

Jerzy Pokojski

# Komputerowe wspomaganie procesów decyzyjnych w projektowaniu

Warszawa 2010



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Politechnika Warszawska  
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
Studia Podyplomowe dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych  
02-524 Warszawa, ul. Narbutta 84, tel (22) 849 43 07, (22) 234 83 48  
ipbmvr.simr.pw.edu.pl/spin/, e-mail: sto@simr.pw.edu.pl

Opiniodawca: prof. dr hab. inż. Jerzy WRÓBEL

Projekt okładki: Norbert SKUMIAŁ, Stefan TOMASZEK

Projekt układu graficznego tekstu: Grzegorz LINKIEWICZ

Skład tekstu: Janusz BONAROWSKI

Publikacja bezpłatna, przeznaczona dla słuchaczy Studiów Podyplomowych dla Nauczycieli Przedmiotów Zawodowych kierunku „KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA”

Copyright © 2010 Politechnika Warszawska

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

ISBN 83-89703-28-9

Druk i oprawa: Drukarnia Expol P. Rybiński, J. Dąbek Spółka Jawna,  
87-800 Włocławek, ul. Brzeska 4

# Spis treści

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Wstęp .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1. Podejmowanie decyzji<br/>w procesach projektowych .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2. Metody wspomaganie decyzji<br/>wielokryterialnych w projektowaniu .....</b>                        | <b>15</b> |
| <b>3. Modelowanie wiedzy<br/>w systemach doradczych.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>4. Integracja systemów doradczych<br/>z oprogramowaniem<br/>wspomagającym prace inżynierskie.....</b> | <b>27</b> |
| <b>5. Literatura .....</b>   | <b>31</b> |



# Wstęp

Niniejsze materiały zostały opracowane w ramach realizacji Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej finansowanego ze środków PROGRAMU OPERACYJNEGO KAPITAŁ LUDZKI. Przeznaczone są dla słuchaczy Studiów Podyplomowych „KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA”.



# 1

## **Podejmowanie decyzji w procesach projektowych**

W tym rozdziale:

- Charakterystyka decyzji inżynierskich
- Metody optymalizacji – ich rola
- Systemy doradcze – zasadnicze koncepcje

Od chwili pojawienia się komputerów podejmowane były liczne próby wykorzystania ich w pracach inżynierskich. Początkowo, zastosowania te obejmowały swoim zasięgiem przede wszystkim budowę oprogramowania, które było oparte na dotychczasowych procesach projektowych, realizowanych bez udziału komputerów. Najczęściej były to programy bazujące na używanych wcześniej procedurach obliczeniowych, których opis funkcjonował wyłącznie w formie papierowej.

Pierwsze próby budowy oprogramowania wspomagającego prace inżynierskie prowadzono w oparciu o doświadczenia, procesy projektowe na ogół pochodzące z określonych biur projektowych. Ponieważ różnych obliczeń i analiz prowadzono wiele, i często miały one dosyć specyficzny charakter to w wielu firmach zaczęło powstawać oprogramowanie bardzo blisko związane ze specyfiką tych firm, ich modelami, doświadczeniami, praktycznym know-how.

Skutkiem takiego rozwoju było pojawienie się, w firmach, komórek czy też nawet działów zajmujących się tworzeniem aplikacji komputerowych wspomagających realizowane procesy inżynierskie.

Każde obliczenia, każdy program komputerowy oparte są na wiedzy. Wiedza ta może m.in. przyjąć postać programu komputerowego funkcjonującego algorytmicznie. W pierwszym okresie dążono do zamodelowania wiedzy firmowej przede wszystkim właśnie w tej formie. Okres ten doprowadził do bardzo dużej różnorodności programowej, spotykanej w firmach. W dodatku bardzo zależnej od przeszłości firmy, od jej firmowego know-how. Obserwując oprogramowanie powstałe w tym okresie możemy stwierdzić, że było ono dokumentem algorytmicznego ujęcia pewnych klas problemów inżynierskich. W oprogramowaniu tym poza właściwymi obliczeniami, polegającymi na przetworzeniu pewnych stanów początkowych, opisanych określonymi zbiorami parametrów, do stanów wynikowych, również opisanymi zbiorami parametrów, zawierano także pewne elementy decyzyjne.

W miarę wzrostu stopnia komplikacji obliczeń i tym samym stopnia komplikacji oprogramowania liczba elementów decyzyjnych zaczęła rosnąć. Były to elementy, które podejmowały decyzje automatycznie



zgodnie z zamodelowaną wiedzą (np. odrzucanie złych zestawów danych wejściowych, odrzucanie zestawów danych, które nie rokowały zakończenia przetwarzania sukcesem, itp., klasyfikacja, wartościowanie wygenerowanych rozwiązań).

Początkowo, kiedy komputery pracowały przede wszystkim wsadowo dążono do decyzji automatycznych. Zapisywano wszystkie ewentualne rozstrzygnięcia w budowanym oprogramowaniu.

Z czasem, zaczęto budować oprogramowanie mniej „sztywne”, bardziej uniwersalne. Potrzebne były narzędzia, które pozwalały w momencie uruchamiania programu modelować określone, aktualnie podejmowane decyzje. Jednocześnie powstała koncepcja budowy oprogramowania, które pozwalałoby przetwarzać nie jeden typ problemu ale pewną ich klasę.

Efektom tego było pojawienie się języków problemowo zorientowanych. Gdzie za pomocą związanego z określonym problemem języka można było opisać model matematyczny badanego problemu oraz różne aspekty związane z procesem przetwarzania czy też procesem podejmowania decyzji w trakcie tego przetwarzania. To podejście zostało w swoim czasie bardzo upowszechnione i w wielu systemach występuje alternatywnie do dnia dzisiejszego.

Kolejny krok to zaoferowanie możliwości pracy interaktywnej na komputerze. Ta generacja komputerów i narzędzi programistycznych pozwoliła na bezpośrednie włączenie użytkownika – projektanta do procesu podejmowania decyzji.

Programy komputerowe wykonywały obliczenia, dochodziły do momentu gdzie pojawiała się potrzeba podjęcia decyzji, wyświetlały na ekranie właściwy komunikat, użytkownik zapoznawał się z treścią komunikatu, podejmował decyzję i wprowadzał odpowiednie informacje do komputera. Następnie, obliczenia były kontynuowane. Interakcja z komputerem początkowo była prowadzona przede wszystkim za pośrednictwem znaków alfanumerycznych. Stopniowo jednak przechodzono na interakcję opartą na narzędziach grafiki interaktywnej.

Projektowanie to praktycznie proces permanentnego podejmowania decyzji. Jest to proces wyboru kolejnych ścieżek w przestrzeni stanów, która w projektowaniu potrafi być bardzo obszerna i w dodatku bardzo kompleksowa.

Używanie komputera wyłącznie jako szybkiego narzędzia liczącego ze „sztywnymi” modułami decyzyjnymi bądź koniecznością podejmowania

decyzji interaktywnych przez człowieka nie odznaczało się dużą efektywnością. Dominował model korekcyjny procesu projektowego [4, 18, 19, 20].

Polegało to na tym, że projektowano jeden wariant konstrukcji. Jeżeli nie spełniał on wszystkich wymogów dokonywano korekt i powstawała nowa jego wersja. Sytuacja ta mogła być powtarzana wielokrotnie. W zasadzie o tym jaki powinien być następny krok decydował człowiek. Człowiek musiał wypracować decyzję i niejako rozwiązać problem na nowo. Projektowanie w tym ujęciu zajmowało sporo czasu i kosztowało wiele wysiłku koncepcyjnego – projektujący musiał udzielić odpowiedzi na pytanie co należy zmienić aby w kolejnym wariantcie osiągnąć pożądane efekty. Bardzo ważne były wiedza projektanta i modele mentalne używane przez niego. Duży wpływ miało też w tym przypadku doświadczenie w rozwiązywaniu problemów danej klasy, posiadanie pewnych własnych skutecznych strategii postępowania.

Projektujący poszukiwali inspiracji w otoczeniu, w źródłach wiedzy publikowanej, w kontaktach z określonym ekspertami, niekiedy w świecie przyrody. Bardzo często analizowali rozwiązania dotychczasowe, rozwiązania podobne, korzystali z analogii. Zdarzało się, że dochodzili do sytuacji, kiedy nie bardzo było wiadomo co należy zmieniać aby osiągnąć określony cel. Wówczas tworzyli kilka wariantów danej konstrukcji i dokonywali ich wieloaspektowych porównań.

Z czasem zauważono, że komputer może stosunkowo łatwo generować wiele wariantów danej konstrukcji np. wiele zestawów parametrów geometrycznych danej przekładni zębatej. Może również bardzo szybko wyodrębniać rozwiązania o minimalnych bądź maksymalnych wartościach niektórych parametrów czy też dokonać ich klasyfikacji zgodnie z wcześniej przyjętymi koncepcjami.

Przyszedł okres wbudowywania do istniejących czy nowo powstających programów komputerowych modułów decyzyjnych, które pozwalały znajdować rozwiązania o pożądanych cechach.

Niezależnie od zastosowań inżynierskich rozwijały się metody optymalizacji, które służyły do rozwiązywania problemów znajdowania ekstremów funkcji wielu zmiennych [6, 7, 9, 10]. Liczba zmiennych mogła być niekiedy dosyć duża. Mogły być również na te zmienne narzucone dodatkowe ograniczenia. Większość metod optymalizacji używanych do rozwiązania problemów praktycznych to metody działające iteracyjnie.

Stopniowo metody optymalizacji zaczęto wbudowywać do modułów wspomagających określone etapy procesów projektowych. Powiązanie dotychczasowych modułów wspomagających prace inżynierskie z modułami optymalizacyjnymi pozwoliło relatywnie szybko budować modele merytoryczne problemów inżynierskich zintegrowane z określonymi technikami decyzyjnymi.

Jednak w wielu przypadkach zaczęło się okazywać, że jeżeli zadanie inżynierskie nie było zbyt duże to metody optymalizacji stosunkowo rzadko wносиły coś nowego. Przyczyną tego był fakt, że osoby przez dłuższy czas zajmujące się określonymi problemami merytorycznymi zwykle dobrze znały przebiegi różnych zależności funkcyjnych obecnych w danym procesie projektowym. Stosunkowo łatwo mogły określić kompromisy czy też mniej lub bardziej owocne podobszary przestrzeni poszukiwań.

Metody optymalizacji zaczęły się sprawdzać przede wszystkim w przypadku problemów, które były bardzo słabo zbadane lub były tak obszerne, że jeszcze nie były zbadane. Dotyczyło to przede wszystkim problemów gdzie modele merytoryczne powstały w oparciu o wiedzę pochodzącą z wielu dyscyplin. Przykładem takich zadań może być analizowanie dynamiki układu napędowego samochodu w powiązaniu z dynamiką zawieszenia samochodu. Zwykle w zadaniach tej klasy trudno o dobre intuicyjne rozwiązania czy też większe praktyczne doświadczenie.

Modele optymalizacyjne w chwili obecnej próbuje się bardzo głęboko integrować z modułami merytorycznymi tak aby bardzo efektywnie budować różne modele merytoryczne i różne modele decyzyjne.

W oferowanych komercyjnie systemach CAD/CAE często dostępne są moduły optymalizacyjne, które pozwalają na modelowanie zadań decyzyjnych dla modeli stworzonych za pomocą innych modułów tych systemów.

Poza technikami optymalizacyjnymi do wspomagania procesów decyzyjnych stosowane są także metody i podejścia oparte na sztucznej inteligencji [12, 16, 18, 19, 20, 24, 26]. Często są to systemy doradcze.

Systemy doradcze (inaczej systemy ekspertowe, eksperckie) powstały jako narzędzia komputerowe, których zadaniem było wykonywanie ekspertyz z jakiejś stosunkowo niezbyt obszernej dziedziny. Przyjęto założenie, że system ekspertowy powinien się zachowywać jak ludzki ekspert. Ludzki ekspert zwykle gdy ktoś go pyta o poradę słucha na

czym polega problem, zadaje dodatkowe pytania, prowadzi wnioskowanie, prezentuje częściowe wnioski i rozwiązania, dochodzi do jakichś końcowych konkluzji, które komunikuje pytającemu. W przypadku systemów doradczych rolę eksperta pełni system doradczy pracujący na komputerze. System doradczy wysłuchuje użytkownika proszącego o poradę – użytkownik formułuje swój problem w postaci alfanumerycznej i wprowadza do systemu. System doradczy zadaje dodatkowe pytania, które ukazują się na ekranie komputera. Użytkownik udziela odpowiedzi zapisując ją w postaci alfanumerycznej na ekranie. System doradczy przeprowadza wnioskowanie, z którego wnioski wyświetlane są użytkownikowi.

Zasadniczym problemem jest skąd bierze się wiedza systemu doradczego. Wiedza systemu doradczego jest wcześniej pozyskana od eksperta ludzkiego. Tę wiedzę pozyskuje inżynier wiedzy, osoba, która zna formalizmy systemów doradczych. Inżynier wiedzy może pozyskać wiedzę prowadząc wywiad z ekspertem, wspólnie wykonując ekspertyzę czy też zapoznając się z wiedzą zawartą w określonych raportach. Następnie wiedza tak pozyskana jest zamodelowana jako baza wiedzy systemu doradczego.

W wielu systemach doradczych przyjęto założenie, że wiedza jest zapisywana w postaci reguł. Reguły stanowią niezależne elementy zamodelowanej wiedzy.

Głównym modułem systemu doradczego jest moduł wnioskujący. Jego zadaniem jest wyszukiwanie reguł, które w danej chwili są przydatne w rozwiązywaniu konkretnego problemu. Znaleziona reguła może doprowadzić do wywnioskowania nowego faktu, nowy fakt jest zapisywany w bazie faktów, po czym ponownie następuje poszukiwanie reguł, które mogą doprowadzić do wywnioskowania kolejnych faktów. System doradczy funkcjonuje do momentu, kiedy nie ma już reguł, które mogą doprowadzić do wywnioskowania kolejnych faktów.

Obecnie, systemy doradcze zwykle zawierają więcej niż jedną reprezentację wiedzy. Popularnymi reprezentacjami są szablony i obiekty.

Podobnie jak w przypadku oprogramowania algorytmicznego także i tutaj nastąpiła ewolucja od dialogu prowadzonego w sposób alfanumeryczny do dialogu prowadzonego przy wykorzystaniu elementów grafiki interaktywnej.

Systemy doradcze również zaczęto integrować z modułami rozwiązującymi problemy merytoryczne. Systemy doradcze w dniu dzisiejszym

najczęściej stanowią tzw. struktury zagnieżdżone, głęboko zintegrowane z innym oprogramowaniem. W tej sytuacji zamodelowana wiedza może operować bezpośrednio na obiektach należących do formalnego opisu badanego modelu.

Największym problemem zastosowań systemów doradczych jest pozyskiwanie i modelowanie wiedzy. Jest to zajęcie bardzo pracochłonne. Przede wszystkim dlatego, że w większości zastosowań po to, żeby móc rozwiązywać określone, konkretne problemy trzeba zamodelować bardzo duże ilości wiedzy merytorycznej.

Systemy doradcze doczekały się swojego wydania współpracującego z systemami CAD/CAE (są to moduły nazywane modułami Knowledge Based Engineering (inżynieria oparta na wiedzy – ang. KBE) [14, 19, 20, 25]. W tym przypadku wiedza zapisana w module KBE może bezpośrednio odwoływać się do obiektów (i ich cech) powstałych jako modele geometryczne czy też inne w systemie CAD/CAE. Zamodelowana wiedza może powodować tworzenie nowych obiektów, ich modyfikowanie i usuwanie. Może także być wykorzystana do analizy i oceny relacji pomiędzy zamodelowanymi obiektami geometrycznymi. Może również służyć do utworzenia nowych modeli z modeli już istniejących, np. budowy modelu symulacyjnego na podstawie modelu geometrycznego 3D.

W rozdziale przedstawiono charakterystykę podejść i narzędzi używanych do wspomagania inżynierskich procesów decyzyjnych. Niektóre, wybrane zagadnienia narzędziowe procesów wspomagania decyzji zostaną przedstawione w kolejnych rozdziałach opracowania.

## ROZDZIAŁ 1

# 2

## **Metody wspomagania decyzji wielokryterialnych w projektowaniu**

W tym rozdziale:

- Metody wspomagania decyzji wielokryterialnych w projektowaniu – charakterystyka
- Sformułowanie problemu podejmowania decyzji
- Koncepcja rozwiązania polioptymalnego

W rozdziale przedstawiono w jaki sposób można wykorzystać metody optymalizacji i polioptymalizacji we wspomaganiu prac projektowych [6, 9, 10, 17, 19]. Metody optymalizacji służą do wyznaczenia wartości ekstremalnych funkcji wielu zmiennych. Zwykle w realnych, inżynierskich problemach decyzyjnych zmienne muszą spełniać szereg dodatkowych wymagań tzw. ograniczeń. Ograniczenia przyjmują formę równań bądź nierówności.

Zasadniczym problemem w trakcie rozwiązywania realnych inżynierskich zadań optymalizacji są ich rozmiary. Rozmiarowość problemu może wyrażać się zarówno w jego matematycznym sformułowaniu – ilości zmiennych, funkcji, równań, itp. lub w stopniu dokładności badania – rozwiązywania całego problemu.

W dalszej części rozdziału zostanie przedstawione przykładowe, inżynierskie zadanie polioptymalizacji. Będzie to zadanie polioptymalnego doboru parametrów geometrycznych przekładni zębatej.

Pierwotne zadanie inżynierskie to zadanie zaprojektowania przekładni zębatej o śrubowych zębach zewnętrznych. Na ogół jako dane wejściowe określa się w tym przypadku przenoszony moment, prędkość obrotową, realizowane przełożenie. Poza tym narzuconych jest zwykle dużo warunków szczegółowych wynikających ze specyfiki konkretnego zadania np. dobór materiałów na koła zębate, sposób wykonania kół zębatych, ewentualnie rodzaj obróbki powierzchniowej, sposób mocowania kół zębatych na wale maszynowym, warunki zabudowy przekładni w korpusie, itp.

Można oczywiście mając określone warunki przystąpić do obliczeń jednego wariantu przekładni, ewentualnie dokonując ręcznie jego dalszych korekt. Następnie można zaprojektować model geometryczny przekładni przy wykorzystaniu systemu CAD. Przekładnie zębate mają to jednak do siebie, że obliczając je można uzyskać wiele poprawnych, zgodnych z wiedzą inżynierską i narzuconą listą wymagań, rozwiązań. Pojawia się problem czy pozostawić wybór realizowanego dalej zadania przypadkowi czy też narzucić pewne dodatkowe postulaty, które pozwolą wyszukać najlepsze pod pewnym kątem rozwiązania. Jeżeli nie jest znana wiedza, która może wspomóc taki wybór można zastosować metody



polioptymalizacji, które zapewniają w dużej mierze automatyczną możliwość wyszukania pożądanych rozwiązań.

Prześledźmy jak wygląda taki proces na przykładzie obliczeń pary kół zębatach. Zwykle przystępując do projektowania przekładni zębataj mamy określony pewien zbiór parametrów, które nie mogą ulec zmianie w procesie projektowania i do końca pozostają takie same. Dodatkowo występuje grupa parametrów, które z kolei mają narzucone pewne granice zmienności, w zakresie których mogą one przyjmować dowolne wartości. Te parametry nazywane są zmiennymi decyzyjnymi. Wielkości, które nie ulegają zmianom w procesie projektowania nazywamy parametrami. W trakcie projektowania następuje określanie kolejnych wielkości definiujących przekładnię. Wynikają one bezpośrednio z przyjmowanych wartości wielkości wejściowych. Niektóre z wielkości wynikowych muszą osiągnąć pewne zadane przedziały wartości, w stosunku do innych wysuwane są jedynie postulaty, iż powinny zmierzać w określonym kierunku. Rozumiane jest to jako pewien pożądany, oczekiwany efekt. Te wielkości nazywane są kryteriami.

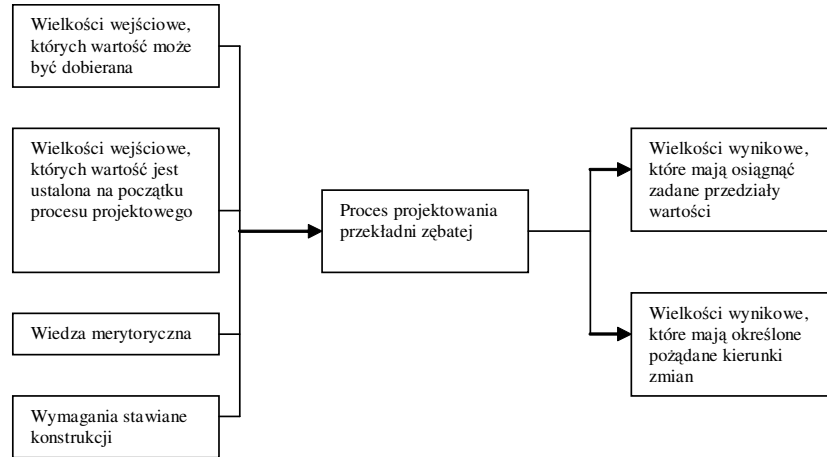
1. Na rysunku 2.1 przedstawiono schemat struktury zadania decyzyjnego w przypadku procesu projektowania przekładni zębataj. Po lewej stronie widoczne są zasoby wejściowe zadania decyzyjnego. Są to kolejno wielkości wejściowe, których wartość może być dobierana – wartości tych parametrów, w trakcie danego zadania projektowego, możemy zmieniać w pewnym wynikającym z naszej wiedzy i możliwości zakresie,
2. wielkości, których wartość jest ustalana na początku procesu projektowego – wartości te wynikają najczęściej z założeń zadania i praktycznie pozostają stałe w trakcie całego procesu,
3. wiedza merytoryczna – przeważnie jest to wiedza związana z daną problematyką projektową; wiedza ta jest niezbędna do realizacji zadań projektowych; poza tym do realizacji zadania niezbędna jest pewna wiedza ogólna,
4. wymagania stawiane konstrukcji – każda konstrukcja musi spełniać szereg wymagań; przeważnie wymagania są wyartykułowane formalnie.

Rysunek 2.1 ilustruje także, że wynikiem procesu projektowego są:

1. wielkości wynikowe, które mają osiągnąć zadane przedziały wartości – w każdym procesie projektowym zachodzi potrzeba spełnienia wielu ograniczeń; ograniczenia te mogą być w dużym

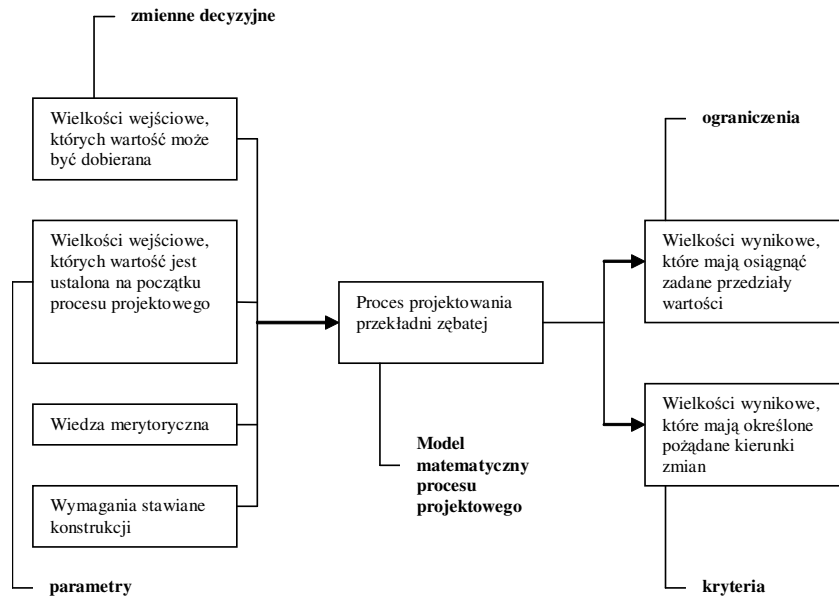
stopniu wyrażone w sposób formalny, w postaci równań i nierówności; wówczas dobierane parametry muszą zapewniać spełnienie stawianych ograniczeń,

2. wielkości wynikowe, które mają określone pożądane kierunki zmian – w trakcie projektowania projektujący dążą do uzyskania pożądanych wartości wybranych przez nich wielkości wynikowych; operując niektórymi parametrami można próbować spełnić ten postulat.



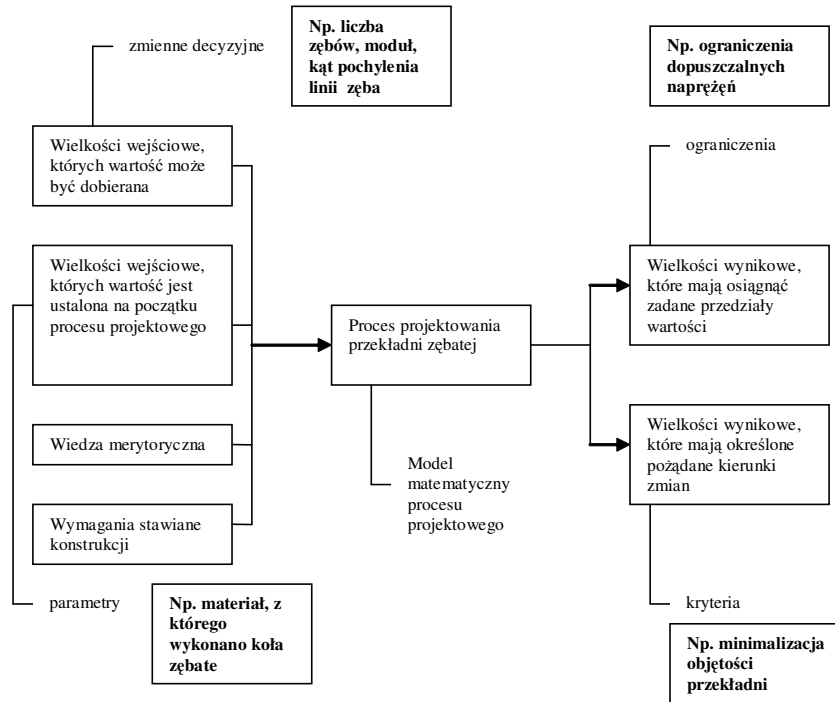
Rysunek 2.1. Zależności w trakcie realizacji procesu projektowego

Na rysunku 2.2 przedstawiono proces projektowy z rysunku 2.1 w ujęciu optymalizacji. Teoria optymalizacji zakłada, że zdefiniowane zostało zadanie, w którym występują parametry, które mogą być zmieniane. Są one nazywane zmiennymi decyzyjnymi. Występują też parametry, które nie podlegają zmianie i nazywane są parametrami. Dalej występuje model matematyczny, który w naszym przypadku jest modelem procesu projektowego. Wielkościami wynikowymi są ograniczenia i kryteria. Terminologia dodana na rysunku 2.2 ilustruje, które z elementów zadania projektowego zostają powiązane z określonymi składnikami zadania optymalizacji. Podejście zaprezentowane na rysunku 2.2 pokazuje sposób zamodelowania zadania projektowego jako zadania optymalizacji. Zadanie optymalizacji może być zadaniem optymalizacji jednokryterialnej lub zadaniem polioptymalizacji. Zadanie polioptymalizacji występuje wtedy jeżeli liczba kryteriów wynosi co najmniej 2.



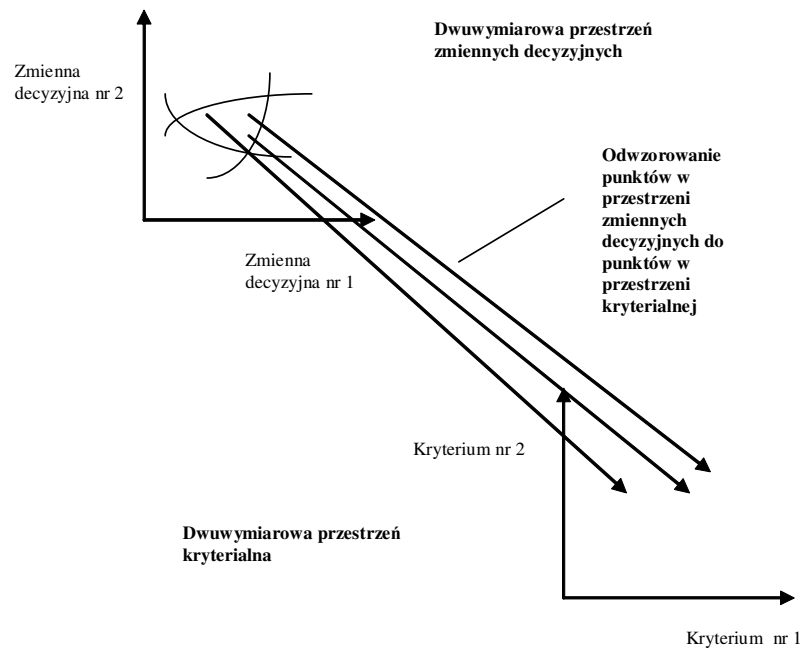
Rysunek 2.2 Powiązanie elementów procesu projektowego ze składnikami zadania optymalizacji

Na rysunku 2.3 przedstawiono przykłady konkretnych elementów procesu projektowego, które stały się jednocześnie składnikami zadania optymalizacji. Przykładowe elementy zostały zaczerpnięte z zadania optymalizacji zamodelowanego w trakcie procesu projektowania przekładni zębatej. Oczywiście możliwości modelowania zadań optymalizacji dla konkretnych problemów projektowych jest bardzo wiele. Postać tych modeli zależy od projektujących, od tego co uznają oni za wartość optymalizacji a tym samym podjęcia próby poprawy. Generalnie optymalizacja w procesie projektowania najczęściej nie kończy się na próbie zamodelowania i rozwiązania jednego zadania. Przeważnie jest to również proces tworzenia kolejnych modeli, rozwiązywania ich i dochodzenia do akceptowalnych i pożądanych rozwiązań pośrednich i końcowych.



Rysunek 2.3. Przykładowe składniki zadania optymalizacji z rysunku 2.2

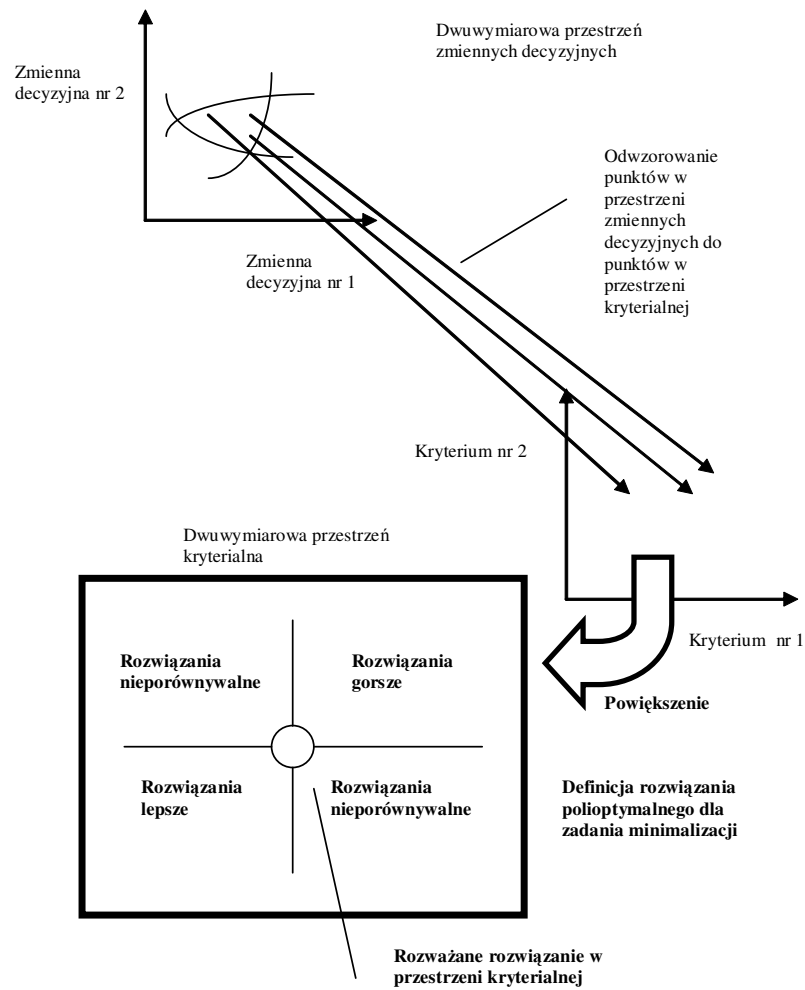
Na rysunku 2.4 przedstawiono schematycznie przestrzeń zmiennych decyzyjnych (jest to przestrzeń przykładowa, dwuwymiarowa), która jest następnie odwzorowywana na (przykładową, dwuwymiarową) przestrzeń kryterialną. Zmiennymi decyzyjnymi mogą być różne wielkości, których wartości są określane w procesie projektowania. Na ogół muszą one należeć do określonych przedziałów i muszą spełniać narzucone ograniczenia. Ograniczenia w przestrzeni zmiennych decyzyjnych pokazano w postaci ograniczeń nierównościowych. Obszar, w którym zmienne decyzyjne spełniają wszystkie ograniczenia nazywany jest obszarem dopuszczalnym. Jeżeli cały obszar dopuszczalny odwzorujemy do przestrzeni kryterialnej to uzyskamy obraz obszaru dopuszczalnego w przestrzeni kryterialnej. W przypadku zadania polioptymalizacji pojawia się potrzeba zdefiniowania rozwiązań uznawanych za najlepsze. Zwykle stosowana jest definicja rozwiązania polioptymalnego.



Rysunek 2.4. Struktura zadania polioptymalizacji

Rozwiązując zadanie polioptymalizacji musimy określić, które z kryteriów są minimalizowane, które są maksymalizowane. Następnie musimy zdecydować w jaki sposób będziemy wyodrębniać rozwiązanie najlepsze. Jedną z popularniejszych koncepcji jest wspomniane rozwiązanie polioptymalne. Za rozwiązanie polioptymalne uznajemy rozwiązanie, od którego nie ma lepszych w rozważanej przestrzeni kryterialnej. Na rysunku 2.5 zilustrowano to zagadnienie graficznie. Pokazano sytuację z rysunku 2.4. Następnie powiększono jeden wybrany punkt w przestrzeni kryterialnej i wskazano, w której części tej przestrzeni znajdują się rozwiązania lepsze od wybranego punktu, w której gorsze i w której nieporównywalne w stosunku do niego. Poszukiwanie tylko rozwiązań najlepszych zwykle nie daje pozytywnych rezultatów. Znacznie lepsze jest poszukiwanie rozwiązań, od których nie ma lepszych. Taka klasa rozwiązań określana jest jako rozwiązanie polioptymalne. Zwykle jest to cały zbiór rozwiązań polioptymalnych. Wyodrębnienie zbioru rozwiązań polioptymalnych stanowi rozwiązanie problemu polioptymalizacji, nie stanowi jednak rozwiązania problemu decyzyjnego. Zwykle problem decyzyjny uznajemy za rozwiązany jeżeli zostanie wybrane jedno rozwiązanie należące do zbioru rozwiązań polioptymalnych.

Wybierającym jest projektujący, który dokonuje wyboru opierając się na własnych preferencjach.



Rysunek 2.5. Ilustracja graficzna definicji rozwiązania polioptymalnego

Metody polioptymalizacji wykorzystywane do rozwiązywania zagadnień praktycznych najczęściej są metodami numerycznymi [9, 10]. Dostępne są całe klasy metod przeznaczonych do określonych matematycznych postaci tych zadań. Mówimy o problemach liniowych i nieliniowych, ciągłych i dyskretnych. Rozwiązanie konkretnego problemu na ogół wymaga określenia jego cech matematycznych i odpowiedniego doboru metody rozwiązania zadania.

# 3

## Modelowanie wiedzy w systemach doradczych

W tym rozdziale:

- Wiedza
- Modelowanie wiedzy
- Reprezentacja regułowa i obiektowa

Systemy doradcze pracują w oparciu o wiedzę zamodelowaną w bazach wiedzy [7, 16, 19, 20, 24, 26]. Aby zbudować bazę wiedzy konieczne jest przyjęcie założeń odnośnie tego jaka wiedza będzie zawarta w danej bazie wiedzy, jak będzie reprezentowana, kto będzie jej dostawcą. Określając wiedzę, która ma być zawarta w bazie wiedzy musimy dokładnie określić jej zakres, sprecyzować jakiej klasy problemy mają być rozwiązywane przez system doradczy. Dostawca wiedzy często nazywany jest ekspertem.

Inżynier wiedzy ma za zadanie pozyskać wiedzę od eksperta i następnie zamodelować ją w bazie wiedzy. Pozyskiwanie wiedzy na ogół odbywa się w przeciągu szeregu spotkań. Inżynier wiedzy może poznawać pozyskiwaną wiedzę rozmawiając z ekspertem, wspólnie czy też pod kierunkiem eksperta rozwiązując określone, przykładowe problemy, czytając raporty, literaturę, itp.

Wiedza pozyskana przez inżyniera wiedzy jest następnie zapisywana w określonym formalizmie używanego systemu doradczego. Popularne jest stosowanie regułowej reprezentacji wiedzy.

Regułowa reprezentacja wiedzy polega na tym, że reguła stanowi połączenie dwóch składników: przesłanki i konkluzji. Z prawdziwości przesłanki wynika prawdziwość konkluzji. Zatem fakt, który występuje w przesłance jeżeli jest prawdziwy może posłużyć do wywnioskowania, że fakt występujący w konkluzji jest również prawdziwy. Reguły stanowią pojedyncze, odrębne elementy wiedzy. Jeżeli baza wiedzy będzie się składać z dużej liczby reguł to może ona pozwolić na przeprowadzanie wnioskowania z bardzo wielu różnych sytuacji początkowych.

Systemy doradcze mają to do siebie, że mogą służyć do rozwiązywania całych klas określonych problemów. Bardzo trudno jest dokładnie wyspecyfikować zakres możliwości danego systemu doradczego. Systemy doradcze najczęściej są rozwijane przez prototyp. Oznacza to, że budowane i testowane są kolejne wersje systemu doradczego. Każda kolejna wersja zawiera bogatsze zasoby zamodelowanej wiedzy. Proces ten zmierza w kierunku osiągnięcia coraz większej dojrzałości oferowanych rozwiązań.



Wiedza modelowana w systemach doradczych najczęściej jest wyrażana za pomocą znaków alfanumerycznych. Dużą trudność stanowi przetworzenie inżynierskiej wiedzy projektowej do reprezentacji stosowanych w systemach doradczych. Zachodzi potrzeba uchwycenia problemów inżynierskich i wyrażenia ich za pomocą obiektów dostępnych w systemach doradczych.

Opisując określoną konstrukcję, zwykle bierzemy pod uwagę określone jej cechy projektowe, możemy je ująć w postaci atrybutów o określonych nazwach, atrybuty mogą przyjmować określone wartości. Mogą to być wartości liczbowe, tekstowe, itp.

Bardzo często stosowane są zagregowane formy reprezentacji wiedzy np. tworzone są obiekty o określonych właściwościach. Tworząc np. obiekt typu stopień wału maszynowego możemy z nim powiązać np. dwie właściwości: długość i średnicę wału. Jeżeli modelujemy wiele obiektów typu stopień wału to każdy z nich będzie posiadał te dwie właściwości. Budując reguły możemy odwoływać się do obiektu stopień wału i np. właściwości średnica. Z wielkością średnicy możemy powiązać wiedzę np. dotyczącą standardowych średnic czopów, stosowanych połączeń wpustowych, itp.

Systemy doradcze są tym skuteczniejsze im bardziej wiedza zamodelowana w ich bazach wiedzy jest adekwatna do wiedzy funkcjonującej w problemach rozwiązywanych realnie. Osiągnięcie takiego poziomu przez systemy doradcze na ogół wiąże się z dużym nakładem pracy, który może się okazać niewspółmierny do uzyskiwanych efektów. Stosowanie systemów doradczych sprawdza się najlepiej w przypadku rutynowych problemów projektowych o dużym stopniu powtarzalności. Zasadniczy cel ich stosowania w tym przypadku to odciążenie projektującego od nużących, rutynowych i często powtarzających się działań.

Dzisiejsza generacja systemów doradczych najczęściej wyposażona jest w szereg narzędzi ułatwiających ich tworzenie i integrowanie z innym oprogramowaniem.

Dużo uwagi poświęca się obecnie zagadnieniu łatwości łączenia ze sobą różnych baz wiedzy, które merytorycznie wiążą się ze sobą, ale nie zawsze bazują na tych samych zbiorach pojęć. Generalnie chodzi o to aby jak najlepiej wykorzystywać dostępne, zamodelowane, funkcjonujące już zasoby wiedzy.

### **ROZDZIAŁ 3**

Pożądaną sytuacją jest możliwość szybkiego integrowania z istniejącą, używaną bazą wiedzy nowych jej zasobów, tworzonych zarówno przez osoby blisko związane z użytkownikami środowiska jak też osoby, instytucje zupełnie spoza tego kręgu.

# 4

## **Integracja systemów doradczych z oprogramowaniem wspomagającym prace inżynierskie**

W tym rozdziale:

- Integracja systemów doradczych z oprogramowaniem wspomagającym prace inżynierskie

Systemy doradcze służą najczęściej do wspomagania procesu rozwiązywania określonych, przeważnie powtarzalnych problemów. W zastosowaniach inżynierskich jest podobnie.

Dzisiejsze środowisko pracy inżyniera zawiera cały szereg metod i narzędzi komputerowych. Standardem jest posługiwanie się systemami CAD/CAE/CAM. Zadaniem tych narzędzi jest u efektywnienie procesów projektowych, podniesienie jakości ich realizacji.

W pracy inżyniera można wyodrębnić cały szereg aktywności, które cechuje duży stopień rutynowości i powtarzalności, które mogą być dla niego nużące. Obecność systemów CAD/CAE/CAM na pewno zmniejszyła wysiłek związany z realizacją tej klasy zadań. Nie wyeliminowała go jednak do końca.

Współcześnie realizowane procesy projektowe osiągnęły znaczny stopień komplikacji i specjalizacji. Dominujące stało się projektowanie poprzez zmianę. Większość produktów powstaje na drodze ewolucji aktualnych rozwiązań. Typowa dla dzisiejszych produktów jest także ich wielowariantowość.

Powyższa charakterystyka zadań inżynierskich podejmowanych obecnie wskazuje na sensowość zastosowania podejścia opartego na systemach doradczych w powiązaniu z systemami CAD/CAE/CAM w celu zaferowania bardziej inteligentnego wspomagania procesu realizacji niektórych klas zadań inżynierskich.

Takim narzędziem stały się moduły Knowledge Based Engineering (KBE) obecne dzisiaj w większości systemów CAD/CAE [14, 19, 24, 26]. Ich zadaniem jest zapewnienie możliwości zamodelowania wiedzy inżynierskiej dotyczącej określonej aktywności projektowej w taki sposób aby wiedza ta mogła bezpośrednio sterować procesem realizacji inżynierskich zadań projektowych.

Aplikacje KBE znalazły zastosowanie w przemyśle. Pozwoliły u efektywnić wiele realizowanych procesów. Zakres ich zastosowań to przeważnie projektowanie rutynowe.

W realnie spotykanych aplikacjach przemysłowych można znaleźć wiele różnych rozwiązań w zakresie KBE. Mogą to być aplikacje funkcjonujące w ramach jednego, zintegrowanego, komercyjnego środowiska. Mogą to być także indywidualne, własne, firmowe środowiska działające w oparciu o zamodelowaną wiedzę, zintegrowane ze sparametryzowanymi modelami geometrycznymi przetwarzanymi przez komercyjne systemy CAD/CAE.

Zasadniczym problem dzisiejszej generacji systemów KBE jest problem rozwoju wiedzy. Wiedza inżynierska się rozwija, wiedza ta jest następnie modelowana w środowiskach komputerowych. Rodzi to wersyjność tych środowisk i wersyjność modeli generowanych za pomocą narzędzi KBE. W przypadku dużej ilości projektów wykonywanych przez różne wersje danego środowiska konieczne jest utworzenie modułów zarządzających wersjami bazy wiedzy tak aby móc powiązać wersje baz wiedzy z wygenerowanymi projektami. Jest to konieczne w przypadku przeprojektowywania wcześniej powstałych konstrukcji.

Dosyć ważnym zagadnieniem jest także możliwość dotarcia do źródeł wiedzy, które stanowiły podstawę do wygenerowania określonych elementów wiedzy w bazie wiedzy systemu KBE. Te zależności nie zawsze są utrwalane czy też kontrolowane. Systemy KBE mogą być używane przez osoby, które kompletnie nie rozumieją założeń ich funkcjonowania. Możliwość dotarcia do tych źródeł wiedzy może pozwolić łatwiej ocenić założenia jakie zostały przyjęte przy budowie aplikacji KBE i odpowiedzieć na pytanie czy prowadzone procesy przetwarzania za pomocą aplikacji KBE są poprawne.



# 5

## Literatura

W tym rozdziale:

- Spis literatury

1. Cichocki P., Pokojski J., *Metodyka przechowywania wiedzy projektowej w budowie maszyn*, IPBM PW, 2001
2. Clarkson, J., Eckert, C. (ed.): *Design Process Improvement. A review of current practice*. Springer – Verlag, London, 2005
3. Court A.W., *The Relationship Between Information and Personal Knowledge in New Product Development*. *International Journal of Information Management*, vol. 17, No. 2:123-138, 1997
4. Court A.W., *Issues for integrating knowledge in new product development : reflections from an empirical study*. *Knowledge-Based Systems* 11: 391-398, 1998
5. Court A.W., Ullman D.G., Culley S.J., *A Comparison Between the Provision of Information to Engineering Designers in the UK and the USA*. *International Journal of Information Management*. Vol. 18 No. 6: 409-425, 1998
6. Ehrgott, M. & Gandibleux, X. (ed.) , *Multiple Criteria Optimization, State of the Art Annotated Bibliographic Surveys*. Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publisher, 2002
7. Hatamura, Y. (edit.), *Decision – Making in Engineering Design*. Springer-Verlag, 2006
8. Hicks B.J., Culley S.J. Allen R.D., Mullineux G., *A framework for the requirements of capturing, storing and reusing information and knowledge in engineering design*. *International Journal of Information Management* 22:263-280, 2002
9. Hwang, Ch., Masud, A., *Multiple Objectives Decision Making - Methods and Applications*, Springer-Verlag, 1979
10. Hwang, Ch., Yoon, K. *Multiattribute Decision Making*, Springer-Verlag, 1981
11. Kitamura, Y., Kashiwase, M., Fuse, M., Mizoguchi, R., *Deployment of on ontological framework of functional design*



- knowledge. *Advanced Engineering Informatics* 18: 115-127, 2004
12. Knosala R., *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, 2002
  13. Linkiewicz G., Marowski W., Pokojski J (ed.), *Komputerowe wspomaganie projektowania w środowisku rozproszonym*, WNT, 2007
  14. *Managing Engineering Knowledge, MOKA - project*. Professional Engineering Publishing Limited, London, 2001.
  15. McMahon, C.A., Liu, Y., Crossland, R., Brown, D., Leal, D., Devlukia, J., A best practice advice system to support automotive engineering analysis processes. *Engineering with Computers*, 19, 4: 271-283, 2004
  16. Mulawka J., *Systemy ekspertowe*, WNT, 1996
  17. Osiński Z., Wróbel J., *Teoria konstrukcji maszyn*. PWN, 1982
  18. Pokojski J. (ed.), *Zastosowanie metody CBR w projektowaniu maszyn*, WNT, 2003
  19. Pokojski, J., *IPA (Intelligent Personal Assistant) – Concepts and Applications in Engineering*. Springer-Verlag, London, 2004
  20. Pokojski J., *Systemy doradcze w projektowaniu maszyn*, WNT, 2005
  21. Regli, W.C., Hu, X., Atwood, M., Sun, W., A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval. *Engineering with Computers*, 16: 209-235, 2001
  22. Roy R (ed.) *Industrial Knowledge Management: A Micro-level Approach*. Springer-Verlag, London, Berlin, Heidelberg, 2001
  23. Sevilmis N., Stork A., A Semantic –based Approach for Concurrent Engineering, *ProSTEP iViP Science Days 2007, Proceedings, Bremen*,: 136-145, 2007
  24. Sriram R., *Intelligent Systems for Engineering. A Knowledge Based Approach*. Springer-Verlag, 2007
  25. Sriram R., Standards for Collaborative Product Development. In: *Advances in Concurrent Engineering CE2001, Eighth ISPE*

International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, Anaheim, USA, pp XXXVII – XLV, 2001

26. Sriram R. D., Distributed Integrated and Collaborative Engineering Design, Sarven Publishers, Glenwood, MD 21738, 2002
27. Tiwana A., The Knowledge Management Toolkit. Prentice Hall PTR (Second Edition), 2002
28. Ullman D.G., The Mechanical Design Process, McGraw-Hill (Third Edition), 2002
29. Wallace, K., How engineering designers retrieve information, Design Methods for Practice, ed. R. Rohatyński, Zielona Góra, : 171-180, 2006