. To kolejne innowacyjne podejście charakteryzujące wnioskowany projekt.

WP 5

Wykorzystanie porównania różnych strategii ruchu narzędzia (za pomocą predefiniowanych wstępnie technologii) i symulacji w CAM, pozwoli na wybór najlepszej strategii (toru narzędzia) i wariantu obróbki (geometryczne parametry skrawania) ze względu na przyjęte kryteria (**zadanie 5a**).

Działanie to pozwoli na wytypowanie optymalnego ze względu na dane warunki OUPN i kryteria zabiegu obróbkowego. Nie oznacza to jednak tym samym, że cały proces technologiczny złożony z optymalnych zabiegów będzie najlepszy, ze względu na przyjęte kryteria. Z tego względu przewiduje się zastosowanie symulacji realizacji analizowanych procesów technologicznych w programach CAM (**zadanie 5d**).

Wybór najlepszego (ze względu na określone kryteria) w danych warunkach procesu obróbki w odniesieniu do obrabiarki, systemu mocowania przedmiotu obrabianego i narzędzi może być udoskonalony za pomocą wirtualnej symulacji 3D. Pozwoli to na zaprojektowanie możliwie najkrótszych dróg wykonywanych z prędkością roboczą, bezpieczne i efektywne wykonywanie ruchów pomocniczych. Ustalone wcześniej parametry skrawania mogą być dynamicznie dostosowane do kształtu toru ruchu narzędzia i bieżącego przekroju warstwy skrawanej. Daje to szansę na kolejne skrócenie czasu realizacji zlecenia o kilkanaście procent i wzrost czasu pracy narzędzia do wymiany (**zadanie 5b i 5c**).

Przewiduje się wykorzystanie programu Mastercam, Catia, oraz ICAM - ze względu na uniwersalne środowisko projektowania postprocesorów CAM-CNC, możliwości połączenia ze

standardem STEP (STEP-NC), budowania wirtualnych modeli obrabiarek CNC oraz symulacji i optymalizacji procesu obróbki (kodu NC) – **zadanie 5b**.

Realizacja tego obszaru zadań wymaga dostosowania formatu wymiany danych różnych programów (**Mastercam, Catia i ICAM - TIZICAM**) do potrzeb pracy środowiska SE. Będzie to zrealizowane w **zadaniu 5e**.