

Zastosowanie systemów ekspertowych w planowaniu procesu produkcyjnego

Dariusz Plinta, Izabela Kutshenreiter-Praszkiewicz

Katedra Inżynierii Produkcji, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Streszczenie: W artykule przedstawiono zastosowanie systemów ekspertowych (ekspertekich) w planowaniu procesu produkcyjnego. Celem planowania jest ustalenie możliwych terminów realizacji zamówień oraz kolejności realizacji zleceń produkcyjnych. Uwzględnienie wszystkich czynników wpływających na decyzje związane z planowaniem procesów produkcyjnych staje się niemożliwe bez wykorzystania metod i narzędzi wspierających podejmowanie decyzji. Są to np. systemy ekspertowe oparte na przedstawionej w artykule metodzie QFD oraz metodzie modelowania i symulacji.

Słowa kluczowe: planowanie produkcji, systemy ekspertowe

Systemy ekspertowe doczekały się szeregu zastosowań w różnych obszarach działalności przedsiębiorstwa [5, 7]. Systemy te, jako narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji są rozwijane i doskonalone od lat 60. ubiegłego stulecia. Zastosowania komercyjne są dostępne od lat 80. Zastosowania systemów w zakresie diagnostyki, projektowania, monitorowania, sterowania i planowania są ciągle udoskonalane – podejmowane są próby implementacji kolejnych coraz doskonalszych rozwiązań.

Szczególnie istotnym problemem w działalności przedsiębiorstwa są decyzje dotyczące czasu oraz kosztów realizacji procesów produkcyjnych. Przedsiębiorstwa muszą podjąć decyzje, nie znając wszystkich uwarunkowań dotyczących realizacji zamówień. Stąd konieczność rozwoju systemów ekspertowych wspomagających podejmowanie decyzji w tym obszarze.

1. Wprowadzenie

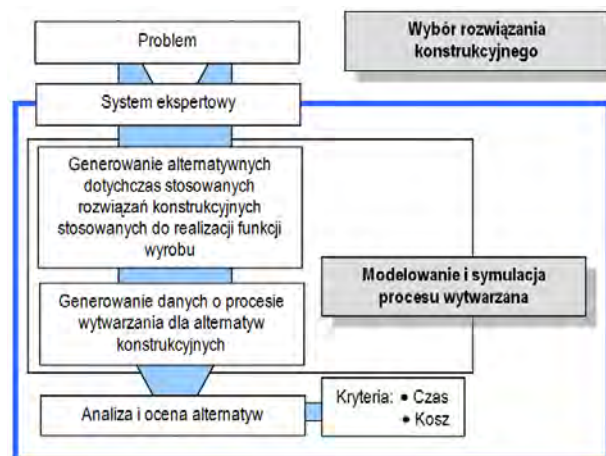
Czynnikami, które decydują o konkurencyjności oferowanego wyrobu przez przedsiębiorstwo jest: funkcjonalność, cena oraz termin realizacji. Charakterystyka produktu obejmująca wyżej wymienione dane może być określona dzięki wykorzystaniu systemów ekspertowych oraz metod symulacyjnych. Jednym z zadań systemu ekspertowego może być określenie terminu realizacji zleceń. Pozyskanie reguł dotyczących tego zagadnienia może zostać przeprowadzone dzięki zastosowaniu symulacji przebiegu procesu produkcyjnego.

Planowanie procesu produkcyjnego obejmuje m.in. odpowiedzi na pytania takie jak: jakie zadania są do wykonania, na kiedy zadania będą wykonane, jakie zasoby są potrzebne, kiedy zasoby są potrzebne.

Na etapie przygotowania oferty konieczna jest analiza wymagań, które powinien spełniać wyrób podczas jego

przyszłej eksploatacji. Wymagania mogą być: funkcjonalne, niezawodnościowe, bezpieczeństwa, środowiskowe, materiałowe, eksploatacyjne, dotyczące opakowania, transportowe, magazynowe itd. Od wiedzy pracowników, możliwości technicznych zakładu oraz organizacji zależy to, czy wymagania zostaną spełnione oraz w jakim terminie i koszcie wyrób zostanie wykonany.

Jedną z metod pozwalających na skrócenie prac rozwojowych produktu jest Quality Function Deployment (QFD), która pozwala na uwzględnienie wymagań klienta w procesie projektowania zarówno produktu, jak i procesu. Natomiast na etapie planowania procesów wytwarzania można wspierać się systemami ekspertowymi, które cały czas pozyskują nową wiedzę z zrealizowanych zleceń oraz z programów symulacyjnych, którymi sprawdzamy różne możliwe warianty.



Rys. 1. Zastosowanie modelowania i symulacji w systemach ekspertowych

Fig. 1. The use of modelling and simulation in the expert systems

2. Problem badawczy

Wynikiem planowania procesu produkcyjnego jest termin oraz koszt wytworzenia wyrobu, a zatem planowanie wymaga wiedzy eksperckiej niezbędnej do podjęcia decyzji m.in. w obszarach:

- struktury wyrobu oraz jego parametrów,
- struktury procesu produkcyjnego oraz jego parametrów.

Problemem badawczym jest zbudowanie reguł dotyczących określania terminu realizacji zlecenia na podstawie charakterystyki wyrobu określonej z wykorzystaniem metody QFD oraz metody modelowania i symulacji.

- Przyjęto następujące założenia:
- wyrób ma budowę modułową,
 - przedsiębiorstwo charakteryzuje się produkcją jednostkową i małoseryjną (dobór parametrów obróbkowych jest realizowany przez pracownika obsługującego stanowisko pracy),
 - istnieje zbiór walidowanych wyrobów oraz procesów produkcyjnych.

3. Metodyka badawcza

3.1. Dobór charakterystyki wyrobu z wykorzystaniem metody QFD

QFD jest metodą modelowania wspomagającą opracowywanie projektów o wymaganej jakości w każdej fazie rozwoju produktu. QFD rozpoczyna się od analizy wymagań klienta, która jest zamieniana na wewnętrzne wymagania przedsiębiorstwa. Jest metodą rozwoju produktu zorientowaną na klienta. Podstawowa koncepcja QFD to przełożenie wymagań klienta na wymagania projektowe, a następnie na charakterystykę części, charakterystykę procesu, charakterystykę operacji. QFD jest również metodą analizy i poprawy systemu produkcyjnego. Wymaga zastosowania ciągu macierzy, w którym każda z macierzy odpowiada etapowi rozwoju produktu [1, 2, 4, 8].

QFD rozpoczyna się od listy celów, która wyjaśnia, co jest rzeczywiście wymagane w celu rozwoju produktu, odzwierciedla związek, między tym „co” klient potrzebuje i „jak” to odpowiada technicznym lub funkcjonalnym wymaganiom. Macierz QFD jest często nazywana domem jakości i jest ukierunkowana na maksymalizację zadowolenia klienta i tworzenie wartości. Pierwszym krokiem, aby zapewnić satysfakcję klienta jest zrozumienie jego potrzeb.

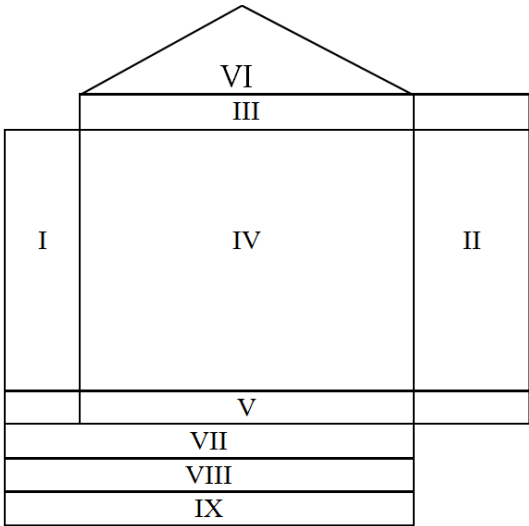
- Można wyróżnić trzy rodzaje wymagań klienta [6]:
- ujawnione, które pochodzą bezpośrednio od klienta i gwarantują jego satysfakcję proporcjonalnie do ich spełnienia,
 - spodziewane – oczekiwania, bez spełnienia których klient nie jest zainteresowany kupnem,
 - pobudzające – przekraczające oczekiwania klienta; ich brak nie powoduje niezadowolenia klienta.

Przygotowanie macierzy QFD wymaga integracji wiedzy z zakresu marketingu, konstrukcji oraz technologii. QFD może być traktowane jako mechanizm zarządzania planowaniem produktu jak i mechanizm badania projektu [3].

Na macierz QFD składa się dziewięć elementów (rys. 2) [9], które obejmują:

- I – wymagania konsumenta – które mogą być określone przez odpowiedź na pytanie „co?” (dane podaje dział marketingu),
- II – stopień ważności każdego z wymagań wraz z oceną porównawczą firm konkurencyjnych – określenie istotności potrzeb odbywa się poprzez odpowiedź na pytanie „dlaczego?”. Klienci oceniają spełnienie danego wymagania w wyrobie analizowanym oraz w wyrobach konkurencyjnych. W dalszej kolumnie są zapisywane wartości docelowe, jakie klient chce osiągnąć (dane podaje dział marketingu),

- III – cechy techniczne (projektowe, technologiczne, towaroznawcze) wyrobu – na zadane pytanie „jak?” odpowiedzi udzielają technolodzy,
- IV – relacja między potrzebami odbiorcy a cechami technicznymi – jest zapisywana za pomocą ustalonej skali ocen, np. 1 – korelacja słaba, 3 – korelacja średnia, 9 – korelacja silna,
- V – ocena względna każdej z cech technicznych – odpowiada na pytanie „które?” i pozwala na zróżnicowanie ważności cech,
- VI – stopień korelacji między cechami technicznymi,
- VII – cechy pożądane dla każdej cechy technicznej – wartości liczbowe, jakie zakłada się dla wyrobu modyfikowanego,
- VIII – techniczna ocena porównawcza,
- IX – specjale wymagania związane z bezpieczeństwem, regulacjami i serwisem.



Rys. 2. Układ macierzy QFD
Fig. 2. GFD matrix arrangement

Elementy macierzy QFD obejmują charakterystykę kluczowych wymagań klienta w powiązaniu z podstawowymi charakterystykami wyrobu. Określenie wymagań klienta dla produktu przemysłowego, będącego maszyną, urządzeniem lub jego elementem wymaga określenia:

- środowiska pracy urządzenia,
- wymagań funkcjonalnych,
- danych handlowych dotyczących ceny i terminu realizacji,
- warunków gwarancji.

Istotne jest, aby dane były analizowane stosownie do typu klienta tak, aby w macierzy QFD wprowadzać tylko te dane, które są istotne dla klienta. Wprowadzenie zbyt dużej ilości danych spowoduje brak czytelności metody. Metoda QFD pozwala na porównanie wariantów wyrobów, podzespołów, elementów, procesów itd. Przykładowe dane wykorzystane do porównań przedstawiono w tab. 1.

Wypełnioną przykładową macierz QFD dla wyrobu typu motoreduktor przedstawiono na rys. 3.

Tab. 1. Warianty elementów przekładni
Tab. 1. Variants of the transmission components

Elementy	Al- terna- tyw	Moc [kW]	Prę- kość obro- towa [Obr/min.]	Prze- łoże- nie	Koszt [PLN]	Czas pracy [godz]	Gwa- rancja [m-ce]
Przekład- nia	t1	30	104	14	5000	30	12
	t2	28	100	15	5200	32	12
	t3	31	108	14	4800	29	6
Silnik	t1	30			3200	10	3
	t2	35			3100	15	12
	t3	30			3300	15	12
Hamulec	t1	40			100	20	12
	t2	30			90	30	6
	t3	35			110	10	24
Czujnik tempera- tury	t1				20	10	12
	t2				40	12	12
	t3				10	12	12

		4				
		3	+			
		2	+			
		1		+	+	+
Co?	Jak?	Przekładni a	Silnik	Hamulec	Czujnik temperatury	
Atrybut	Wartość wymagan a	1	2	3	4	
Moc	30W	9	3	3		
Prędkość wyjściowa	100	9				
Przełożenie	15	9				
Koszt	10000	9	9	3	3	
Czas realizacji	5 tyg	9	9	9	9	
Gwarancja	12m-cy	9		9	9	
Ocena		1		t3		
		2		t1		
		3	t3	t1, t2	t2	t1, t2, t3
		4	t1, t2	t3		
		5				

Rys. 3. Ocena wariantów podzespołów/zespołów/części w macierzy QFD
Fig. 3. Assessment of variants for components/assemblies/parts in the QFD matrix

3.2. Określenie terminu realizacji zlecenia z wykorzystaniem metody modelowania i symulacji

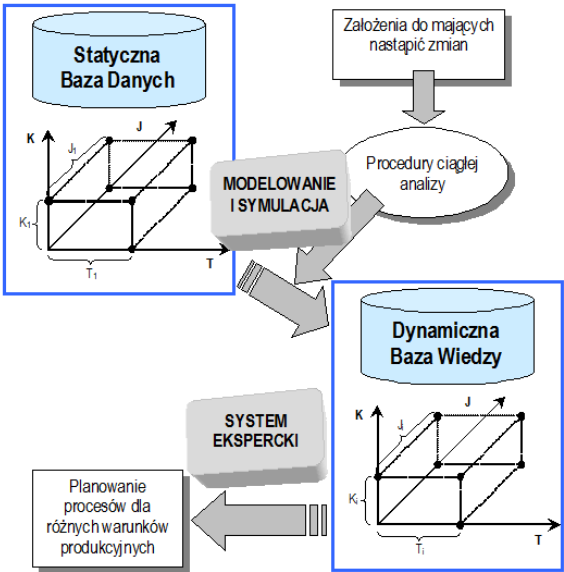
Jednym z istotnych problemów w budowie systemu ekspertowego jest pozyskanie danych dla potrzeb podejmowania decyzji. Jedną z możliwych metod pozyskiwania wiedzy w procesie produkcyjnym jest modelowanie i symulacja.

Modelowanie systemów produkcyjnych opiera się przede wszystkim na statycznej bazie danych, czyli na danych zarejestrowanych w systemie informatycznym przedsiębiorstwa. Informacje te, czyli np. normy czasu pracy, normy materiałowe, informacje o posiadanych

zasobach, koszty maszynogodziny są rzadko uaktualniane. Często nie uwzględniają zmian, jakie obecnie następują i jakie w najbliższym czasie wystąpią. Poprzez zastosowanie pakietu do modelowania i symulacji można na bieżąco analizować efekty mających nastąpić zmian. Opracowanie i wdrożenie procedur ciągłej analizy systemu produkcyjnego stanowi podstawę do stworzenia dynamicznej bazy wiedzy. W takiej bazie będą rejestrowane na bieżąco wszystkie obecne i planowane przyszłe zmiany oraz informacje o efektach działań produkcyjnych realizowanych w różnych warunkach produkcyjnych. Dzięki czemu będzie możliwa bieżąca analiza czasu realizacji, kosztów i jakości z uwzględnieniem różnych dynamicznie zmieniających się warunków funkcjonowania przedsiębiorstwa (rys. 4.)

W układzie statycznym często nie ma możliwości porównania i oceny różnych uwarunkowań produkcyjnych. Dynamiczna baza wiedzy umożliwia bardziej precyzyjne określanie parametrów systemu i parametrów procesów w nich zachodzących. Symulacja umożliwia sprawdzenie różnych wariantów np. realizowanych zleceń produkcyjnych z punktu widzenia przyjętych kryteriów, np. czasu, kosztów i jakości.

Metodą taką – w układzie dynamicznie zmieniających się danych – można analizować nie tylko procesy wytwarzania, ale również pozostałe procesy realizowane w przedsiębiorstwie. Model systemu produkcyjnego może uwzględniać jednocześnie procesy wytwarzania, procesy przepływu informacji związane z realizacją zleceń produkcyjnych, działania związane z projektowaniem, zaopatrzeniem, dystrybucją, sprzedażą, analizą kosztów.

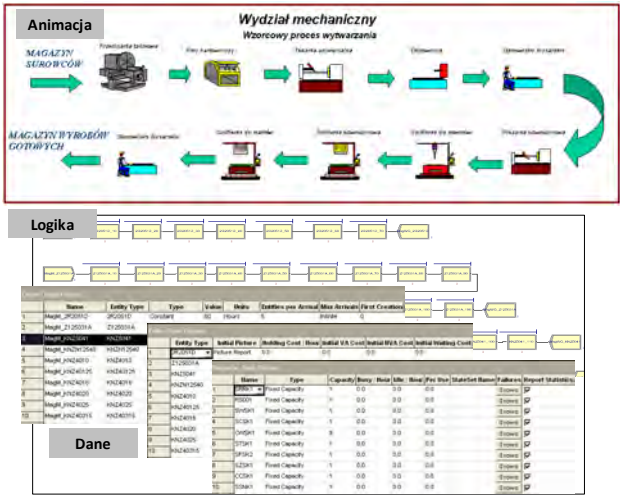


Rys. 4. Planowanie procesów w oparciu o system ekspercki i metodę modelowania i symulacji
Fig. 4. Processes planning based on the expert system and the modeling and simulation method

Przez dodawanie kolejnych procesów tworzy się model, który obejmuje całość działań realizowanych w przedsiębiorstwie. Osoba kierująca takim przedsiębiorstwem dzięki symulacji otrzymuje całościowy obraz funkcjonowania firmy w różnych warunkach produkcyjnych.

4. Praktyczny przykład modelu symulacyjnego wspierającego system ekspertowy

Przedstawiony niżej przykład dotyczy wydziału mechanicznego, dla którego w pakiecie ARENA [10] opracowano model symulacyjny umożliwiający sprawdzenie możliwości realizacji różnych wariantów planu produkcyjnego (rys. 5). Celem symulacji jest przede wszystkim sprawdzenie i ocena realizacji przyjętych zamówień, natomiast kolejnym krokiem analizy jest wygenerowanie wariantów różniących się np. kolejnością realizacji zamówień, ich priorytetami, czasem rozpoczęcia ich realizacji, wielkością serii itp. Wyniki z symulacji stanowią źródło informacji i podstawę do wyciągania wniosków na temat różnych sposobów realizacji procesu wytwarzania.

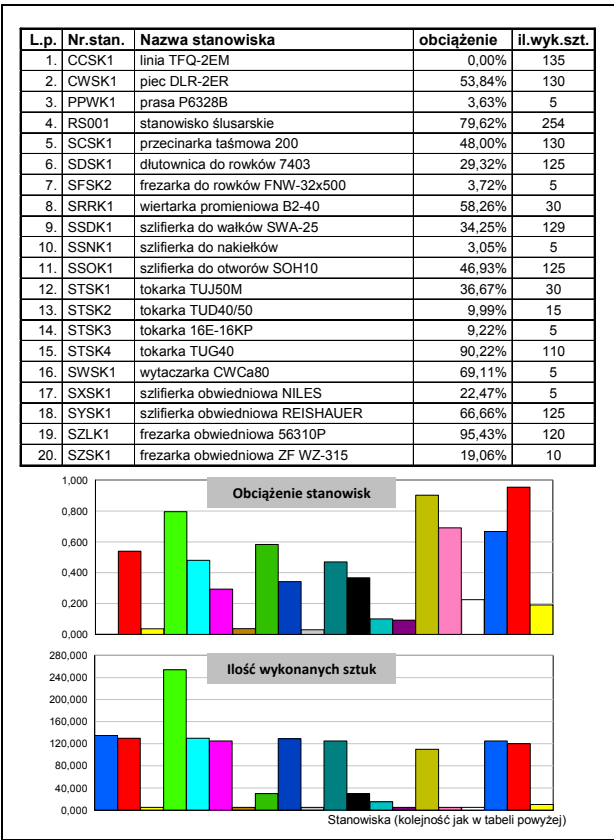


Rys. 5. Model symulacyjny przebiegu procesu produkcyjnego
Fig. 5. Simulation model of the production process run

Przeprowadzone symulacje pozwoliły na sprawdzenie możliwości realizacji zaproponowanego planu produkcyjnego oraz na dokładniejsze prześledzenie wykorzystania zasobów produkcyjnych przedsiębiorstwa. Wyniki symulacji pozwalają na sprawne wyszukiwanie wąskich gardeł oraz wskazanie niewykorzystywanych elementów systemu produkcyjnego (rys. 6).

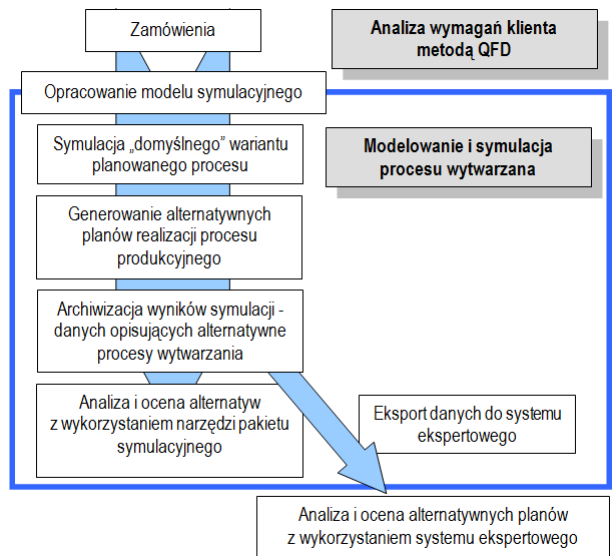
Tak opracowany model symulacyjny można połączyć z bazą danych systemu ekspertowego, który będzie wspomagał podejmowanie decyzji dotyczących planowania produkcji (rys. 7).

Przy wykorzystaniu języka zapytań SQL możliwe jest zbudowanie systemu ekspertowego, czyli aplikacji wspomagającej np. planowanie oraz analizę procesów produkcyjnych. Dane źródłowe do przeprowadzanych tego typu analiz mogą zostać zaimportowane bezpośrednio z aktualnych tabeli transakcji operacji finansowych. Natomiast dane opisujące realizowany proces można zaczerpnąć bezpośrednio z modelu symulacyjnego. W wersji programu symulacyjnego, w której zbudowano opisany powyżej model, wyniki uzyskane z symulacji oraz dane wejściowe do symulacji (np. przyjęty do realizacji plan produkcji) są zapisywane w pliku bazodanowym w formacie programu MS Access.



Rys. 6. Przykładowe wyniki z symulacji
Fig. 6. Examples of results from simulation

W opisywanym przykładzie wszystkie dane niezbędne do symulacji zostały wprowadzone do modelu w sposób „ręczny”. Niektóre parametry (w tym np. liczbę zatrudnionych pracowników) program może zmieniać automatycznie, generując kolejne warianty. Umożliwiają to dodatkowe moduły pakietu ARENA, takie jak Process Analyzer oraz OptQuest.



Rys. 7. Metoda QFD oraz modelowanie i symulacja jako podstawa systemu ekspertowego
Fig. 7. QFD method and modeling and simulation as the base of expert system

5. Podsumowanie

Do podejmowania decyzji związanych z realizacją procesów produkcyjnych, ich nadzorowania i diagnozowania potrzebne są różne informacje w zależności od rodzaju decyzji. Na przykład w zakresie zaopatrzenia, przy decyzjach dotyczących zamówień, potrzebne są następujące dane: obecny stan magazynów, przewidywane zapotrzebowanie na materiał, cena materiału, czas realizacji zamówienia, itd. W przypadku zatwierdzania planu produkcji musimy znać zdolności produkcyjne posiadanych zasobów, potrzeby klientów itd.

Informacje niezbędne do podjęcia decyzji często są gromadzone w różnych miejscach (archiwach, bazach danych różnych programów). Należy jednak dążyć do zgromadzenia wszystkich informacji w jednym miejscu. W większości przedsiębiorstw funkcjonuje kilka różnych pakietów oprogramowania. Rozwiązaniem pozostaje wówczas próba ich integracji.

Bibliografia

1. Bahrami A., Dagli C.: *Design science. Intelligent Systems in design and manufacturing*, Edited by Dagli C. and Kusiak A., ASME Press, New York 1994.
2. Hernandez-Matias J. C., Vizan A., Hidalgo A., Rios J.: *Evaluation of techniques for manufacturing process analysis*, "Journal of Intelligent Manufacturing", Vol. 17, 2006, 571–583.
3. Karaszewski R.: *Nowoczesne koncepcje zarządzania jakością*, TNOIK, Toruń 2006.
4. Karsak E. E., Sozer S., Alptekin S. E.: *Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach*, "Comput. Ind. Eng.", Vol. 44, 2003, 171–190.
5. Knosala R.: *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2002.
6. Mazur G.: *QFD for Small Business*, The Sixth Symposium on Quality Function Deployment, Novi, Michigan 1994.
7. Mulawka J.: *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa 1996.
8. Sener Z., Karsak E.: *A decision model for setting target levels in quality function deployment using non-linear programming-based fuzzy regression and optimi-*

zation, "Int. J. Adv. Manuf. Technol.", Springer-Verlag London Limited, London 2009.

9. Wawak S.: *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*, Helion, Gliwice 2006.
10. ARENA – materiały szkoleniowe.

The use of experts systems in process production planning

Abstract: The paper presents application of expert systems in the planning of production process. The aim of planning is to determine the possible terms of orders and the sequence of execution of production orders. Taking into account all factors influencing decisions, which are related to planning processes, it becomes impossible without the use of methods and tools for decision support, for example expert systems with methods presented in this paper – with QFD, modeling and simulation.

Keywords: production planning, expert systems

dr. hab. inż. Dariusz Plinta, prof ATH

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Inżynierii Produkcji,
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała.
e-mail: dplinta@ath.bielsko.pl



dr inż. Izabela Kutshenreiter-Praszkiewicz

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Inżynierii Produkcji,
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała.
e-mail: ipraszkiewicz@ath.bielsko.pl

