

POZYSKIWANIE I IMPLEMENTACJA WIEDZY W PROCESIE AUTOMATYCZNEGO PROJEKTOWANIA WYROBÓW WARIANTOWYCH

Przemysław ZAWADZKI, Wiesław KUCZKO

Streszczenie: W artykule przedstawiono i omówiono system do automatyzacji projektowania wyrobów wariantowych, w zakresie opracowania dokumentacji technicznej oraz przygotowania procesu technologicznego obróbki. System zaliczono do rozwiązań opartych na wiedzy. Opisano proces pozyskiwania i implementacji wiedzy przy budowie poszczególnych składowych systemu w programie CAD/CAM oraz przedstawiono wyniki zastosowań przemysłowych.

Słowa kluczowe: techniki KBE, systemy oparte na wiedzy, automatyzacja projektowania, systemy CAx, projektowanie wyrobów wariantowych

1. Wprowadzenie

Rozwój narzędzi informatycznych, wspomagających prace inżynierskie w zakresie systemów CAx pozwala na coraz efektywniejsze zarządzanie wiedzą. Doświadczenie ekspertów - „know how” o projektowaniu, czyli co i jak należy robić, można starać się pozyskiwać i zapisywać praktycznie na każdym etapie rozwoju wyrobu. Gromadzone informacje mogą służyć ponownemu wykorzystaniu, wspomagając podejmowanie decyzji i przyspieszając realizację rutynowych, często powtarzających się czynności. Proces implementacji zgromadzonej wiedzy w nowych rozwiązaniach, mający na celu jej ponowne zastosowanie, stanowi podstawę wszystkich zagadnień związanych z budową inżynierskich systemów opartych na wiedzy (ang. Knowledge Based Engineering, KBE) [1].

Przykładem, pozwalającym praktycznie zweryfikować możliwości systemów KBE jest proces projektowania wyrobów wariantowych, a więc podobnych konstrukcyjnie i technologicznie, różniących się jednak pewnymi cechami, których niepowtarzalna konfiguracja stanowi definicję konkretnego wariantu. Charakterystyka takiego procesu pozwala opisać szereg czynności, warunków i zależności, które dla wszystkich wariantów danego zbioru są jednakowe. W tym też kontekście można rozważyć automatyzację procesu projektowania w oparciu o narzędzia z dziedziny KBE [2].

2. Systemy KBE w projektowaniu wyrobów wariantowych

Większość dzisiejszych przedsiębiorstw produkcyjnych, także tych małych i średnich korzysta już z zaawansowanych systemów CAx, wspierających konstrukcyjne i technologiczne przygotowanie wyrobu. Oprócz narzędzi do projektowania produktu, technologii i weryfikacji wirtualnego projektu, programy te oferują m.in. specjalne moduły z dziedziny KBE, dzięki którym wiedza ekspertów i specjalistów, o charakterystycznych procesach może być skutecznie gromadzona [3, 4]. Przedsiębiorstwa zajmujące się produkcją wyrobów wariantowych, chcąc sprostać często zmieniającym się oczekiwaniom

rynku, muszą wykazywać się sporą elastycznością swojej produkcji, co oczywiście wiąże się z gotowością do wprowadzania częstych zmian projektowych [5]. Aby zmiany te były jak najbardziej efektywne należy wziąć pod uwagę dwa czynniki: przygotowanie techniczne oraz czas. Pierwszy ma gwarantować poprawność stosowanych rozwiązań, w ujęciu konstrukcyjnym i technologicznym, czas natomiast ma być jak najkrótszy. Czynniki te są ściśle powiązane z wiedzą, jej odpowiednim zapisem i implementacją w danym rozwiązaniu (przygotowanie techniczne) oraz automatyzacją przekładającą się na szybkie zastosowanie tej wiedzy i zapis wyniku (czas). Odpowiednia reprezentacja wiedzy projektowej jest zatem istotna dla przedsiębiorstwa również z ekonomicznego punktu widzenia. Szybsze projektowanie przy zachowaniu poprawności konstrukcji bezpośrednio przekłada się na oszczędności.

W zakresie przygotowania technicznego konieczne jest również określenie skali procesu projektowego, dla którego wiedzę gromadzi się i zapisuje. Prace projektantów często nie kończą się na przygotowaniu dokumentacji technicznej danego wariantu wyrobu, ale wiążą się również z opracowaniem przyrządów technologicznych, stosowanych w produkcji (np. w obróbce skrawaniem, obróbce plastycznej, odlewnictwie, przetwórstwie tworzyw sztucznych). Zasady budowy tych przyrządów stanowią często osobny zbiór uwarunkowań technicznych, ale ich konstrukcja może mieć wpływ na ostateczny kształt samego wyrobu. Ze względu na geometryczną definicję danego wariantu, również i w przypadku przyrządów technologicznych można mówić o ich wariantowości. Dla działu konstrukcyjnego, ogół modeli związanych z danym wariantem wyrobu stanowi komplet danych, niezbędnych do realizacji zadania, dlatego od systemów KBE najczęściej wymaga się kompleksowego podejścia, obejmującego swoją skalą wszystkie czynności związane z przygotowaniem dokumentacji technicznej [2].

Wiedza o procesach projektowania wyrobów wariantowych wiąże się nie tylko z ich geometrią, ale również z przygotowaniem projektu procesu technologicznego obróbki. Narzędzia KBE zapewniają wsparcie również w tym obszarze. Możliwe staje się zapisanie pozyskanej wiedzy w postaci praw, reguł i zależności, mających na celu opracowanie jak najlepszej strategii obróbki danego wariantu wyrobu, bądź przyrządu. Zintegrowane systemy CAD/CAM łączą oba etapy prac, zapewniając kompatybilność danych i uproszczoną wymianę informacji pomiędzy poszczególnymi poziomami systemu KBE. Zakres wsparcia prac na tym etapie może być kluczowy dla nowego rozwiązania zarówno ze względu na poprawność wyników (przygotowanie techniczne) jak i czas.

Systemom wspierającym prace inżynierskie i bazującym na wiedzy można stawiać także inne wymagania, związane z aktualizacją, obsługą i dostępem do już zapisanej wiedzy. Ważne dla przedsiębiorstwa mogą być też korzyści wynikające z dedykowanych rozwiązań, pozwalających na korzystanie z baz wiedzy nie tylko przez działy konstrukcyjne/technologiczne, ale także inne, związane ze sprzedażą, marketingiem czy zarządzaniem. Udostępnianie systemu KBE wielu użytkownikom, (np. sprzedawcom, zaufanym kontrahentom, czy klientom) bez bezpośredniego dostępu do systemu CAx, jednak z wykorzystaniem wiedzy tam zapisanej, może stać się jednym z podstawowych wymogów stawianym nowym rozwiązaniom. Wyzwaniem staje się wówczas opracowanie rozwiązań kompleksowych, pozwalających nie tylko wiedzę zaimplementować i stosować, ale także nią zarządzać.

Przykładem rozwiązania wspomagającego i automatyzującego prace inżynierskie, zbudowanego z wykorzystaniem narzędzi KBE jest opisany w niniejszej pracy System Automatycznego Projektowania (SAP), będący wynikiem prac badawczo rozwojowych

prowadzonych na Politechnice Poznańskiej przy współudziale firm z sektora produkcyjnego.

3. Struktura Systemu Automatycznego Projektowania

System Automatycznego Projektowania to rozwiązanie przygotowane z myślą o automatyzacji procesów projektowania oraz wytwarzania wyrobów wariantowych, których ostateczny kształt jest nowym rozwiązaniem w zakresie danego typoszeregu. Oczywiście, nie można tu mówić o projektowaniu zupełnie nowych produktów, w których stosuje się wcześniej, nie testowane rozwiązania techniczne, a jedynie o nowych konfiguracjach danego wyrobu. Konfiguracje te są jednak unikatowe, wcześniej nie opracowane, a zatem zupełnie nowe. Dlatego też w celu opracowania nowego wariantu konieczne jest wykonywanie od podstaw szeregu czynności projektowych [2].

Poszczególne warianty w danym typoszeregu różnią się wartościami parametrów, które je opisują. O nowym wariantcie mówimy wtedy, gdy modyfikacji wymaga co najmniej jeden parametr. W praktyce zmiana jednego, najczęściej kluczowego parametru (opisującego wymiar lub kształt) niesie za sobą konieczność przekonstruowania wielu innych cech wyrobu. Nie zawsze sprawdza się też metoda, polegająca na wprowadzaniu modyfikacji do już istniejących wariantów, w wyniku czego otrzymuje się nowy obiekt pochodny. Doświadczenia konstruktorów wskazują, że takie podejście generuje błędy na dalszym etapie prac i wiąże się z przeprowadzeniem analiz wyników, które często trwają równie długo, co projektowanie od podstaw. Dlatego właśnie tak istotne dla zwiększenia efektywności projektowania wyrobów wariantowych jest wykorzystywanie baz wiedzy.

Analiza procesu projektowania wyrobów wariantowych, oczekiwań ze strony biur konstrukcyjnych oraz dostępnych narzędzi, w tym technik KBE pozwoliła na zdefiniowanie podstaw rozwiązania SAP:

- przeznaczony do automatyzacji procesu projektowania wyrobów wariantowych, przyspieszający przygotowanie dokumentacji technicznej wyrobu oraz stosowanych narzędzi produkcyjnych;
- przeznaczony do automatyzacji projektowania procesów technologicznych obróbki wyrobów lub narzędzi produkcyjnych;
- zapewniający możliwość zapisu, implementacji i aktualizacji wiedzy inżynierskiej o stosowanych procesach projektowych;
- zapewniający standaryzację procesów i ujednoczenie procedur na poziomie przedsiębiorstwa;
- zapewniający dostęp do zasobów oraz możliwość łatwej obsługi;
- zapewniający wsparcie w zakresie przygotowania obliczeń kosztów produkcji;
- zapewniający możliwość zdalnej obsługi, z dostępem dla wielu użytkowników.

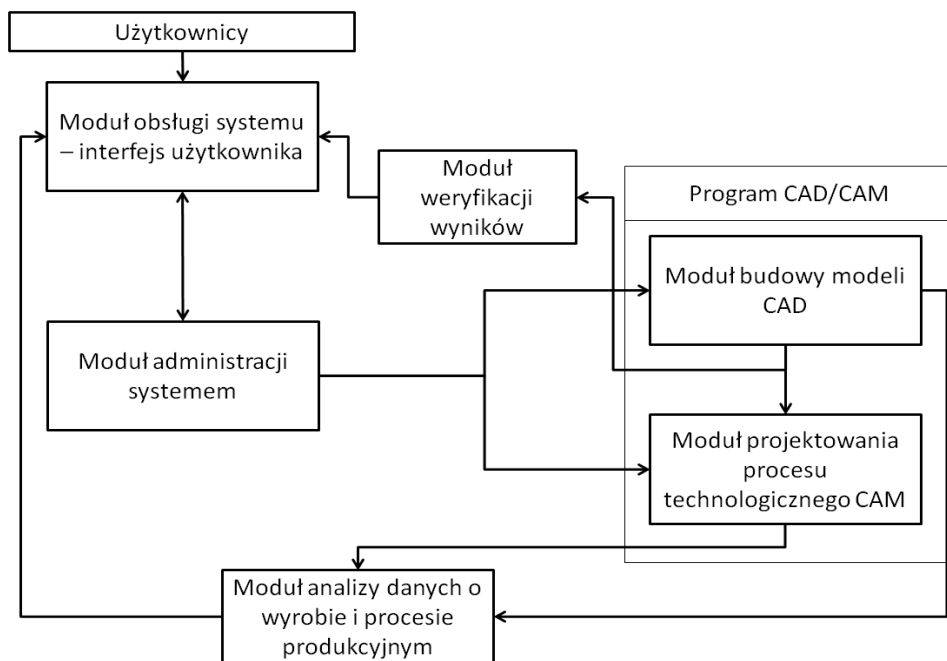
Ze względu na szerokie możliwości zapisu i implementacji wiedzy projektowej w systemach CAx oraz ich ogólną dostępność i powszechne stosowanie, podstawę systemu SAP postanowiono bazować o parametryczny program CAx. Główne zadania związane z opracowywaniem nowych modeli geometrycznych oraz procesów technologicznych realizowane mogą być przez dowolne oprogramowanie CAD/CAM. Dodatkowo, dostępne na rynku systemy obsługują także różne języki programowania, dzięki czemu są nie tylko inżynierskim narzędziem projektowym, ale przede wszystkim zintegrowanym środowiskiem projektowo – programistycznym. Jest to ważne ze względu na automatyzację, która jest podstawową zaletą systemu SAP.

Opracowane rozwiązanie ma budowę modułową, co oznacza, że każdy system może mieć różne składowe:

- moduł budowy modeli CAD,
- moduł projektowania procesu technologicznego CAM,
- moduł weryfikacji wyników,
- moduł obsługi systemu – interfejs użytkownika,
- moduł analizy danych o wyrobie i procesie produkcyjnym,
- moduł administracji.

Moduły można implementować w systemie oddzielnie, realizując tylko wybrane potrzeby. Procesy projektowania wyrobów wariantowych są bardzo różnorodne, mogą dotyczyć pojedynczych komponentów lub złożonych układów, dlatego też ostateczny kształt systemu może być za każdym razem inny. W takim przypadku mówi się o dedykowanym rozwiązaniu, dopasowanym do konkretnych wymagań procesu.

Bazowa struktura systemu, przedstawiona na schemacie poniżej (rys. 1), obejmuje wszystkie moduły, jakie zostały przygotowane w ramach prac nad SAP.



Rys. 1. Struktura modułowa systemu SAP

Moduł obsługi systemu ma umożliwić użytkownikom przyjazny i łatwy dostęp do zasobów SAP. Może być on odpowiedzialny za zdalną obsługę, gdy buduje się rozwiązanie sieciowe lub ułatwić nawigację po opcjach systemu na poziomie programu CAD/CAM.

Moduł administracji systemu SAP to dedykowana aplikacja zarządzająca, pozwalająca na zdalną obsługę systemu, także dla wielu użytkowników. To w tym module zapisuje się informacje o uprawnieniach, kolejkowaniu zadań, połączeniach pomiędzy modułami. W

przypadku rozwiązania sieciowego, moduł administracji odpowiada za wymianę danych w systemie.

Moduł CAD odpowiedzialny jest za automatyczne generowanie wszystkich modeli 3D objętych wdrożeniem (wyrób, przyrządy produkcyjne). Najczęściej związany jest z przygotowaniem, tzw. modeli autogenerujących [3], czyli takich, które zbudowane są za pomocą narzędzi KBE dostępnych w systemie CAD. W tym module zapisywana jest wiedza o procesie projektowym, którą można aktualizować.

Moduł weryfikacji związany jest z walidacją wyników w postaci zapisanych modeli CAD. Na tym etapie tworzy się procedury oraz narzędzia pozwalające ocenić, czy automatycznie wygenerowany wariant wyrobu zgodny jest z założeniami.

Moduł projektowania procesu technologicznego jest opcją systemu SAP i odpowiada za automatyzację budowy procesów technologicznych. Wykorzystuje się tu operacje CAM w oparciu o wiedzę zapisaną z poziomu narzędzi KBE, a za automatyzację odpowiedzialne są makropolecenia.

Moduł analizy danych o wyrobie i procesie produkcyjnym budowany jest dla działów planowania produkcji oraz sprzedaży. Dane z modułów CAD i CAM (masa wyrobu, kształt półfabrykatu, ilość i rodzaj normaliów, ilość operacji technologicznych, czas obróbki, itp.) mogą być wykorzystywane np. w przygotowaniu oferty dla klientów i kontrahentów.

4. Pozyskiwanie i zapis wiedzy o projektowaniu

Podstawowym modułem systemu SAP jest moduł budowy modeli CAD, dlatego że w nim rozpoczyna się proces pozyskiwania wiedzy. Gromadzona wiedza o procesie projektowym jest z reguły bardzo obszerna i rozproszona, co wiąże się występowaniem problemów z jej zapisem w początkowym etapie prac [4]. Ważna jest klasyfikacja wiedzy ze względu na źródło jej pochodzenia, m. in. normy techniczne, normy zakładowe, wiedza zdobyta na podstawie doświadczenia, wiedza ekspertów, opracowane procedury, szkolenia itp. [6].

Pierwsze zadania pozyskiwania wiedzy są ściśle związane z definicją typoszeregu, dla którego przygotowana jest automatyzacja. W ramach tych działań opisuje się rodzinę wyrobów wariantowych, tworząc klasyfikację wyrobów podobnych ze względu na geometrię i proces budowy modeli CAD. W podziale tym, należy uwzględnić podobieństwo procesów technologicznych [7]. Opis typoszeregu opiera się na definicji podstawowych cech wyrobu i ustaleniu granicznych wartości jego parametrów. Na tej podstawie wskazuje się zrealizowane już projekty, które pasują do opisanego wzorca i poddaje się je dalszej analizie, ściśle związanej z modelowaniem CAD. Podejmuje się tu prace mające na celu uszczegółowienie tego procesu, polegające na wskazaniu wszystkich występujących operacji. Na tym etapie niezbędna jest weryfikacja pozyskiwanej wiedzy. Mając na uwadze możliwy brak standaryzacji procesu budowy modeli, może okazać się, iż ten sam element geometryczny zbudowany został na kilka różnych sposobów. Jest to sytuacja powszechna i często spotykana w praktyce przemysłowej. Jedno rozwiązanie wybiera się wówczas jako wzorzec, odrzucając tym samym pozostałe.

Dalsze prace, to zapis informacji o zależnościach występujących pomiędzy poszczególnymi elementami i parametrami je opisującymi. Ukryta wiedza ekspertów łączy się z tym co jest ogólnie dostępne i opisane w normach technicznych. Informacje o relacjach pomiędzy parametrami oraz warunkach ich występowania, opcjach, wartościach, wykluczeniach i wymuszeniach stanowią podstawę implementacji wiedzy w systemie KBE.

Wiedzę na temat procesów technologicznych gromadzi się w podobny sposób przedstawiony powyżej. Klasyfikację technologii tworzy się w oparciu o wcześniej przygotowany podział dla wyrobu i przyrządów produkcyjnych. Analizie poddaje się procesy już opracowane, w celu budowy jednego - wzorcowego, nazywanego szablonem procesu [3, 7]. Klasyfikuje się cechy i parametry, określa zależności i reguły jakie pomiędzy nimi zachodzą. Definiuje się podstawowe operacje, ustawienia, zabiegi. Uwzględnia się uwarunkowania ekonomiczne procesu, warunki doboru narzędzi czy maszyn. Informacje te gromadzi się w celu przyszłej automatyzacji [8].

Budowa systemu klasy KBE, w tym także SAP, wymaga gromadzenia informacji o przebiegu wymiany danych w procesie projektowym. Definiowanie wartości parametrów podstawowych opisujących dany wariant (wymiar, kształt, wielkość produkcji, materiał) mogą nie mieć miejsca w biurze konstrukcyjnym wykonawcy, ale u kontrahenta czy klienta końcowego. Następnie informacje są przetwarzane już w przedsiębiorstwie produkcyjnym przez różne działy. Wiedza o tym jak realizowane jest zlecenie ma wpływ na budowę i kształt systemu SAP, dlatego należy odpowiednio ją zapisać, np. w postaci map przepływu danych.

5. Implementacja wiedzy

Zgromadzoną i zapisaną wiedzę o procesie projektowania implementuje się w systemie CAD/CAM za pomocą narzędzi KBE. W module CAD, opracowuje się modele autogenerujące, w strukturze których zawiera się nie tylko zestaw operacji modelowania, ale głównie opis relacji pomiędzy parametrami. Wszystkie zależności arytmetyczne opisuje się funkcjami, a logiczne, takie jak wykluczenia, warunki występowania, przedziały itp. implementuje się przez zapis tzw. reguł (z zastosowaniem narzędzi KBE). Do zapisu wiedzy często wykorzystuje się też specjalnie opracowywane bazy danych, czy prostsze tabele projektowe. Takie rozwiązanie pozwala na późniejszą wymianę danych i komunikację pomiędzy modułami. Automatyzację prac realizuje się za pomocą makropoleceń, dzięki którym w sposób zdalny uruchamia się poszczególne sekwencje budowy modeli CAD.

Prace nad modulem CAM systemu SAP przebiegają podobnie, stosuje się bowiem podobne narzędzia KBE (zapis funkcji, relacji, praw). Zgromadzona wiedza o procesach technologicznych służy do budowy szablonów opisujących plan operacji obróbki [7]. W szablonach zawiera się informacje o operacjach, zabiegach, narzędziach i charakterystycznych elementach geometrii przedmiotu (punktach, krawędziach, powierzchniach, itp.), które w połączeniu z odpowiednio przygotowanym modelem CAD, umożliwiają automatyczne generowanie programu technologicznego dla danego wariantu. Zestaw parametrów i ich wartości można przechowywać w bazach danych i tabelach, co umożliwia dostęp przy analizie kosztów produkcji i przygotowania oferty dla klienta.

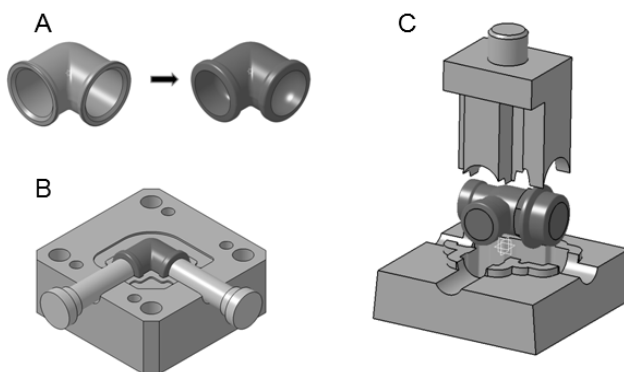
Część wiedzy o przepływie danych implementowana jest w systemie SAP na poziomie modułu administracji. Prace polegają na budowie aplikacji nadzorującej komunikację, uruchamianie makropoleceń, zapis danych do bazy i sieciowy dostęp dla wielu użytkowników. Moduł ten, zawiera logikę kolejkwania zadań systemu SAP oraz przechowuje informacje o użytkownikach i ich uprawnieniach [8].

6. Przykłady rozwiązań systemu SAP

Poniżej przedstawiono wybrane rozwiązania systemu SAP, opracowane w ramach prac badawczo rozwojowych, realizowanych wspólnie z przedsiębiorstwami produkcyjnymi.

6.1. System projektowania łączników miedzianych

Celem budowy systemu SAP, była automatyzacja zadań związanych z przygotowaniem modeli 3D nowego wyrobu oraz narzędzi produkcyjnych, potrzebnych do jego produkcji: matryc, trzpieni, wykrojnika i stempla (rys. 2.). System realizował zadania związane z przygotowaniem programu CNC do obróbki matryc. Standardowy proces projektowania/modelowania CAD zajmował od kilku do nawet kilkunastu godzin. Projekt zaakceptowany do produkcji wymagał kolejnych kilku godzin pracy w programie CAM [2].



Rys. 2. Modele CAD automatycznie generowane w systemie: A - wyrób i odkuwka, B - matryca i trzpień, C - wykrojnik i stempel

Ze względu na rozproszony charakter pracy nad projektem nowego wariantu wyrobu podjęto próby wprowadzenia standaryzacji tego procesu i ujednoczenia praktyk stosowanych w przedsiębiorstwie poprzez implementację narzędzi KBE. W pracach nad jednym zleceniem zaangażowanych było jednocześnie kilka osób: konstruktor, technolog, czy inżynierowie jednostek składających zamówienie. W celu ułatwienia wymiany danych umożliwiających wspólną pracę wielu osób, przygotowano odpowiedni interfejs wymiany danych. Zastosowano konfigurację sieciową i zdalne połączenie z bazą wiedzy systemu CAx. Od strony zarządzania danymi o projekcie duży nacisk położono na przepływ danych, począwszy od definiowania parametrów, przez weryfikację geometryczną wariantu aż po przygotowanie programu CNC do frezowania matrycy. Sieciowa struktura pozwoliła zwiększyć wydajność dostępnego sprzętu komputerowego, poprzez możliwość planowania i uruchamiania procesu generowania ścieżki narzędzia w godzinach nocnych.

6.2. System projektowania rur giętych

W przypadku rur giętych proces projektowania nowego wyrobu zaczyna się jeszcze na etapie przygotowania oferty dla klienta. Projekt instalacji rurowej jest zawsze indywidualny, a kształt i wymiary rury mogą być różne. Brak powtarzalności projektów instalacji rurowej wymaga we wstępnym etapie wyceny przygotowania modelu 3D każdej rury. Przeprowadzone badania wykazały, że średni czas projektowania jednego produktu przekraczał 7 godzin.

W nowym rozwiązaniu zastosowano moduł interfejsu użytkownika, za pomocą którego wprowadzono dane o nowym wyrobie, m.in. współrzędne punktów gięcia, promienie, średnice rur i rodzaje zakończeń. Moduł CAD odpowiedzialny był za automatyczną budowę kompleksowego modelu 3D wyrobu (rura pojedyncza, złożona, zakończenia). Na jego podstawie system prezentował kalkulację kosztów produkcji, uwzględniających proces technologiczny, koszty materiałów, normaliiów, itp. Użytkownik miał możliwość wygenerować programu na giętarkę CNC dla danego wariantu rury. Schemat działania systemu przedstawia rys. 3 [9].

Wykorzystując dostępne narzędzia, takie jak makropolecenia, zapis relacji pomiędzy parametrami, reguły dla wartości liczbowych i warunków logicznych, przygotowano algorytm automatycznej budowy modelu rury. Dane do budowy modelu pobierane są z odpowiednio przygotowanych tabel, które bazują na podstawowych wartościach wprowadzanych przez użytkownika na poziomie interfejsu. Automatyzacji poddano takie kroki jak:

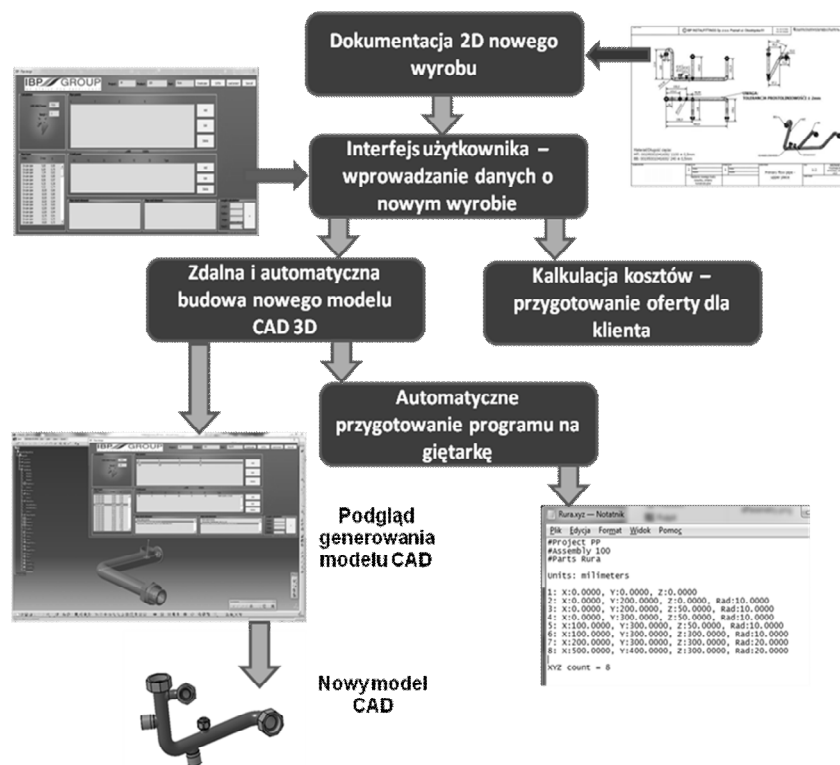
- utworzenie nowego pliku produktu oraz części,
- nadawanie nazw plików,
- utworzenie punktów w przestrzeni określających geometrię rury,
- budowę szkicu oraz bryły rury,
- budowę dodatkowych elementów geometrycznych,
- automatyczne wstawienie zakończeń rury,
- nadanie właściwości materiałowych.

Wdrożenie automatyzacji procesu projektowania i przygotowania produkcji pozwoliło skrócić czas potrzebny na przygotowanie oferty dla klienta oraz wdrożenie nowego wyrobu do produkcji. Już na etapie testów nowego systemu zaobserwowano duże oszczędności:

- wprowadzanie danych nowego wyrobu - średnio 45 min,
- automatyczne generowanie kompletu danych dla nowego wyrobu - średnio 10min,
- czas analizy i kontroli - średnio 45 min.

Osiągnięto korzyści, polegające na:

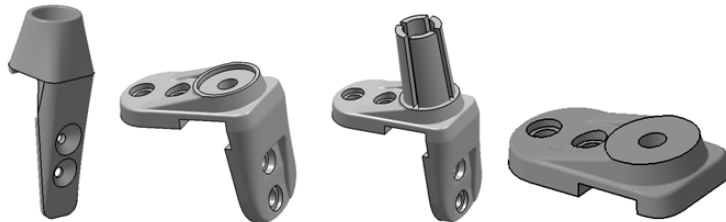
- zmniejszenie czasochłonności projektowania i przygotowania technologii (czas przygotowania dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej został skrócony o ok. 80%),
- optymalizacji procesów obróbkowych na maszynach CNC (standaryzacja, uporządkowanie i zastosowanie najlepszych praktyk inżynierskich).



Rys. 3. Schemat działania SAP dla rur giętych

6.3. System projektowania elementów łącznych w konstrukcjach rurowych

Nowy system wspomaga projektowanie elementów łącznych (uchwytów, zawiasów, kominów, dystansów, itp.) stosowanych w konstrukcjach rurowych, montowanych w pojazdach komunikacji miejskiej. Wyroby, wytwarzane technologią odlewania ciśnieniowego, charakteryzowały się dużym zróżnicowaniem wariantów (rys. 4). W wyniku analizy procesu projektowego i produkcyjnego, do systemu włączono również przygotowanie modeli CAD oprzyrządowania – form odlewniczych, w tym wkładek do form, przypisanych poszczególnym wyrobom. Na ostateczny kształt gniazda formy wpływa geometria łącznika, układ wlewowy, basen przelewowy, ilości sztuk wyrobów odlewanych w jednej formie, dlatego automatyzacja w module CAD była głównym celem budowy systemu. Do obsługi opracowano moduł interfejsu użytkownika (rys. 5.).



Rys. 4. Wybrane warianty mocowania podłogowego

Systemem skrócił czas przygotowania dokumentacji technicznej nowych wariantów średnio o ok. 70%. Automatyzacja modelowania oprzyrządowania przyspieszyła również przygotowywanie ofert dla klientów oraz planowanie produkcji. Zalety wynikające z uporządkowania procesów projektowych, przyczyniły się do zwiększenia potencjału, sprawności i wydajności działu konstrukcyjnego. Łatwość obsługi systemu sprawiła, że możliwe stało się przekazywanie zadań związanych z przygotowaniem modeli CAD pracownikom o niższych kwalifikacjach.



Rys. 5. Widok interfejsu użytkownika systemu SAP uchwytów podłogowych

Na potrzeby budowy systemu dokonano zapisu wiedzy inżynierskiej i standaryzacji procesu projektowania, co gwarantuje bezpieczeństwo „know how” w przypadku zmiany kadry konstruktorów czy szkoleń nowych pracowników.

7. Podsumowanie

W opinii zespołu wykonawców, biorących udział w pracach nad systemem SAP, nadal znaczna część biur konstrukcyjnych, projektujących wyroby wariantowe nie wykorzystuje w pełni potencjału rozwiązań opartych na wiedzy, bądź nie korzysta z nich wcale. Jedną z przyczyn takiego stanu jest z pewnością fakt, iż stosowanie narzędzi KBE dostępnych w systemach CAx nie jest łatwe, wymaga od inżynierów nie tylko sporego doświadczenia w dziedzinie samego projektowania (konstrukcji/technologii), ale często również w zakresie

programowania. Dlatego też prace nad budową czy aktualizacją systemów opartych na wiedzy często wymagają dużego zespołu wykonawców (inżynierów i programistów). Dla przedsiębiorstwa najczęściej wiąże się to z inwestycją, a ciągle zmiany w gamie oferowanych produktów stanowią dodatkowe utrudnienie. Inną przyczyną ograniczającą budowanie systemu tego typu jest czasochłonność tego procesu. Bywa, że w trakcie prac nad gromadzeniem i implementacją wiedzy, wyrób całkowicie zmienia swoją charakterystykę lub nawet zawiesza się jego produkcję.

Mimo to uważa się, iż warto jest podejmować działania, mające na celu zabezpieczenie „know how”, ponieważ wiele informacji o procesach projektowych to wiedza nigdzie wcześniej nie zapisywana, będąca jedynie wiedzą ekspercką, wynikającą z doświadczenia ludzi pracujących w danym przedsiębiorstwie. Dlatego systemy KBE, w tym także prezentowany SAP stanowią gwarancję trwałości i przekazywania wiedzy projektowej.

Literatura

1. Verhagen W. J.C., Bermell-Garcia P., Reinier Van Dijk E.C., Curran R.: "A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges", *Advanced Engineering Informatics* 26, 2012, str. 5–15.
2. Zawadzki P.: "Automatyzacja projektowania wyrobów wariantowych z zastosowaniem technik opartych na wiedzy", *Inżynieria Maszyn*, rocznik 18, zeszyt 1/2013, str. 30-39.
3. Skarka W.: "Podstawy budowy modeli autogenerujących", Wydawnictwo Helion, 2009.
4. Pokojski J.: "Systemy doradcze w projektowaniu maszyn", Wydawnictwo WNT, 2005.
5. Mleczo J.: "Przepływ danych w zarządzaniu operacyjnym wyrobów wariantowych", *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, Nr 1, 2011, str. 17-26.
6. Dostatni E.: "Zarządzanie wiedzą o procesie projektowania", *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, Nr. 5, 2007, str. 17-31.
7. Duda J.: "Rozwój metod projektowania procesów technologicznych obróbki", materiały konferencyjne: XVI Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Zakopane 24-26.02.2013.
8. Zawadzki P., Górski F., Kowalski M., Paszkiewicz R., Hamrol A.: " System for 3D models and technology process design", *Famena*, issue 2, volume 35, 2011.
9. Zawadzki P., Kowalaski M., Wichniarek R., Kliński G.: "Automatyzacja procesu projektowania rur giętych w oparciu o parametryczny system CAD", materiały konferencyjne CAXInnovation, ITM Poznań, 4-7 czerwca 2013.

Mgr inż. Przemysław Zawadzki
Mgr inż. Wiesław Kuczko
Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji
Politechnika Poznańska
60-965 Poznań, Pl. M. Skłodowskiej Curie 5
tel./fax: (0-61) 665 27 08/(0-61) 665 27 74
e-mail: przemyslaw.zawadzki@put.poznan.pl
wieslaw.kuczko@doctorate.put.poznan.pl