

## WYBRANE ZAGADNIENIA TECHNICZNEGO PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI WYROBU INNOWACYJNEGO

### 1. Wprowadzenie

Spośród wielu rodzajów badań podejmowanych w celu rozwiązania określonych problemów decyzyjnych w przedsiębiorstwach na szczególną uwagę zasługują te, które wpływają na kształtowanie oferowanego wyrobu pod kątem wymagań klienta.

Rozwój wyrobu może być analizowany jako sekwencja kolejnych etapów, w ramach których są realizowane działania. Silna konkurencja wymusza skracanie cyklu rozwojowego wyrobu. Im krótszy czas wejścia wyrobu na rynek, tym większe prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu rynkowego. Jedną z metod pozwalającą na skrócenie prac rozwojowych wyrobu jest *Quality Function Deployment* (QFD), która pozwala na uwzględnienie wymagań klienta w projektowaniu zarówno wyrobu, jak i procesu.

Innowacja, czyli wprowadzenie nowych rozwiązań do organizacji może mieć różny charakter oraz podłoże. Na uwagę zasługuje podejście popytowe do innowacji przedstawione przez Żelichowską [36] oraz Ociecek [23]. Źródłem innowacji w podejściu popytowym jest otoczenie, tzw. interesariusze zewnętrzni, którymi są partnerzy handlowi, odbiorcy, ostateczni użytkownicy produktów. Wprowadzane innowacje popytowe przyczyniają się do poszerzenia portfela produktowego. A zatem istnieje potrzeba opracowania rozwiązań, które usprawnią wprowadzanie do procesu produkcyjnego zmian w wyrobach, które będą odpowiadały na potrzeby klientów.

Wdrożenie produktu innowacyjnego do procesu produkcyjnego może być realizowane z zastosowaniem metod zarządzania projektem.

Na uwagę zasługuje podejście atrybutowe. Wg [20] atrybuty projektu mogą być podzielone na kategorie:

- atrybuty uzyskane w wyniku realizacji projektu,
- atrybuty uzyskane w wyniku realizacji innych powiązanych projektów,
- atrybuty tworzone w toku systematycznej działalności,
- atrybuty uzyskane przez działania przeszłe.

Podejście atrybutowe koncentruje się na poszczególnych cechach oferty. W procesie tworzenia wartości wyrobu na szczególną uwagę zasługują te zadania, których realizacja określa atrybuty wyrobu uzyskiwane w procesie produkcyjnym, czyli zadania technicznego przygotowania produkcji (TPP).

Wartość wyrobu dla klienta jest rozumiana jako stosunek korzyści, jakie dany wyrób daje klientowi w odniesieniu do kosztów, jakie klient ponosi [3].

Korzyści, jakie klient otrzymuje nabywając wyrób, są określane przez funkcje wyrobu podstawowego, tworzącego rdzeń wyrobu oraz wyrobu rozszerzonego. Kształtowanie wyrobu powinno uwzględniać nie tylko kształtowanie rdzenia wyrobu, ale również innych cech wyrobu, takich

jak np. dodatkowe wyposażenie, warunki dostawy, warunki płatności, usługi posprzedażowe (np. gwarancja, serwis pogwarancyjny) itd.

Identyfikacja pełnej charakterystyki wyrobu obejmującej zarówno cechy techniczne, jak i handlowe, takie jak cena, termin realizacji oraz gwarancja wymaga analizy struktury wyrobu oraz procesu wytwarzania, który zapewni satysfakcję klienta.

Rozwój metod umożliwiających algorytmizację procesu kształtowania wyrobów pod względem cech funkcjonalnych z uwzględnieniem procesu wytwarzania jest jednym z obszarów TPP wpływających na poprawę konkurencyjności przedsiębiorstw.

Tworzenie nowych wyrobów pod względem spełnianych funkcji z uprzednio opracowanych standardowych zespołów/zespołów/elementów, dla których znany jest proces wytwarzania, czyli stosowanie standaryzacji obniża koszty oraz poprawia niezawodność [7, 15]. Koncepcja wyrobów modułowych umożliwiła wzrost różnorodności wyrobów przy zachowaniu wysokiej jakości i niskiej ceny wyrobu.

### 2. Komputerowe wspomaganie TPP – przykłady zastosowań

Przedsiębiorstwa konkurują m.in. umiejętnościami w zakresie ciągłego rozwoju wyrobów. Ze względu na złożoność problematyki rozwoju wyrobu, kluczową rolę w redukcji kosztów, wzroście wydajności oraz poprawie jakości nowych oraz modernizowanych wyrobów odgrywają metody sztucznej inteligencji szeroko opisywane w literaturze.

Metody sztucznej inteligencji (AI) obejmują m.in.: sztuczne sieci neuronowe (ANN), algorytmy genetyczne (GA), logikę rozmytą (FL), systemy ekspertowe (ES), bazy wiedzy (KB), systemy bazujące na wiedzy (KBS), wnioskowanie na podstawie przykładów (CBR), metody roju cząstek (PSO), sztuczne systemy immunologiczne (AIS). Badania nad sztuczną inteligencją również koncentrują się na badaniu przydatności rozwiązań hybrydowych łączących różne metody reprezentacji wiedzy. Nastąpiła daleko idąca ewolucja metod pozyskiwania wiedzy. W ostatnim czasie rozwijają się metody odkrywania wiedzy z baz danych, określane mianem eksploracji danych (ang. *data mining*) [13, 17, 26, 35].

Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w rozwoju nowego wyrobu obejmuje przede wszystkim zastosowanie systemów wspomaganie decyzji (ES, KB, KBS), predykcję danych (ANN), problemy optymalizacji (GA).

Indrianti i Toha [12] przedstawili metodę planowania prac przygotowania produkcji dla zadań realizowanych w warunkach produkcji *make to order* (MTO) zgodnie z zasadami *concurrent engineering*. Kusiak [18] podkreślił znaczenie modułowości w konfiguracji wyrobu oraz znaczenie

integracji metod *data mining* z istniejącymi w przedsiębiorstwach aplikacjami.

Hsu [10] przedstawił przegląd metod wspomagających rozwój wyrobu, podając m.in. przykład zastosowania metody CBR do projektowania elementów maszyn. Baxter [2] przedstawił przegląd metod, które mogą posłużyć do ponownego wykorzystania wiedzy dotyczącej wymagań stawianych wyrobom i procesom produkcyjnym, zwracając uwagę na znaczenie metody CBR. Jinsong [14] przedstawił metodykę modelowania wyrobu oraz przykłady regułowej reprezentacji wiedzy w zastosowanych w systemie wspomagającym konfigurację wyrobu. Myung [22] opracował system ekspertowy wspomagający projektowanie wyrobu wykorzystując komercyjny CAD oraz szkieletowy system ekspertowy, opracował reguły uwzględniające typy elementów, ich wymiary oraz możliwość montażu. Zhai [33] zaprezentował zastosowanie zbiorów przybliżonych w celu wspomaganie decyzji we wczesnym stadium rozwoju wyrobu, dając podstawę do opracowania systemu ekspertowego wspomagającego rozwój wyrobu. Hong [9] zastosował algorytmy genetyczne w celu optymalizacji konfiguracji wyrobu, wykorzystując analizę danych historycznych stosowaną jako podstawę do wyznaczenia korelacji między wymaganiami klienta a strukturą wyrobu w metodzie QFD. Piłot i Knosala [25] zastosowali sieci Kohonena do grupowania elementów maszyn technologicznie podobnych. Su i Wakelam [29] przedstawili założenia systemu hybrydowego łączącego reprezentację wiedzy w postaci reguł oraz ANN, którego celem jest integracja projektowania oraz wytwarzania. Wu, Lo i Hsu [31] przedstawili zastosowanie metody CBR w projektowaniu wyrobów. Xu i Yan [32] przedstawili problematykę wyznaczania pracochłonności projektowania z wykorzystaniem ANN. Zhu [33] przedstawił problematykę konfiguracji wyrobu z wykorzystaniem zbiorów rozmytych. ChenY.-J. [5] zastosował sieć ART1 jako narzędzie klasyfikacji elementów oraz wykorzystał metodę CBR do opracowania rankingu rozwiązań projektowanych elementów. Chen C.-H. [4] zaproponował sieci Kohonena oraz *conjoint analysis* (CA) jako narzędzia wspomagające dostosowanie wyrobu do wymagań klienta. Chou [6] przedstawił wyniki badań, w których zastosował sieci neuronowe oraz AHP do oceny konfiguracji wyrobu. Przytoczone prace proponują szereg metod wspomagających działania z zakresu TPP. Jednakże widoczny jest brak w zakresie spójnej metodyki łączącej kluczowe dane niezbędne dla rozwoju wyrobu.

### 3. Algorytm ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego

W procesie doboru wyrobu do indywidualnych potrzeb klienta może się zdarzyć, że wyrób katalogowy nie spełnia wymagań klienta wynikających np. z charakterystyki urządzeń współpracujących.

Metody sztucznej inteligencji mogą znaleźć zastosowanie m.in. we wspomaganie niektórych zadań związanych z ustalaniem danych dla wyrobu innowacyjnego.

Zadania związane z ustalaniem danych dla wyrobu innowacyjnego objęte wspomaganie systemów inteligentnych w proponowanej metodyce obejmują:

- wyszukanie wyrobu najbardziej zbliżonego do wymagań klienta,
- ocenę alternatywnych rozwiązań,
- określenie wartości liczbowych wybranych charakterystyk wyrobu innowacyjnego.

Stosowanie systemów inteligentnych do wspomaganie zadań TPP dla wyrobu innowacyjnego wymaga:

- doboru metod reprezentacji wiedzy dotyczącej TPP w zakresie sformułowania wymagań funkcjonalnych i fizycznych (specyfikacja układów i elementów technicznych) wyrobu;
- doboru metod ustalania danych dla wyrobu dostosowanego do indywidualnych wymagań klienta;
- wyszukania wyrobu najbardziej zbliżonego do wymagań klienta i wprowadzenie zmian w dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej wyrobu. A zatem konieczne jest zastosowanie metod umożliwiających ocenę możliwych alternatywnych rozwiązań.

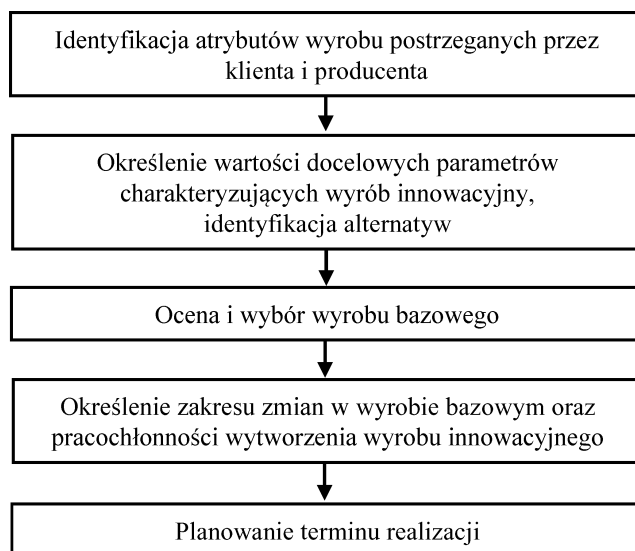
Algorytm ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego (rys. 1) [19] pozwala na ocenę wyrobów katalogowych, będących podstawą konfiguracji wyrobu innowacyjnego oraz określenie pracochłonności niezbędnej do dostosowania wyrobu, co pozwala na określenie cech wyrobu w ujęciu rozszerzonym.

Proponowany algorytm ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego opiera się m.in. na następujących założeniach:

- wyrób może zostać podzielony na obiekty konfiguracji (zespoły, podzespoły lub elementy) zaprojektowane w układzie modułowym,
- istnieją alternatywne rozwiązania dla wybranych zespołów, podzespołów elementów,
- przedsiębiorstwo ma doświadczenia w modernizacji poszczególnych podzespołów, zespołów, elementów wg określonego rodzaju wymagań klientów.

#### 3.1. Identyfikacja atrybutów wyrobu postrzeganych przez klienta i producenta

Zaspokojenie potrzeb klienta może się odbywać poprzez konfigurację wyrobów katalogowych wg indywidualnych



Rys. 1. Algorytm ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego

potrzeb klienta. Konfiguracja wyrobu uwzględniająca wszystkie aspekty wymagań klienta zarówno funkcjonalnych, jak i innych, wymaga planowania zadań TPP, które obejmuje analizę prac w zakresie projektowania wyrobu, jak i procesu produkcyjnego.

Stworzenie efektywnego procesu definiowania charakterystyk wyrobu i procesu prowadzącego do jego realizacji odpowiadającego na potrzeby końcowych wymagań użytkowych jest podstawą sukcesu rynkowego wyrobu.

Jedną z metod, która może wspomagać rozwój wyrobu jest *Quality Function Deployment* (QFD), która jest metodą modelowania, wspomagającą opracowywanie produktów o wymaganej jakości w każdej fazie rozwoju wyrobu [1]. QFD rozpoczyna się od analizy wymagań klienta, która jest zamieniana na wewnętrzne wymagania przedsiębiorstwa. Podstawowa koncepcja QFD to przełożenie wymagań klienta na wymagania projektowe, a następnie na charakterystykę części, charakterystykę procesu, charakterystykę operacji technologicznych. QFD jest również metodą analizy i poprawy systemu produkcyjnego [8].

Opracowanie macierzy QFD rozpoczyna się od określenia listy celów, która wyjaśnia, co jest rzeczywiście wymagane w celu rozwoju wyrobu. QFD odzwierciedla związek, między *co?* klient potrzebuje i *jak?* te potrzeby mogą być realizowane. Macierz QFD jest często nazywana domem jakości i jest ukierunkowana na tworzenie wartości, której miernikiem jest zadowolenie klienta. Strukturę macierzy QFD przedstawiono na rysunku 2 [30].

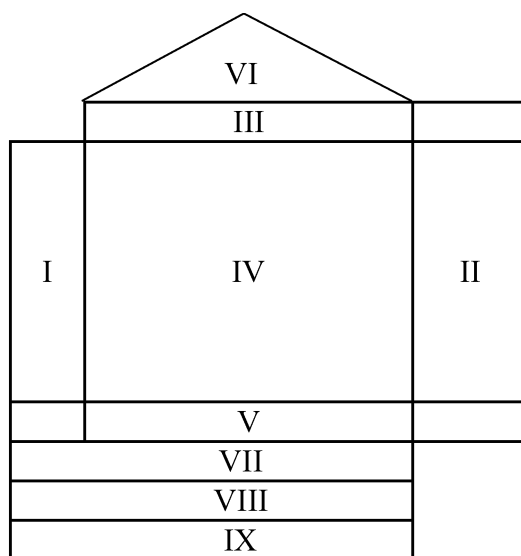
QFD wymaga [16, 28] zastosowania ciągu macierzy, w którym każda z macierzy odpowiada etapowi rozwoju wyrobu. Na rysunku 3 przedstawiono kolejne macierze, tj. macierz planowania wyrobu, planowania części, planowania procesu, planowania operacji technologicznych.

Możliwe obszary definiowania wymagań w odniesieniu do wyrobu obejmują m.in. następujące klasy właściwości wyrobu: funkcjonalne, eksploatacyjne, ergonomiczne, dystrybucyjne, estetyczne, dostaw i planowania, prawne, wytwórcze, ekonomiczne, konstrukcyjne, likwidacyjne. Powyższe kryteria mogą być uwzględnione w procedurze wyboru wyrobu, poprzez przypisanie im odpowiednich wag. Wybór może być realizowany np. poprzez ocenę punktową [24].

W działalności projektowej korzystanie z elementów wcześniej opracowanych oraz z elementów znormalizowanych obniża koszty zarówno prac projektowych, jak i procesu wytwarzania. Często małe modyfikacje już opracowanych części pozwalają na uzyskanie nowych zastosowań [21].

W literaturze [11, 15] jest proponowana modułowa struktura wyrobu wprowadzająca różne rodzaje modułów:

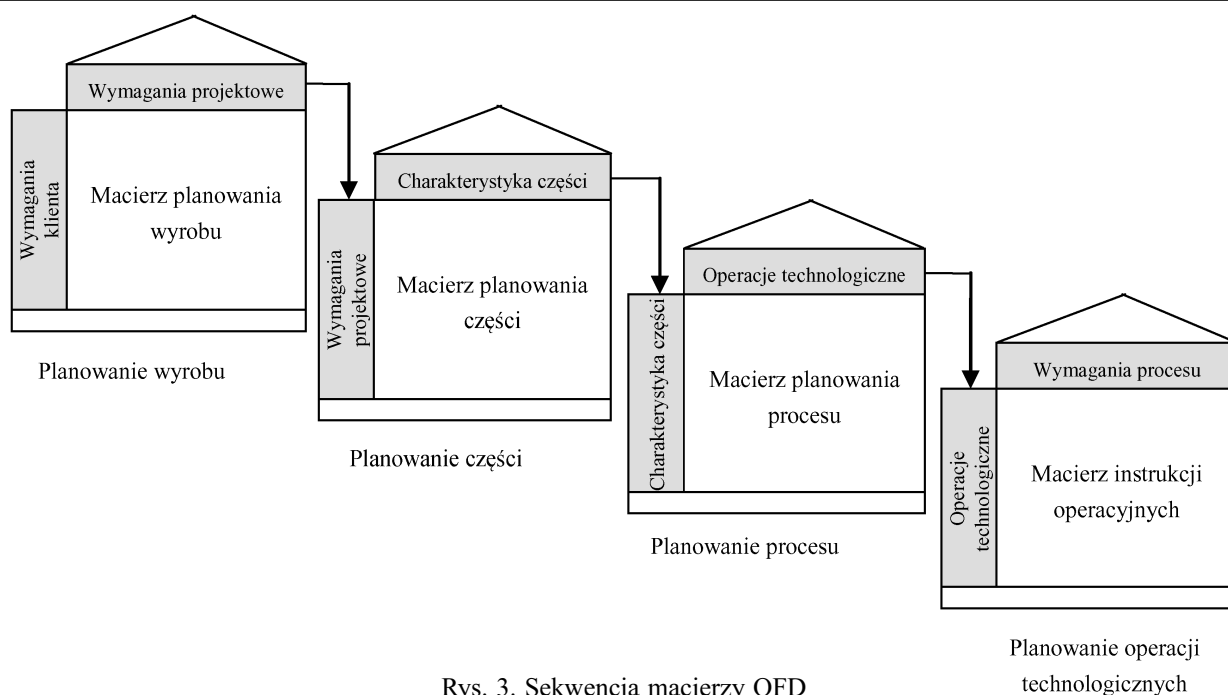
- moduły podstawowe, w których każdy moduł reprezentuje funkcje podstawowe,
- pomocnicze, w którym moduły reprezentują funkcje pomocnicze, tworząc warianty wyrobów,
- moduły innowacyjne, których funkcje umożliwiają wprowadzenie nowych rozwiązań do wyrobu,
- niemodułowe, zaprojektowane dla potrzeb spełnienia specyficznych funkcji danego wyrobu.



Gdzie:

- I* wymagania konsumenta,
- II* stopień ważności każdego z wymagań wraz z oceną porównawczą firm konkurencyjnych,
- III* cechy techniczne (projektowe, technologiczne, towaroznawcze) wyrobu,
- IV* relacje między potrzebami odbiorcy a cechami technicznymi, która jest zapisywana za pomocą ustalonej skali ocen np. 1 – korelacja słaba, 3 – korelacja średnia, 9 – korelacja silna,
- V* ocenę względną każdej z cech technicznych,
- VI* stopień korelacji między cechami technicznymi – korelacja dodatnia może zostać oznaczona „+”, korelacja ujemna może zostać oznaczona „-”,
- VII* wartości cech pożądane dla każdej cechy technicznej,
- VIII* techniczną ocenę porównawczą,
- IX* specjalne wymagania związane z bezpieczeństwem, regulacjami prawnymi i serwisem.

Rys. 2. Układ macierzy QFD



Rys. 3. Sekwencja macierzy QFD

Budowa modułowa wyrobu pozwala zróżnicować atrybuty wyrobu oraz obniżyć koszty wariantów wyrobów.

Zapewnienie niezawodności wyrobu oraz redukcja kosztów powoduje, że dostosowanie wyrobu do wymagań klienta polega na modernizacji już istniejących i sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych, dla których struktura wyrobu i procesu jest określona, natomiast zmianom podlegają wybrane obiekty konfiguracji.

Ocena możliwości dostosowania wyrobu do indywidualnych potrzeb klienta wymaga określenia zakresu prac projektowych i wytwórczych oraz uwzględnienia możliwości wykonania wybranych zadań w kooperacji.

Dynamiczny charakter procesu produkcyjnego oraz charakter wejść systemu produkcyjnego powodują trudności w opracowaniu w pełni adekwatnego modelu opisującego proces produkcyjny. Z tego powodu są opracowywane modele cząstkowe dotyczące określonych zakresów zmienności czynników wejściowych [24].

### 3.2. Określenie wartości docelowych parametrów wyrobu, identyfikacja alternatyw

Określanie wartości docelowych parametrów wyrobu polega na określeniu funkcji przekształcających atrybuty wyrobu postrzegane przez klienta w atrybuty postrzegane przez producenta. Stosowane funkcje są formułowane na podstawie wyników badań zjawisk fizycznych i ekonomicznych. Zależności te są nazywane warunkami doboru wyrobu.

### 3.3. Ocena i wybór wyrobu bazowego

Procedura oceny wyrobu ma na celu dobór wyrobu z oferowanego asortymentu wyrobów, który w największym stopniu satysfakcjonuje klienta.

Proponowana metoda bazuje na wyznaczeniu odchylenia od wartości idealnej dla każdej z analizowanych charakterystyk wyrobu, a następnie wyznaczenie oceny odpowiadającej przyjętej skali ocen w metodzie QFD odzwierciedlającej stopień spełnienia wymagań.

### 3.4. Określenie zakresu zmian w wyrobie oraz pracochłonności wytworzenia wyrobu innowacyjnego

Działania podejmowane w celu dostosowania wyrobu do wymagań klienta powinny być planowane w taki sposób, aby ryzyko podjęcia produkcji było zredukowane do minimum. Dostosowanie wyrobu polega m.in. na wprowadzeniu zmian w istniejącej dokumentacji wyrobu, przykładowo w celu umożliwienia pracy urządzenia w innym środowisku. Dostosowanie wyrobu wymaga wiedzy zarówno w zakresie projektowania konstrukcji, jak i technologii wytwarzania wyrobu.

Powszechne stało się wykorzystanie baz danych wyrobów oraz procesów technologicznych zawierających uprzednio stosowane rozwiązania. W systemach komputerowych wspomagających projektowanie procesów technologicznych powszechnie stosowana jest metoda projektowania procesu technologicznego bazująca na częściach technologicznie podobnych wykorzystująca technologię grupową. Komputerowy system wspomagający projektowanie procesu technologicznego wymaga kodowania elementów, a następnie grupowania, np. wg podobieństwa geometrycznego. Rodzinom części są przyporządkowane standardowe procesy technologiczne [27].

A zatem, w celu określenia terminu realizacji zlecenia, w ramach którego zostanie wytworzony wyrób innowacyjny, konieczna jest dekompozycja obiektów konfiguracji, w wyniku której zostanie wyodrębniony wykaz elementów wytwarzanych w przedsiębiorstwie oraz wykaz elementów handlowych.

Termin realizacji jest jednym z istotnych kryteriów decydujących o atrakcyjności oferty. Ustalenie terminu realizacji może zostać określone na podstawie pracochłonności opracowania dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej, pracochłonności operacji technologicznych wykonanych w procesie wytwarzania oraz terminu dostawy elementów handlowych.

### 3.4.1. Określanie pracochłonności procesu wytwarzania

Ścisłe określenie pracochłonności operacji technologicznych wymaga projektowania struktury procesu technologicznego, parametrów procesu oraz opracowania modelu dla operacji procesu technologicznego, który pozwoli na powiązanie cech wyrobu z pracochłonnością realizacji operacji technologicznych.

Projektowanie procesu technologicznego najczęściej jest realizowane na podstawie wiedzy dotyczącej procesów technologicznych podobnych części [27].

W projektowaniu procesu technologicznego szczególne znaczenie ma metoda wariantowa, która polega na zastosowaniu typowych procesów technologicznych opracowanych dla grupy elementów technologicznie podobnych. Projektowanie procesu technologicznego dla danego wyrobu polega na wyborze procesu spośród wcześniej opracowanych procesów technologicznych. W metodzie tej duże znaczenie odgrywa kodowanie elementów i grupowanie wg cech technologicznych lub konstrukcyjnych. Często stosowaną metodą jest grupowanie poprzez porównanie kodów elementów. Projektowanie wariantowe umożliwia opracowanie procesów technologicznych dla elementów podobnych na podstawie standardowego procesu technologicznego.

Kolejną metodą wykorzystywaną w generowaniu procesów technologicznych jest metoda generacyjna, która na podstawie opisu wytwarzanej części, bazy danych oraz reguł decyzyjnych tworzy w sposób automatyczny proces technologiczny dla nowych części.

Metoda semigeneracyjna stanowi połączenie metody wariantowej oraz generacyjnej, co pozwala na pozyskanie procesu technologicznego typowego dla zadanej części oraz jego dostosowanie zgodnie z zasadami metody generacyjnej. Dla określonej struktury procesu technologicznego, dobrych narzędzi oraz parametrów obróbkowych możliwe jest wyznaczenie pracochłonności operacji technologicznych. Pracochłonność operacji technologicznych może być określana na podstawie metod zarówno analityczno-obliczeniowych, analityczno-pomiarowych, jak i analityczno-porównawczych.

Dla potrzeb konfiguracji wyrobu stosowanie proceduralnej reprezentacji wiedzy dotyczącej wyznaczania pracochłonności operacji technologicznych procesu wytwarzania może być zbyt czasochłonne. A zatem może być uzasadnione stosowanie reprezentacji wiedzy w postaci sieci neuronowych. Porównanie reprezentacji wiedzy proceduralnej oraz sieci neuronowych przedstawiono w tabeli 1 [19].

### 3.4.2. Agregacja danych dotyczących pracochłonności

Pracochłonność operacji technologicznych jest podstawą wyznaczenia pracochłonności realizacji zlecenia, która może być określona na podstawie wzoru (1) [19]:

$$T_k = \sum_{o=1}^O (t_{pz}^{ok} + n * t_j^{ok}) \quad (1)$$

gdzie:

$t_{pz}^{ok}$  – czas przygotowawczo-zakończeniowy dla operacji  $o$ , elementu  $m_k^s$ ,

$n$  – liczba sztuk,

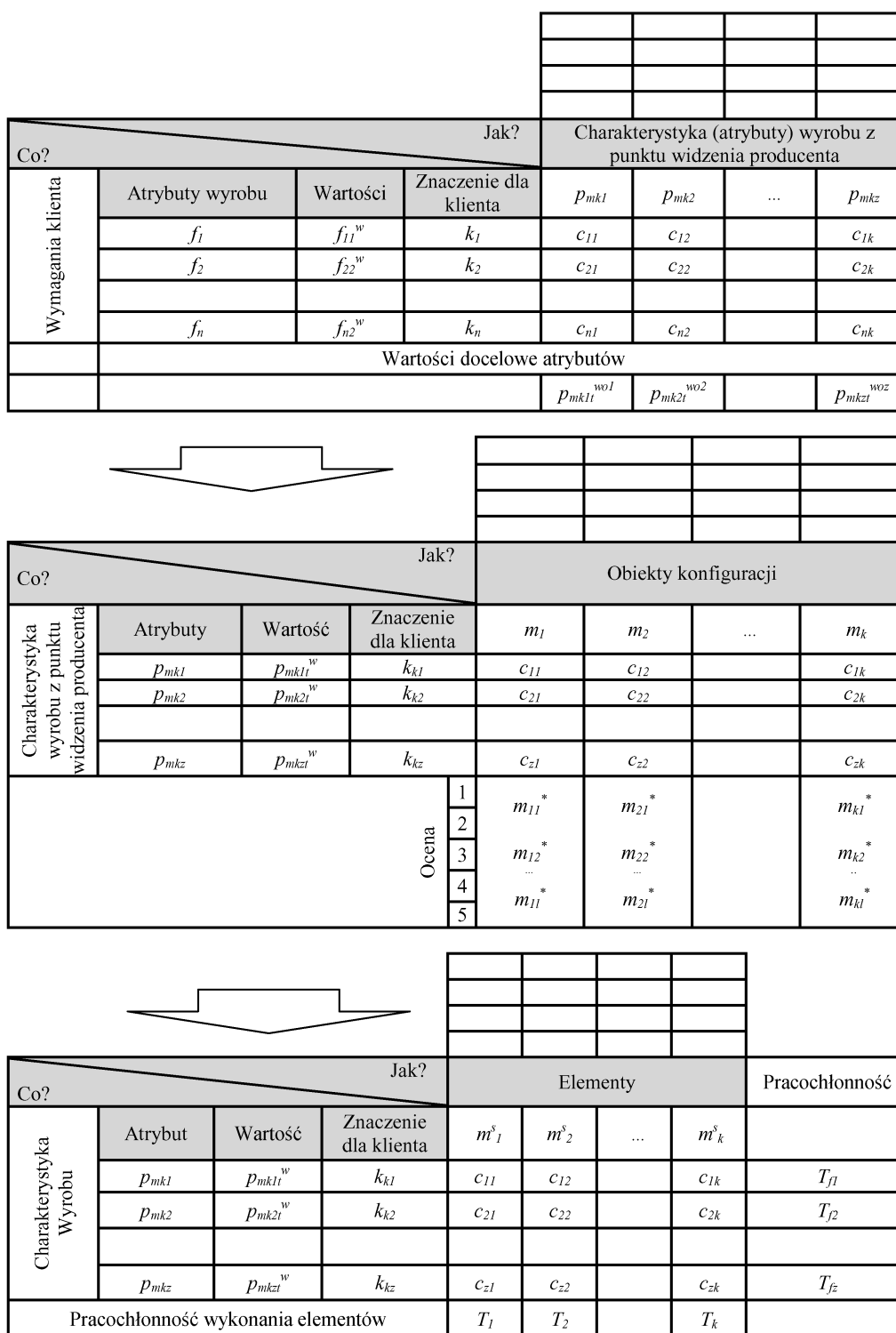
$t_j^{ok}$  – czas jednostkowy dla operacji  $o$ , elementu  $m_k^s$ .

Dostosowanie wyrobu do danego zastosowania zazwyczaj wymaga zmian konstrukcyjnych niektórych elementów. Aby ocenić wpływ wprowadzonych zmian na proces wytwarzania, powiązано pracochłonność wytworzenia elementów z funkcjami wyrobu. Zależność między charakterystyką wyrobu, jego strukturą i pracochłonnością została przedstawiona na rysunku 4 [19].

W prezentowanych zależnościach (rys. 4) każdy wyrób  $p_{mk}$  jest opisany przez zbiór atrybutów  $p_{mk} = \{p_{mk1}, p_{mk2}, \dots, p_{mkz}\}$ . Każdy atrybut  $p_{mkz}$  przyjmuje wartości ze zbioru  $P_{mkz}^w$ ,  $P_{mkz}^w = \{p_{mkz1}^w, p_{mkz2}^w, \dots, p_{mkzt}^w\}$ . Wartości docelowe atrybutów należą do zbioru  $P_{mkz}^{wo}$ ,  $P_{mkz}^{wo} = \{p_{mkz1}^{wo1}, p_{mkz2}^{wo2}, \dots, p_{mkzt}^{woz}\}$ . Wyrób  $p_{mk}$  składa się z obiektów konfiguracji (zespołów /podzespołów /elementów) ze zbioru  $M$ ,  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ . Wybrane obiekty konfiguracji  $m_k$  mogą występować w wariantach, gdzie zbiór wariantów jest oznaczony  $M_k^*$ ,  $M_k^* = \{m_{k1}^*, m_{k2}^*, \dots, m_{kl}^*\}$ . Natomiast zbiór  $M^s$  obejmuje elementy w strukturze wyrobu  $M^s = \{m_1^s, m_2^s, \dots, m_k^s\}$ .

Proceduralna reprezentacja wiedzy	Sztuczne sieci neuronowe
<p>Metody analityczno-obliczeniowe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– konieczność prowadzenia szczegółowej analizy przebiegu prac na danym stanowisku oraz wykonania pracochłonnych obliczeń,</li> </ul> <p>Metody analityczno-porównawcze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– konieczność budowy katalogów prac, wg których następuje ocena pracochłonności, niepewność uzyskanych wyników,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– łatwa charakterystyka operacji technologicznych z wykorzystaniem wektora cech,</li> <li>– możliwość wyznaczenia czasu jednostkowego dla kilku operacji technologicznych z wykorzystaniem jednej sieci neuronowej,</li> <li>– możliwość wyznaczania czasu jednostkowego oraz czasu przygotowawczo-zakończeniowego w oparciu o ten sam wektor cech,</li> <li>– konieczność zgromadzenia reprezentatywnego zbioru danych w zbiorze uczącym,</li> <li>– konieczność douczania sieci w przypadku dołączenia kolejnych przykładów do zbioru uczącego.</li> </ul>

Tab. 1. Porównanie reprezentacji wiedzy dotyczącej pracochłonności operacji technologicznych



Rys. 4. Zależność między charakterystyką wyrobu, jego strukturą i pracochłonnością

Pracochłonność realizacji zlecenia odniesiona do funkcji wyrobu może zostać wyznaczona na podstawie równania (2) [19].

$$T_{fz} = \sum_{k=1}^K \frac{T_k \cdot c_{zk}}{\sum_{k=1}^K c_{zk}} \quad (2)$$

gdzie:

$T_{fz}$  – pracochłonność realizacji zlecenia dla atrybutu  $f_z$  wyrobu,  
 $c_{zk}$  – korelacja.

A zatem, łącząc pracochłonność procesu wytwarzania z funkcjami wyrobu, otrzymujemy macierz zbudowaną zgodnie z zasadami metody QFD.

### 3.4.3. Przykład zastosowania sieci neuronowych do określania czasu jednostkowego operacji technologicznych

Jednym z działań niezbędnych do planowania terminu realizacji zlecenia jest wyznaczenie pracochłonności operacji technologicznych.

W sytuacji, gdy należy uwzględnić większą liczbę czynników wpływających na pracochłonność, tworzenie modeli z wykorzystaniem sieci neuronowych może być efektywnym rozwiązaniem w zakresie wyznaczania pracochłonności.

W przykładzie określono cechy, które determinują pracochłonność i pozwolą w przyszłości określić pracochłonność montażu przekładni zębatej, zbudowano zbiór uczący oraz dobrano architekturę sieci neuronowej poprawnie odwzorowującą pracochłonność. Do analizy wykorzystano pakiet Statistica 10.

Przeanalizowano czasy jednostkowe montażu dla przekładni ogólnego przeznaczenia. Zbiór danych zgromadzonych dla analizowanych operacji technologicznych obejmował przypadki, które zostały podzielone w sposób losowy na trzy podzbiory:

- zbiór uczący – 60%,
- zbiór walidacyjny – 20%,
- zbiór testujący – 20%.

Wektor cech wejściowych obejmował pierwotnie następujące cechy:

- typ reduktora określony liczbą stopni (ozn. TYP\_REDU, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- długość reduktora, określona w [mm] (ozn. L\_DLUGOS, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- szerokość reduktora, określona w [mm] (ozn. SZEROK, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- wielkość reduktora określona odległością osi stopnia wolnoobrotowego przekładni (ozn. WIELKOSC, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- masa reduktora określona w [kg] (ozn. MASA\_KG, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- wysokość reduktora określona w [mm] (ozn. WYSOKOSC, dane w zbiorze uczącym miały postać numeryczną),
- oznaczenie reduktora, które koduje informacje o postaci konstrukcyjnej rozwiązania (ozn. OZNACZEN w zbiorze

uczającym uwzględniono 12 typów przekładni, dane w zbiorze uczącym miały postać lingwistyczną),

- rodzaj wykonania reduktora (ozn. RODZAJ\_W w zbiorze uczącym wyodrębniono 2 typy wykonań, dane w zbiorze uczącym miały postać lingwistyczną).

Wyjściem sieci były czasy jednostkowe dla operacji montażu reduktora (ozn. TJ). W wyniku testowania, które objęło analizę dwóch typów sieci: MLP oraz RBF tworzonych z zastosowaniem neuronów o następujących funkcjach aktywacji: liniowa, tangens hiperboliczny, logistyczna, wykładnicza, najlepszą jakością uczenia uzyskano dla pięciu sieci typu MLP o 21 neuronach w warstwie wejściowej, jednym neuronie w warstwie wyjściowej oraz odpowiednio dla kolejnych sieci 6, 9, 11, 12, 4 neuronach w warstwie ukrytej.

Do doboru wag w procesie uczenia zastosowano algorytm BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno).

W celu uproszczenia modelu, aby ocenić znaczenie poszczególnych cech analizowanych w wektorze wejść przeprowadzono analizę wrażliwości, w wyniku której stwierdzono, że najistotniejszymi wielkościami decydującymi o pracochłonności montażu są rodzaj przyjętego rozwiązania konstrukcyjnego reduktora, wielkość reduktora oraz masa. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 2 [19].

W wyniku redukcji cech został przyjęty następujący wektor cech, jako dane wejściowe do budowy modelu:

- masa,
- wielkość reduktora,
- rodzaj postaci konstrukcyjnej reduktora.

Jako model odwzorowujący czas jednostkowy procesu montażu dla zredukowanej liczby cech charakteryzujących montowane wyroby wybrano perceptron wielowarstwowy MLP 14-8-1, którego charakterystykę przedstawiono w tabelach 3-4 [19].

Przedstawiona metoda może znaleźć zastosowanie dla grupy elementów technologicznie podobnych, dla których

Nr	Sieć	OZNACZEN	WIELKOSC	MASA_KG	WYSOKOSC	RODZAJ_W	SZEROK	L_DLUGOS	TYP_REDU
1.	MLP 21-8-1	5,04	12,75	2,63	11,92	1,49	6,76	2,75	1,08
2.	MLP 21-11-1	5,25	8,70	3,95	9,62	1,98	5,70	1,62	1,01
3.	MLP 21-4-1	18,08	2,68	1,77	1,34	7,45	2,16	1,24	1,11
4.	MLP 21-10-1	69,46	33,57	45,66	27,21	23,65	1,05	3,39	1,18
5.	MLP 21-4-1	13,53	2,27	1,10	1,21	5,73	1,97	1,18	1,16
	Średnia	22,27	12,00	11,02	10,26	8,06	3,53	2,04	1,11

Tab. 3. Wyniki uczenia uzyskane dla sieci MLP 14-8-1

Nazwa sieci	Jakość (uczenie)	Jakość (testowanie)	Jakość (walidacja)	Błąd (uczenie)	Błąd (testowanie)	Błąd (walidacja)
MLP 14-8-1	0,979021	0,985986	0,960544	1,289274	0,689860	5,037689

Tab. 2. Wyniki analizy wrażliwości

Algorytm uczenia	Funkcja błędu	Aktywacja (neurony ukryte)	Aktywacja (neurony wyjściowe)
BFGS 5	SOS	Wykładnicza	Wykładnicza

Tab. 4. Charakterystyka procesu uczenia sieci MLP 14-8-1

stosowany jest ten sam ramowy proces technologiczny. Praktyczne wykorzystanie metody jest możliwe wówczas, jeżeli cechy stanowiące wektor wejść sieci neuronowej będą łatwe do określenia dla wyrobu innowacyjnego oraz będą rejestrowane w systemie informatycznym przedsiębiorstwa.

Zastosowanie sieci neuronowych do predykcji czasu wykonania operacji powinno być ograniczone do zakresu zmienności zmiennych wejściowych użytych w procesie uczenia sieci neuronowej.

### 3.5. Planowanie terminu realizacji

Tworząc charakterystykę oferowanego wyrobu konieczne jest określenie m.in. terminu realizacji. Konfiguracja wyrobu jest prowadzona na etapie odpowiedzi na zapytanie ofertowe bez możliwości odniesienia się do obciążenia zasobów przedsiębiorstwa. Przygotowywana oferta, która obowiązuje zazwyczaj kilka lub kilkanaście miesięcy obejmuje termin wykonania wyrobu będącego przedmiotem konfiguracji wyrażony w tygodniach lub dniach roboczych.

A zatem analizie podlega problem:

- określenia działań, które powinny być wykonane w celu realizacji przedsięwzięcia,
- określenia możliwości prowadzenia wybranych działań w sposób równoległy,
- określenia czynników ryzyka, które mogą wpłynąć na przebieg projektu,
- wyboru metody planowania.

Identyfikacja działań, które są podejmowane w ramach konfiguracji wyrobu innowacyjnego powinny wynikać

z dotychczasowych doświadczeń przedsiębiorstwa. Procedura wyznaczenia terminu realizacji została przedstawiona na rysunku 5 [19].

### 4. Podsumowanie

Analiza związków między potrzebami klienta, wymaganiami funkcjonalnymi, konstrukcją wyrobu oraz planowaniem procesu wytwarzania jest konieczna w celu dostosowania wyrobu do nowych zastosowań, która zapewni satysfakcję klienta oraz ograniczy ryzyko realizacji zlecenia.

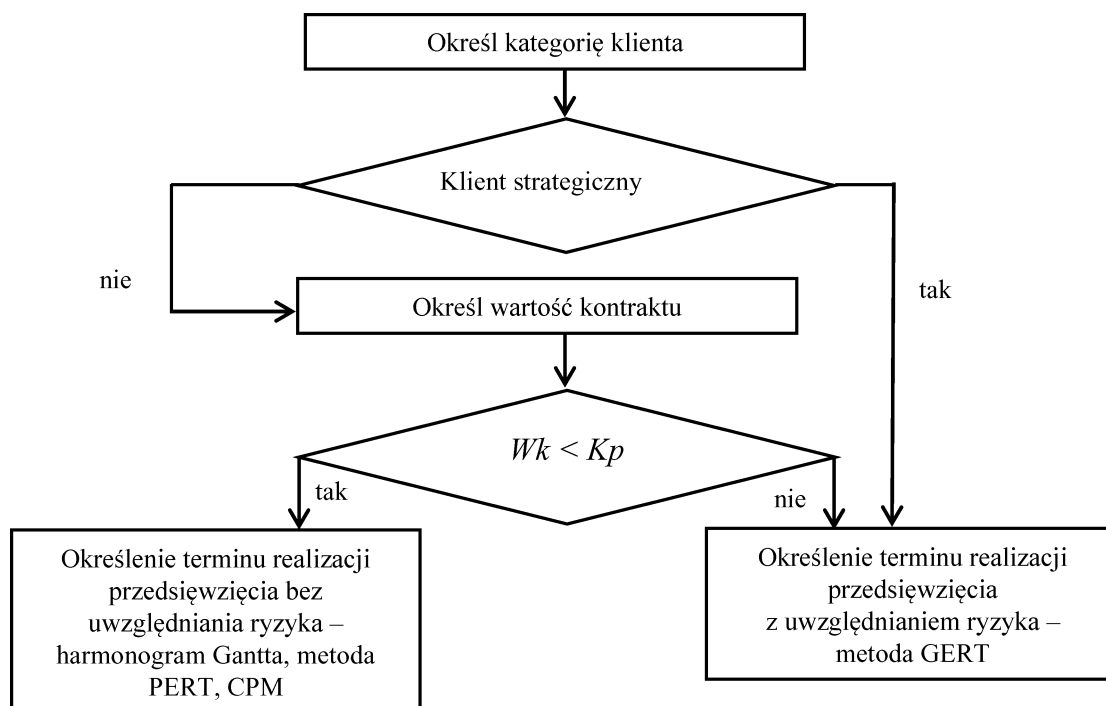
Dotychczasowe prace pokazują możliwości zastosowania wybranych metod oraz technik do wspomagania zadań, których celem jest przygotowanie oferty wyrobu innowacyjnego.

Opracowanie modelu łączącego cechy wyrobu z charakterystyką procesu produkcyjnego pozwoli na podejmowanie decyzji dotyczących oferowanych atrybutów wyrobu z uwzględnieniem procesu produkcyjnego.

Przedstawiony algorytm ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego pozwala na planowanie wyrobu w oparciu o wymagania klienta w powiązaniu z danymi wynikającymi z charakterystyki procesu produkcyjnego.

Charakterystyka własności funkcjonalnych i fizycznych wyrobu powinna być odniesiona do każdego obiektu konfiguracji i może być wspomagana metodą QFD.

Proces podejmowania decyzji dotyczących ustalania danych dla wyrobu innowacyjnego mający na celu zapewnienie zgodności właściwości funkcjonalnych i fizycznych wyrobu oferowanego z wymaganiami klienta może być wspomagany sztucznymi sieciami neuronowymi.



gdzie:

$Wk$  – wartość kontraktu,

$Kp$  – ustalona kwota progowa zależna od strategii przedsiębiorstwa

Rys. 5. Algorytm wyboru metody planowania



Przykład zastosowania sztucznych sieci neuronowych do wyznaczania pracochłonności pokazuje praktyczne możliwości związane z zastosowaniem proponowanej metodyki.

#### Literatura:

- [1] Bahrami A., Dagli C., *Design science. Intelligent Systems in design and manufacturing*. Edited by C. Dagli and Kusiak A., Asme Press, New York 1994.
- [2] Baxter D., Gao J., Case K., Harding J., Young B., *A framework to integrate design knowledge reuse and requirements management in engineering design*. "Robotics and Computer-Integrated Manufacturing", 24(2008), 585-593.
- [3] Buttle F., *Customer Relationship Management*. Elsevier Butterworth Heinemann. Amsterdam 2010.
- [4] Chen C.-H., Khoo L.P., Yan W., *PDCS – A product definition and customisation system for product concept development*. "Expert Systems with Applications", 28(2005), 591-602.
- [5] Chen Y.-J., Chen Y.-M., Wang C.-B., Chu H.-C., Tsai T.-N., *Developing a multi-layer reference design retrieval technology for knowledge management in engineering design*. "Expert Systems with Applications", 29(2005), 839-866.
- [6] Chou Y., *Applying neural networks in quality function deployment process for conceptual design*. "Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers", 21/6 (2004), 587-596.
- [7] Durlik I., *Inżynieria zarządzania*. Placet. Gdańsk 1996.
- [8] Hernandez-Matias J.C., Vizan A., Hidalgo A., Rios J., *Evaluation of techniques for manufacturing process analysis*. "Journal of Intelligent Manufacturing", 17(2006), 571-583.
- [9] Hong G., Xue D., Tu Y., *Rapid identification of the optimal product configuration and its parameters based on customer-centric product modeling for one-of-a-kind production*. "Computers in Industry", 61(2010)3, 270-279.
- [10] Hsu W., Woon I., *Current research in the conceptual design of mechanical products*. "Computer-Aided Design", 30(1998)5, 377-389.
- [11] Huang C.-C., Kusiak A., *Modularity in design of products and systems*. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part-A: Systems and Humans, 28(1998)1, 66-77.
- [12] Indrianti N., Toha I.S., *A model of product manufacturing lead-time in a non repetitive make-to-order manufacturing system*, "Jurnal Teknik Gelagar", 17(2006)2, 115-124.
- [13] Jagielski J., *Praktyczne aspekty eksploracyjnej analizy danych*. Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe. EXIT. Warszawa 2009.
- [14] Jinsong Z., Qifu W., Li W., Yifang Z., *Configuration-oriented product modelling and knowledge management for made-to-order manufacturing enterprises*. "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", 25(2005), 41-52.
- [15] Jose A., Tollenaere M., *Modular and platform methods for product family design: literature analysis*. "Journal of Intelligent Manufacturing", 16(2005), 371-390.
- [16] Karsak E.E., Sozer S., Alptekin S.E., *Product planning in quality function deployment using a combined analytic network process and goal programming approach*. "Computers & Industrial Engineering", 44(2003), 171-190.
- [17] Knosala R., *Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*. WNT. Warszawa 2002.
- [18] Kusiak A., Smith M., *Data mining in design of products and production systems*. "Annual Reviews in Control", 31(2007), 147-156.
- [19] Kutschenreiter-Praszkiewicz I., *Systemy bazujące na wiedzy w technicznym przygotowaniu produkcji części maszyn*. Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, Bielsko-Biała 2012.
- [20] Łada M., Kozarkiewicz A., *Zarządzanie wartością projektów*. Wydawnictwo C.H. Beck. Warszawa 2010.
- [21] Muhlemann A., Oakland J., Lockyer K., *Production and operations management*. Pitman Publishing. London 1992.
- [22] Myung S., Han S., *Knowledge-based parametric design of mechanical products based on configuration design method*. "Expert System with Applications", 21(2001), 99-107.
- [23] Ociecek W., Żelichowska M., *Popytowe podejście do innowacji jako nowa koncepcja procesu innowacyjnego w przedsiębiorstwie*. [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, red. R. Knosala. Oficyna Wydawnicza PTZP, Opole 2014.
- [24] Pająk E., *Zarządzanie produkcją*. PWN. Warszawa 2006.
- [25] Piłot T., Knosala R., *The application of neural network in group technology*. "Journal of Materials Processing Technology", 78(1998), 150-155.
- [26] Rao S., Nahm A., Shi Z., Deng X., Syamil A., *Artificial intelligence and expert systems applications in new product development – a survey*. "Journal of Intelligent Manufacturing", 10(1999), 231-244.
- [27] Rojek-Mikołajczyk I., *Metodyka projektowania inteligentnej bazy danych do wspomaganie planowania procesów technologicznych*. Rozprawa doktorska. Poznań 2000.
- [28] Sener Z., Karsak E., *A decision model for setting target levels in quality function deployment using nonlinear programming-based fuzzy regression and optimization*. "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", 2009.
- [29] Su D., Wakelam M., *Intelligent hybrid system for integration design and manufacture*. "Journal of Materials Processing Technology", 76(1998), 23-28.
- [30] Wawak S., *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*. Helion. Gliwice 2006.
- [31] Wu M., Lo Y., Hsu S., *A case-based reasoning approach to generating new product ideas*. "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", 30(2006), 166-173.

- [32] Xu D., Yan H.-S., *An intelligent estimation method for product design time*. "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", 30(2 006), 601-613.
- [33] Zhai L.Y., Khoo L.P., Zhong Z.W., *Towards a QFD-based expert system: a novel extension to fuzzy QFD methodology using rough set theory*. "Expert Systems with Applications", 37(2010), 8888-8896.
- [34] Zhu B., Wang Z., Yang H., Mo R., Zhao Y., *Applying fuzzy multiple attributes decision making for product configuration*. "Journal of Intelligent Manufacturing", 19(2008), 591-598.
- [35] Zieliński J., *Inteligentne systemy w zarządzaniu. Teoria i praktyka*. PWN. Warszawa 2000.
- [36] Żelichowska M., *Wybrane instrumenty i standardy zarządzania jakością wspierające proces rozwoju innowacji produktowych*, [w:] *Przedsiębiorstwo przemysłowe wobec wyzwań XXI wieku*, red. J. Staszewska. Wydawnictwo Unikat 2, Kraków-Warszawa 2013.

## TECHNICAL PRODUCTION PREPARATION OF INNOVATIVE PRODUCT CHOSEN ISSUES

### Key words:

innovative product, planning, QFD, neural network

### Abstract:

The paper presents innovative product planning issues with the use of QFD method and artificial neural network. Among many methods of data analysis focused on innovative product planning especially important are those one which take into consideration product engineering characteristic and time consumption and cost related to production process of product characterised by given attributes.

The paper presents algorithm of innovative product data analysis, which helps identified product attributes notice by customer and producer, setting values of innovative product target attributes, alternatives identification, evaluation of standard product, determination product changes and time consumption of innovative product production process and appointed time of production process establishing.

### Dr hab. inż.

**Izabela KUTSHENREITER-PRASZKIEWICZ,**

### prof. ATH

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Katedra Inżynierii Produkcji

ipraszkievicz@ath.bielsko.pl