

# Planowanie procesu produkcyjnego wyrobu innowacyjnego

Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Inżynierii Produkcji, 43309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problematykę planowania procesu produkcyjnego wyrobu innowacyjnego a w szczególności została przeprowadzona analiza zadań technicznego przygotowania produkcji TPP ukierunkowanych na automatyzację wybranych zadań planowania wyrobu innowacyjnego. Zwrócono uwagę na modułowość wyrobu, jako sposób na spełnienie indywidualnych wymagań klienta przy ponoszeniu niewielkich kosztów. Istnieje wiele sposobów udoskonalania istniejących rozwiązań prowadzących do satysfakcji klienta – literatura podaje między innymi metodę TRIZ, QFD. W artykule poddano analizie problematykę identyfikacji potrzeb klienta. Przedstawiono zagadnienia dekompozycji wyrobu. Zastosowanie koncepcji wyrobów modułowych wymaga opracowania modeli, które w uniwersalny sposób przedstawią strukturę wyrobu wraz z możliwymi alternatywami. W artykule przedstawiono model atrybutowy wyrobu. Zaproponowano zastosowanie metody QFD do identyfikacji wymagań klienta oraz określenia korelacji między wymaganiami klienta a cechami technicznymi wyrobu oraz korelacji między kolejnymi atrybutami generowanymi w ramach etapów TPP. Przedstawiono możliwość zastosowania sztucznych sieci neuronowych, jako metody generowania danych niezbędnych dla potrzeb planowania TPP wyrobu innowacyjnego. Zaproponowano regułową metodę oceny podobieństwa wyrobów.

**Słowa kluczowe:** techniczne przygotowanie produkcji, ocena wariantów, QFD

## 1. Wprowadzenie

Pośród 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.

Modularyzacja w budowie maszyn jest jednym z rozwiązań, które przy niewielkich kosztach pozwala na dostosowanie wyrobów do indywidualnych wymagań klienta. Zróżnicowanie preferencji klientów wymusza wprowadzanie nowych konstrukcji mających na celu minimalizację kosztów przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości [5].

Zaspokojenie potrzeb klienta może się odbywać przez wprowadzanie nowych rozwiązań do procesu produkcyjnego, czyli innowacji. Jak wykazują badania Urbaniaka [15], do głównych

celów wprowadzania innowacji produktowych na rynku polskim należą:

- zwiększenie sprzedaży,
- obniżenie kosztów wytwarzania,
- poszerzenie portfela produktowego,
- doskonalenie jakości wyrobów oraz technologii wytwarzania,
- poprawa bezpieczeństwa produktów dla użytkowników i środowiska. [13].

W celu zapewnienia niezawodności wprowadzanych rozwiązań najczęściej stosowane są zmiany w już istniejących produktach lub procesach. Przykładową ewolucję wyrobu przedstawiono w [4]. Rozwój wyrobu może być analizowany, jako sekwencja kolejnych etapów, w ramach, których są realizowane działania. Proponowane są m.in. takie metody jak TRIZ czy QFD, które umożliwiają opracowanie najlepszego produktu przy zachowaniu jak najmniejszych kosztów [1, 16, 12]. Quality Function Deployment (QFD) pozwala na uwzględnienie wymagań klienta we wdrażaniu innowacji produktowych. Ocena zasadności wprowadzania zmian w produktach wymaga m.in. oszacowania nakładu prac realizowanych w zakresie rozwoju konstrukcji wyrobu jak i procesu wytwarzania.

Jedną z możliwości wdrożenia produktu innowacyjnego, dla którego ryzyko wystąpienia wad będzie ograniczone, jest wprowadzanie innowacji bazując na wyrobie, dla którego przedsiębiorstwo ma wystarczające doświadczenia produkcyjne. A zatem konieczne jest opracowanie metody identyfikacji rozwiązań

### Autor korespondujący:

Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz, ipraszkiewicz@ath.bielsko.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 18.11.2014 r., przyjęty do druku 8.01.2015 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

wzorcowych oraz oceny podobieństwa między wyrobem wzorcowym a wyrobem oczekiwanym przez klienta.

## 2. Metodyka planowania wyrobu innowacyjnego

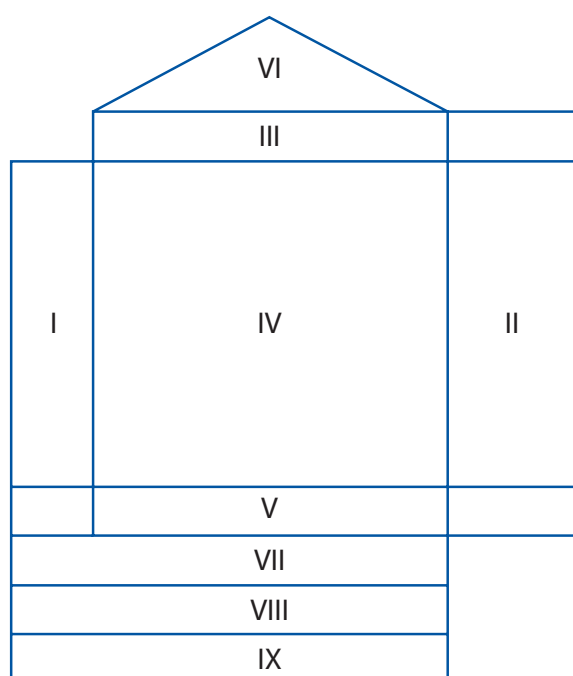
Proponowana metodyka planowania wyrobu innowacyjnego obejmuje następujące etapy:

- identyfikacja cech wyrobu innowacyjnego postrzeganych przez klienta,
- identyfikacja cech technicznych wyrobu,
- określenie wartości docelowych cech wyrobu innowacyjnego,
- wybór rozwiązania wzorcowego – wybór rozwiązania najbardziej zbliżonego do wyrobu charakteryzującego się wartościami docelowymi,
- ocena wariantów obiektów konfiguracji,
- oszacowanie danych dotyczących wyrobu innowacyjnego – określenie zasobów niezbędnych w celu wytworzenia wyrobu innowacyjnego,
- alokacja zasobów w czasie.

**Identyfikacja cech wyrobu innowacyjnego postrzeganych przez klienta** może być realizowana z wykorzystaniem metody QFD. Metoda ta została rozwinięta w Japonii w okresie intensywnego rozwoju przemysłu samochodowego i jest ciągle doskonalona. Badania nad rozwojem metody obejmują takie zagadnienia jak: metody identyfikacji wymagań jakościowych i analiza związku z narzędziami marketingu, rozwój technologii, niezawodności, oprogramowania itd. [1]. QFD jest stosowana najczęściej w przemyśle motoryzacyjnym, elektronicznym oraz lotnictwie. Przedsiębiorstwa wskazują wiele powodów, dla których stosują metodę QFD, najczęściej wymieniane to lepsze projekty i większe zadowolenie klientów. QFD jest również charakteryzowana, jako metoda poprawiająca komunikację, koordynację oraz skracająca cykl rozwoju wyrobu.

Wg Wawaka [16] na macierz QFD składa się dziewięć elementów (rys. 1), które obejmują:

- I wymagania klienta,
- II stopień ważności każdego z wymagań wraz z oceną porównawczą firm konkurencyjnych,



Rys. 1. Budowa macierzy QFD  
Fig. 1. QFD matrix structure

- 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.

Opracowanie macierzy QFD obejmuje następujące fazy [8]:

- zdefiniowanie potrzeb klienta,
- identyfikacja cech charakterystycznych wyrobu,
- analiza relacji między potrzebami klienta a cechami wyrobu, relacje mogą być oceniane jako: słabe, silne, bardzo silne,
- uwzględnienie priorytetów klientów,
- włączenie oceny konkurencji,
- określenie determinantów sprzedaży nowego wyrobu,
- rozwijanie kluczowych wartości dla charakterystyki kontrolnej,
- wyselekcjonowanie charakterystyk kontrolnych,
- rozwinięcie procesu QFD na poziom zespołów/podzespołów/elementów w zakresie oczekiwań jak i cech charakterystycznych,
- rozszerzenie rozwiniętego wykresu zespołów z uwzględnieniem kontroli krytycznych cech charakterystycznych podzespołów,
- rozwój relacji między krytycznymi cechami charakterystycznymi a procesami wykorzystywanymi do stworzenia tych cech,
- rozwój planu kontrolnego odnoszącego krytyczne kontrole do krytycznych procesów,
- przygotowanie instrukcji operacyjnych.

Elementy macierzy QFD obejmują charakterystykę kluczowych wymagań klienta w powiązaniu z podstawowymi charakterystykami wyrobu.

Określenie wymagań klienta dla wyrobu przemysłowego, będącego maszyną, urządzeniem lub jego elementem wymaga scharakteryzowania:

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

Macierz planowania wyrobu jest szczególnie przydatna ze względu na możliwość odniesienia potrzeb klientów do cech wyrobu [8] i obejmuje informacje dotyczące:

- znaczenia określonej potrzeby dla klienta,
- określenia najbardziej zbliżonego do oczekiwań wyrobu znajdującego się na rynku,
- zakresu, w jakim najbardziej zbliżone do projektowanego wyrobu wyroby konkurencji zaspokoją potrzeby klienta,
- cech charakterystycznych wyrobu, które będą determinantami sprzedaży.

Charakterystyka wymagań klienta dotycząca wyrobu będącego częścią maszyny może obejmować zarówno wymagania funkcjonalne wyrobu, charakterystykę środowiska pracy oraz wymagania handlowe.

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.

QFD jest metodą modelowania wspomagającą opracowywanie projektów o wymaganej jakości w każdej fazie rozwoju wyrobu [2]. QFD rozpoczyna się od analizy wymagań klienta, która jest zamieniana na wewnętrzne wymagania przedsiębiorstwa.

Co?				Jak?			
				Charakterystyka (atributy) wyrobu z punktu widzenia producenta			
Wymagania klienta	Atrybuty wyrobu	Wartości	Znaczenie dla klienta	$p_{mk1}$	$p_{mk2}$	...	$p_{mkz}$
	$f_1$	$f_{11}^w$	$k_1$	$c_{11}$	$c_{12}$		$c_{1k}$
	$f_2$	$f_{21}^w$	$k_2$	$c_{21}$	$c_{22}$		$c_{2k}$
	$f_n$	$f_{n1}^w$	$k_n$	$c_{n1}$	$c_{n2}$		$c_{nk}$
Wartości docelowe atrybutów							
				$p_{mk1t}^{wo1}$	$p_{mk2t}^{wo2}$		$p_{mkzt}^{woz}$

Rys. 2. Macierz QFD – model atrybutowy wyrobu  
Fig. 2. QFD matrix – attribute product model

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 [6]. QFD wymaga [14, 9] zastosowania ciągu macierzy, w którym każda z macierzy odpowiada etapowi rozwoju wyrobu tj. macierz planowania wyrobu, planowania części, planowania procesu, planowania operacji. Charakterystyka wyrobu na poszczególnych etapach rozwoju może być opisana z zastosowaniem modelu atrybutowego.

**Identyfikacja cech technicznych wyrobu** może być prowadzona z wykorzystaniem modelu atrybutowego wyrobu. W opracowanym modelu atrybutowym wyrobu zastosowano pojęcie atrybutu rozumianego, jako cecha wyrobu, jego podzespołu, zespołu, elementu, procesu, operacji technologicznej, itd., która charakteryzuje wyrób pod względem wybranego kryterium np. kryterium funkcjonalnego. Elementy, zespoły lub podzespoły mogą być pogrupowane w obiekty konfiguracji nazywane również w literaturze modułami [7, 3], które mogą tworzyć wyrób wg indywidualnych potrzeb klienta.

W modelu atrybutowym wyrobu [10] atrybuty wyrobu decydujące o atrakcyjności wyrobu dla klienta  $f_1, f_2, \dots, f_n$  mogą być scharakteryzowane przez zbiór  $F$ .

$$F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \tag{1}$$

Zbiór wartości przyjmowanych przez poszczególne atrybuty ze zbioru  $F$  został oznaczony  $F_n^w$ .

$$F_n^w = \{f_{n1}^w, f_{n2}^w, \dots, f_{nl}^w\} \tag{2}$$

Dany jest zbiór typów (typoszeregów) wyrobów  $P^t$  w bazie danych przedsiębiorstwa  $P^t = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ , gdzie każdy typoszereg  $p_m$  składa się z wyrobów  $p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{mk}$ , a zatem zbiór wyrobów o określonej strukturze z danego typoszeregu  $P_m$  ma postać:

$$P_m = \{p_{m1}, p_{m2}, \dots, p_{mk}\} \tag{3}$$

Każdy wyrób  $p_{mk}$  jest opisany przez zbiór atrybutów:

$$p_{mk} = \{p_{mk1}, p_{mk2}, \dots, p_{mkz}\} \tag{4}$$

Każdy atrybut  $p_{mkz}$  przyjmuje wartości ze zbioru  $P_{mkz}^w$ .

$$P_{mkz}^w = \{p_{mkz1}^w, p_{mkz2}^w, \dots, p_{mkzt}^w\} \tag{5}$$

Wyrób  $p_{mk}$  składa się z obiektów konfiguracji (modułów) ze zbioru  $M$ .

$$M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\} \tag{6}$$

Każdy obiekt konfiguracji  $m_k$  jest opisany za pomocą atrybutów ze zbioru  $M_k$ .

$$M_k = \{m_{k1}, m_{k2}, \dots, m_{kv}\} \tag{7}$$

Wartości atrybutów należą do zbioru  $M_{kv}^w$ .

$$M_{kv}^w = \{m_{kv1}^w, m_{kv2}^w, \dots, m_{kvg}^w\} \tag{8}$$

Wybrane obiekty konfiguracji  $m_k$  mogą występować w wariantach, gdzie zbiór wariantów jest oznaczony  $M_k^*$ .

$$M_k^* = \{m_{k1}^*, m_{k2}^*, \dots, m_{kr}^*\} \tag{9}$$

Powyższa notacja charakteryzująca atrybuty wyrobu umożliwia realizację zamówień wg koncepcji make to order (MTO).

**Określenie wartości docelowych cech wyrobu innowacyjnego.** Wartości docelowe charakterystyki technicznej wyrobu innowacyjnego mogą zostać określone zgodnie z warunkami doboru danego urządzenia.

W macierzy QFD (rys. 2) wartości docelowe charakterystyk technicznych wyrobu zostały oznaczone jako zbiór  $P_{mkt}^{wo}$ , którego wartości podano w dolnym wierszu macierzy.

$$P_{mkt}^{wo} = \{p_{mkt1}^{wo1}, p_{mkt2}^{wo2}, \dots, p_{mktz}^{woz}\} \tag{10}$$

**Wybór rozwiązania wzorcowego** – wybór rozwiązania najbardziej zbliżonego do wyrobu charakteryzującego się wartościami docelowymi.

Śród zbioru możliwych rozwiązań będących dotychczasową ofertą przedsiębiorstwa wybierany jest podzbiór rozwiązań, które potencjalnie mogą się stać rozwiązaniem wzorcowym. Wybór rozwiązań może być prowadzony zgodnie z regułą (11).

Jeżeli

$$\begin{aligned} & p_{mkt1}^{wo1} - x_1 \leq p_{mkt1} \leq p_{mkt1}^{wo1} + x_1 \\ & \text{ i } p_{mkt2}^{wo2} - x_2 \leq p_{mkt2} \leq p_{mkt2}^{wo2} + x_2 \text{ i } \dots \\ & \dots \text{ i } p_{mktz}^{woz} - x_z \leq p_{mktz} \leq p_{mktz}^{woz} + x_z \text{ to } m_k = m_{kr}^* \end{aligned} \tag{11}$$

gdzie:  $x_z$  – dopuszczalny zakres zmienności cechy  $z$ .

Zastosowanie reguły (11) jest możliwe po uprzednim dokonaniu podziału wyrobu na obiekty konfiguracji – moduły, które tworzą wyrób oferowany klientowi (rys. 3).

Charakterystykę obiektów konfiguracji przedstawiono w tab. 1 [10].

**Ocena wariantów obiektów konfiguracji.** Proponowana metoda bazuje na wyznaczeniu odchylenia od wartości idealnej dla każdej z analizowanych charakterystyk zgodnie ze wzorem (12).

$$w_{kzt} = \frac{|p_{mkzt}^{woz} - p_{mkzt}^w|}{p_{mkzt}^{woz}} \cdot 100 \tag{12}$$

gdzie:  $w_{kzt}$  – wskaźnik odchylenia od rozwiązania idealnego dla obiektu konfiguracji  $k$ , atrybutu  $z$ , wariantu  $t$ ,  $p_{mkzt}^{woz}$  – wymagana wartość atrybutu wyrobu,  $p_{mkzt}^w$  – oferowana wartość atrybutu wyrobu przez wariant  $t$ .

Tabela 1. Warianty obiektów konfiguracji  
Table 1. Configuration items variants

Obiekty konfiguracji	Alternatywy	Atrybuty			
		$p_{mk1}$	$p_{mk2}$	...	$p_{mkz}$
$m_1$	$m_{11}^*$	$p_{m111}^w$	$p_{m121}^w$	...	$p_{mkz1}^w$
	$m_{12}^*$	$p_{m112}^w$	$p_{m122}^w$	...	$p_{mkz2}^w$
	...	...	...	...	...
	$m_{1r}^*$	$p_{m11r}^w$	$p_{m12r}^w$	...	$p_{mkzr}^w$
$m_2$	$m_{21}^*$	$p_{m211}^w$	$p_{m221}^w$	...	$p_{mkz1}^w$
	$m_{22}^*$	$p_{m212}^w$	$p_{m222}^w$	...	$p_{mkz2}^w$
	...	...	...	...	...
	$m_{2r}^*$	$p_{m21r}^w$	$p_{m22r}^w$	...	$p_{mkzr}^w$
...	...	...	...	...	...
$m_k$	$m_{k1}^*$	$p_{mk11}^w$	$p_{mk21}^w$	...	$p_{mkz1}^w$
	$m_{k2}^*$	$p_{mk12}^w$	$p_{mk22}^w$	...	$p_{mkz2}^w$
	...	...	...	...	...
	$m_{kr}^*$	$p_{mk1r}^w$	$p_{mk2r}^w$	...	$p_{mkzr}^w$

Tabela 2. Reguły przydziału ocen  
Table 2. Assessment rules

Jeżeli	$w_{kzt} \leq o_{1z}$	to	$s_{kzt}=5$
	$o_{1z} < w_{kzt} \leq o_{2z}$		$s_{kzt}=4$
	$o_{2z} < w_{kzt} \leq o_{3z}$		$s_{kzt}=3$
	$o_{3z} < w_{kzt} \leq o_{4z}$		$s_{kzt}=2$
	$o_{4z} < w_{kzt}$		$s_{kzt}=1$

Ocena wariantów obiektów konfiguracji  $m_k$  może być prowadzona przez wyznaczenie wskaźnika  $w_{kzt}$  a następnie wyznaczenie oceny  $s_{kt}$  odpowiadającej przyjętej skali ocen w metodzie QFD odzwierciedlającej stopień spełnienia wymagań.

Charakteryzując warianty obiektów konfiguracji, wartościami atrybutów konieczne jest przyjęcie reguł, wg których będą przydzielane oceny wariantów. Dla każdego ocenianego atrybutu skala ocen jest taka sama, dzięki czemu został zredukowany wpływ użytych jednostek oraz przyjętego zakresu ocenianych wartości.

Ocena atrybutów może być przydzielana wg reguł przedstawionych w tab. 2, gdzie  $o_{1z}, o_{2z}, \dots$  oznaczają odpowiednio maksymalne dopuszczalne odchylenia od wartości idealnej określone przez eksperta dla skali ocen przyjętej w metodzie QFD. Maksymalne dopuszczalne odchylenia są ustalane przez ekspertów odrębnie dla każdej ocenianej cechy.

Przedstawione reguły pozwalają na ocenę każdego z rozpatrywanych atrybutów odrębnie. Ocena łączna może być wyznaczona na podstawie zależności (13), jako średnia ważona ocen atrybutów.

$$s_{kt} = \frac{\sum_z s_{kzt} \cdot k_z}{\sum_z k_z} \tag{13}$$

Co?		Jak?		Charakterystyka (atrybuty) wyrobu z punktu widzenia producenta			
Wymagania klienta	Atrybuty wyrobu	Wartości	Znaczenie dla klienta	$p_{mk1}$	$p_{mk2}$	...	$p_{mkz}$
	$f_1$	$f_{11}^w$	$k_1$	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1k}$
	$f_2$	$f_{22}^w$	$k_2$	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2k}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$f_n$	$f_{n2}^w$	$k_n$	$c_{n1}$	$c_{n2}$	...	$c_{nk}$
Wartości docelowe atrybutów							
				$p_{mk1t}^{wo1}$	$p_{mk2t}^{wo2}$	...	$p_{mkzt}^{woz}$

Co?		Jak?		Obiekty konfiguracji			
Charakterystyka wyrobu z punktu widzenia producenta	Atrybuty	Wartość	Znaczenie dla klienta	$m_1$	$m_2$	...	$m_k$
	$p_{mk1}$	$p_{mk1t}^w$	$k_{k1}$	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1k}$
	$p_{mk2}$	$p_{mk2t}^w$	$k_{k2}$	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2k}$
	...	...	...	...	...	...	...
	$p_{mkz}$	$p_{mkzt}^w$	$k_{kz}$	$c_{z1}$	$c_{z2}$	...	$c_{zk}$
				$m_{11}^*$	$m_{21}^*$	...	$m_{k1}^*$
				$m_{12}^*$	$m_{22}^*$	...	$m_{k2}^*$
				...	...	...	...
				$m_{1r}^*$	$m_{2r}^*$	...	$m_{kr}^*$

Rys. 3. Powiązanie wymagań klienta ze strukturą wyrobu w macierzy QFD

Fig. 3. Relation between customer requirements and product structure in QFD matrix

Co?		Jak?		Obiekty konfiguracji				
Charakterystyka wyrobu z punktu widzenia producenta	Atrybuty	Wartość	Znaczenie dla klienta	$m_1$	$m_2$	...	$m_k$	
	$p_{mk1}$	$p_{mk1t}^w$	$k_{k1}$	$c_{11}$	$c_{12}$	...	$c_{1k}$	
	$p_{mk2}$	$p_{mk2t}^w$	$k_{k2}$	$c_{21}$	$c_{22}$	...	$c_{2k}$	
	...	...	...	...	...	...	...	
	$p_{mkz}$	$p_{mkzt}^w$	$k_{kz}$	$c_{z1}$	$c_{z2}$	...	$c_{zk}$	
Ocena				1	$m_{11}^*$	$m_{21}^*$	...	$m_{k1}^*$
				2	$m_{12}^*$	$m_{22}^*$	...	$m_{k2}^*$
				3	$m_{12}^*$	...	...	$m_{k2}^*$
				4	...	$m_{2r}^*$	...	...
				5	$m_{1r}^*$	$m_{2r}^*$	...	$m_{kr}^*$

Rys. 4. Wyniki oceny wariantów

Fig. 4. Configuration items assessment

gdzie:  $k_z$  – waga oceny atrybutu  $z$ ,  $k_z \in N$ ,  $s_{kt}$  – średnia ocena stopnia spełnienia wymagań dla wariantu  $t$  obiektu konfiguracji  $k$ ,  $s_{kt} \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ ,  $s_{kzt}$  – ocena stopnia spełnienia wymagań dla wariantu  $t$  obiektu konfiguracji  $k$ , atrybutu  $z$ .

W wyniku zastosowania zaproponowanej regulowej oceny wariantów możliwe jest dobranie rozwiązania, które w największym stopniu odpowiada wymaganiom klienta oraz jest jak najbardziej zbliżone do aktualnie oferowanych rozwiązań. Podobieństwo może być oceniane zarówno pod względem parametrów technicznych jak i wymagań niezawodnościowych czy ponoszonych kosztów. Wyniki oceny przedstawiono na rys. 4.

**Oszacowanie danych dotyczących wyrobu innowacyjnego – określenie zasobów niezbędnych w celu wytworzenia wyrobu innowacyjnego.** Po przeprowadzeniu oceny wariantów obiektów konfiguracji kolejnym etapem jest oszacowanie danych np. dotyczących pracochłonności i/lub ponoszonych kosztów wynikających z dostosowania wyrobu do wymagań klientów.

Spośród szeregu metod określania czasu pracy na szczególną uwagę zasługuje metoda szacunkowa.

Szacowanie czasu wykonania wyrobu lub procesu może być realizowane na podstawie wzorca lub na podstawie wielu wzorców.

Szacowanie czasów na podstawie wzorca wymaga znalezienia przebiegu pracy, który jest zbliżony do nowego zadania oraz skorygowanie danych dla znanego zadania, tak aby otrzymać dane dla zadania nowego.

Szacowanie na podstawie wielu wzorców pozwala na zastosowanie reprezentatywnej grupy przypadków do określania czasu. Nie występuje konieczność wyszukiwania wyrobu lub procesu wzorcowego. Metodą stosowaną do analizy zgromadzonych danych mogą być sztuczne sieci neuronowe.

**Alokacja zasobów w czasie.** Kolejnym etapem jest określenie możliwości realizacji planowanego wyrobu. Zastosowanie w tym celu harmonogramów Gantta lub sieciowych metod planowania opartych o teorię grafów pozwala na powiązanie planowanych zadań z dostępnością zasobów przedsiębiorstwa.

Termin realizacji jest jednym z istotnych kryteriów decydujących o atrakcyjności oferty. Ustalenie terminu realizacji może zostać określone na podstawie pracochłonności opracowania

		4			
		3	+	+	
		2			+
		1			+
	Jak?				
Co?		Moc nominalna	Prędkość obrotowa wyjściowa	Przełożenie	....
Atrybut	Wartość	1	2	3	
Szerokość bębna	1200 mm				
Prędkość przesuwu taśmy	3 m/s		9	9	
Moc maszyny roboczej	30 kW	9			
....					
Termin realizacji	5 tyg.				
Wartości docelowe		30	108	14	

Rys. 5. Identyfikacja wartości docelowych atrybutów napędu przenośnika taśmowego

Fig. 5. Attribute target value of feeder device

		Obiekty konfiguracji	
	Jak?		
Co?		Przekładnia	Silnik
Zapewnia wymagany moment oraz obroty na wyjściu		9	9
Umożliwia montaż		9	3
Warunki transakcji		9	9

Rys. 6. Powiązanie struktury napędu podajnika taśmowego z jego funkcjami

Fig. 6. Relations between feeder device structure and its functions

Tabela 3. Charakterystyka obiektów konfiguracji napędu przenośnika taśmowego

Table 3. Feeder device configuration item characteristic

Obiekty konfiguracji	Alternatywy	Atrybuty			
		Moc [kW]	Prędkość [obr/min]	Przełożenie	....
Przekładnia	$t_{11}$	33	83	18	
	$t_{12}$	49	83	18	
	$t_{13}$	24,5	83	18	
Silnik	$t_{21}$	30	1470		
	$t_{22}$	35	1770		
	$t_{23}$	30	1470		

dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej, pracochłonności operacji technologicznych wykonanych w procesie wytwarzania oraz terminu dostawy elementów handlowych.

### 3. Przykład zastosowania metodyki planowania wyrobu innowacyjnego

Przykładową macierz QFD sporządzoną dla potrzeb doboru motoreduktora jako jednostki napędowej przenośnika taśmowego zawierającą wybrane wymagania klienta powiązane z charakterystyką techniczną zamieszczaną w katalogu wyrobów przedsiębiorstwa wytwarzającego motoreduktory w warunkach produkcji jednostkowej oraz małoseryjnej zamieszczono na rys. 5.

Przedstawione wartości docelowe atrybutów uwzględniają zarówno atrybuty techniczne, na podstawie których mogą zostać wyszukane wyroby podobne w katalogu przedsiębiorstwa, ale również uwzględniono atrybuty decydujące o atrakcyjności warunków transakcji takie jak termin realizacji.

Ustalenie struktury wyrobu, określenie obiektów konfiguracji polegające na dekompozycji wyrobu jest kolejnym zadaniem niezbędnym do wykonania w analizowanym przykładzie. Wyodrębnienie obiektów konfiguracji pozwala na ustalenie charakterystyki zarówno dla elementów handlowych jak i wytwarzanych w przedsiębiorstwie oraz zleczanych do wykonania w kooperacji.

Zazwyczaj przekładnia zębata jest niezależnym elementem połączonym z silnikiem i urządzeniem odbierającym za pomocą

Tabela 4. Przykładowe reguły przydziału ocen  
Table 4. An example of assessment rules

Jeżeli	$w_{kzt} \leq 0,1$	To	$s_{kzt} = 5$
	$0,1 < w_{kzt} \leq 0,65$		$s_{kzt} = 4$
	$0,65 < w_{kzt} \leq 1$		$s_{kzt} = 3$
	$1 < w_{kzt} \leq 2$		$s_{kzt} = 2$
	$2 < w_{kzt}$		$s_{kzt} = 1$

Tabela 5. Warianty obiektów konfiguracji – kalkulacja wartości wskaźnika  $w_{kzt}$   
Table 5. Configuration items – indicator  $w_{kzt}$  calculation

Obiekty konfiguracji	Alternatywy	Atrybuty					
		Moc [kW]	$w_{k1}$	Prędkość obrotowa [obr/min]	$w_{k2}$	Przełożenie	$w_{k3}$
Przekładnia	$t_{11}$	33	0,1	83	7,3	18	0,3
	$t_{12}$	49	0,6	83	7,3	18	0,3
	$t_{13}$	24,5	0,2	83	7,3	18	0,3
Silnik	$t_{21}$	30	0,00				
	$t_{22}$	35	16,67				
	$t_{23}$	30	0,00				

Tabela 6. Warianty obiektów konfiguracji ocena cząstkowa skzt  
Table 6. Configuration items variants partial assessment  $s_{kzt}$

Obiekty konfiguracji	Alternatywy	Charakterystyka							
		Moc [kW]	Ocena	Obroty wyjścia [obr/min]	Ocena	Przełożenie	Ocena	.....	Ocena średnia
Przekładnia	$t_{11}$	33	5	83	1	18	4		3
	$t_{12}$	49	4	83	1	18	4		3,6
	$t_{13}$	24,5	4	83	1	18	4		3,8
Silnik	$t_{21}$	30	5						2,8
	$t_{22}$	35	1						3,5
	$t_{23}$	30	5						2

sprzęgła. Powiązanie funkcji urządzenia ze strukturą wyrobu zostało przedstawione na rys. 6.

Przykładowe dane charakteryzujące alternatywne rozwiązania obiektów konfiguracji przedstawiono w tab. 3.

Ocena wariantów obiektów konfiguracji  $m_k$  może być prowadzona poprzez wyznaczenie wskaźnika oceny dla każdego analizowanego atrybutu  $w_{kzt}$ , a następnie wyznaczenie ocen  $s_{kzt}$  stopnia spełnienia wymagań dla wariantu z. W analizowanym przykładzie wagi wymagań klienta wynoszą 1, ponieważ przyjęto, iż wszystkie wymienione atrybuty są równie istotne dla klienta.

Przeprowadzona ocena została oparta o reguły przedstawione w tab. 4. Kalkulacja wartości wskaźnika  $w_{kzt}$  została przedstawiona w tab. 5, natomiast oceny wyznaczone dla każdego atrybutu  $s_{kzt}$  przedstawiono w tab. 6. Uszeregowanie wariantów przeprowadzone na podstawie oceny zagregowanej  $s_{kt}$  zamieszczono w dolnej części macierzy QFD (rys. 7).

Obiekty konfiguracji, które uzyskały najwyższą ocenę mogą zostać zastosowane w wyrobie. W razie, gdy oceniany obiekt konfiguracji nie spełnia wymagań pojawia się konieczność określenia zakresu zmian, jaki powinien być wprowadzony w wyrobie.

Oszacowanie danych dotyczących wyrobu innowacyjnego – określenie zasobów niezbędnych w celu wytworzenia wyrobu innowacyjnego może być realizowane metodą szacunkową wg wielu wzorców z zastosowaniem sieci neuronowych [7].

Ze względu na możliwość uwzględniania w procesie modelowania wielu czynników determinujących pracochłonność, sieci neuronowe dają optymistyczne przesłanki dotyczące możliwości zbudowania modelu odzwierciedlającego proces projektowania. Wymaga to jednak zgromadzenia danych o procesie projektowania i na ich podstawie, dobrania wektora cech wejściowych oraz skonfigurowania sieci neuronowej [11].

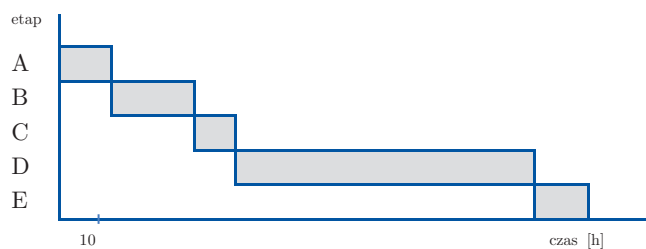
Przyjęto następujące dane wejściowe do analizy [11]:  
– stopień automatyzacji prac – w warunkach produkcyjnych polskich przedsiębiorstw „warsztat pracy” nie zawsze jest wyposażony w najnowsze dostępne na rynku oprogramowanie wspomagające prace konstruktorów. Programy, jakimi dysponują przedsiębiorstwa mogą być opracowywane dla konkretnych, specyficznych uwarunkowań danego przedsiębiorstwa. Znajomość obsługi oprogramowania oraz jego dostępność dla różnych pracowników działu jest różna. Stąd założono, iż stopień automatyzacji prac obliczeniowych będzie istotną, zmienną wielkością wpływową,

Co?	Jak?	Przekładnia	Silnik
	Atrybut		
Moc	30 [kW]	1	2
Prędkość wyjściowa	108 [obr/min]	9	3
Przełożenie	14	9	
....			
Termin realizacji	5 tyg.		
Ocena	1		
	2		$t_{23}$
	3		$t_{21}$
	4	$t_{11}, t_{12}, t_{13}$	$t_{22}$
	5		

Rys. 7. Ocena wariantów obiektów konfiguracji w macierzy QFD  
Fig. 7. Configuration items assessment in QFD matrix

**Tabela 7. Etapy procesu produkcyjnego wyrobu innowacyjnego**  
 Table 7. Production process stages of innovative products

Etap	Opis	Nakład czasu [h]
A	Założenia projektowe	12
B	Wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej	20
C	Opracowanie dokumentacji technologicznej	10
D	Wytwarzanie	70
E	Testy	8



**Rys. 8. Harmonogram realizacji**  
 Fig. 8. Schedule

- stopień nowości rozwiązywanego problemu – jest szczególnie ważnym czynnikiem decydującym o pracochłonności prac konstrukcyjnych,
  - stopień złożoności rozwiązywanego problemu – jest związany z zakresem zmian wprowadzonych w konstrukcji wyrobu,
- Wyjściem sieci są czasy opracowania dokumentacji konstrukcyjnej wyrobu modernizowanego.
- Zbiór zgromadzonych danych obejmował 30 przypadków, które zostały podzielone w sposób losowy na trzy podzbiory [11]:
- zbiór uczący: 15 przypadków,
  - zbiór walidacyjny: 7 przypadków,
  - zbiór testujący: 8 przypadków.

Analizie [11] poddano zlecenia, dla których pracochłonność realizacji nie przekraczała 500 godzin. Stopień automatyzacji prac został określony za pomocą trójstopniowej skali, gdzie 1 oznacza realizację zlecenia z wykorzystaniem CAD przy dobrej znajomości obsługi oprogramowania przez konstruktora, natomiast 3 oznacza opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej przy ograniczonym wspomaganie oprogramowaniem CAD, gdzie np. dokumentacja wyrobu podobnego jest w postaci „papierowej”. Badania obejmowały szereg eksperymentów numerycznych, które umożliwiły określenie cech, które mają decydujący wpływ na wynik uczenia sieci neuronowej oraz dobranie struktury sieci dającej zadawalające wyniki uczenia.

Do prognozowania czasu opracowania dokumentacji konstrukcyjnej wyrobu innowacyjnego, zastosowano sieć MLP (Multi Layer Perception) uczoną metodą wstecznej propagacji błędów z logistyczną funkcją aktywacji. W trakcie eksperymentów numerycznych analizie poddano 30 różnych konfiguracji sieci. Najlepszą strukturą sieci poprawnie aproksymującą czas opracowania dokumentacji konstrukcyjnej była sieć z 9 neuronami w warstwie wejściowej, 5 neuronami w warstwie ukrytej oraz 1 neuronem wyjściowym (3:9-5-1:1).

Jako podstawowy wskaźnik oceny konfiguracji sieci przyjęto błąd RMS, którego podstawę obliczenia stanowi błąd średniokwadratowy. Dla wybranej sieci błąd RMS wynosił 11,86155.

Alokacja zasobów w czasie była kolejnym etapem przeprowadzonej analizy. Etapy procesu produkcyjnego (tab. 7) zostały przedstawione w postaci harmonogramu Gantta (rys. 8).

## 4. Podsumowanie

Analiza związków między potrzebami klienta, wymaganiami funkcjonalnymi, konstrukcją wyrobu oraz planowaniem procesu wytwarzania jest konieczna w celu opracowania wyrobu, który zapewni satysfakcję klienta. Zaproponowana metodyka pozwala na planowanie wyrobu w oparciu o wymagania klienta w powiązaniu z danymi wynikającymi z charakterystyki procesu produkcyjnego.

Uwzględnienie w zaproponowanej metodyce planowania wyrobu innowacyjnego metody QFD oraz nowoczesnych metod analizy danych jakimi są sztuczne sieci neuronowe może wpłynąć na poprawę efektywności w zakresie planowania oraz realizacji przedsięwzięć nakierowanych na wdrażanie wyrobów innowacyjnych. Bazowanie na wcześniejszych doświadczeniach przedsiębiorstwa ogranicza ryzyko błędów w procesie produkcyjnym popełnianych zarówno w sferze projektowania wyrobu jak i procesu wytwarzania.

## Bibliografia

1. Akao Y., QFD: Past, Present, and Future. International Symposium on QFD. Linköping 1997.
2. Bahrami A., Dagli C., *Design science. Intelligent Systems in design and manufacturing*. Edited by C. Dagli and Kusiak A. Asme Press. New York 1994.
3. Chieh-Yuan Tsai, Chih-Jung Chen, Yu-Ting Lo, *A cost-based module mining method for the assemble-to-order Strategy*. Journal of Intelligent Manufacturing 25 (2014),1377–1392.
4. Chlebus T., Stefaniak P., *Ewolucja produktu w odniesieniu do warunków użytkowania*. Materiały z konferencji: Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Zakopane 2014.
5. HARTING, *Modularyzacja i specjalizacja w budowie maszyn*. Pomiary Automatyka Robotyka. 3(2014), 58-59.
6. 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.
7. 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.
8. Karaszewski R., *Nowoczesne koncepcje zarządzania jakością*. TNOIK. Toruń 2006.
9. 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.
10. Kutschenreiter-Praszkiewicz I., *Systemy bazujące na wiedzy w technicznym przygotowaniu części maszyn*. Wydawnictwo ATH. Bielsko-Biała, 2012.
11. Kutschenreiter-Praszkiewicz I., *Wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do prognozowania czasu projektowania przekładni zębatach w warunkach niepewności i ryzyka*. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 27(2007)2, 113-120.

12. Lasota M., *TRIZ – udoskonalanie istniejących rozwiązań*. *Pomiary Automatyka Robotyka* 11(2013), 76-77.
13. Motyka S., *Model kreowania system innowacji w przedsiębiorstwie*. Materiały z konferencji: *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Zakopane 2014.
14. 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.
15. Sosnowska A., *Jak wdrażać innowacje technologiczne w przedsiębiorstwie*. *Poradnik dla przedsiębiorców*. Warszawa 2005.
16. Wawak S., *Zarządzanie jakością. Teoria i praktyka*. Helion. Gliwice 2006.

## Production process planning of innovative product

**Abstract:** Paper presents innovative product production planning issues, especially technical product preparation tasks focused on chosen data assessment were taken into consideration. Product modularity was taking into consideration as a cost reduced method for customer particular needs fulfilment. There are a lot of methods applicable for product development – according to literature review TRIZ and QFD are especially promising. In the paper the customer needs analysis was presented. The product modularity issue was presented. The idea of product modularity needs product models, which taking into consideration product structure and modules alternatives. The product attribute model was presented in the paper. The QFD method was apply for customer needs identification and correlation analysis for product structure and another data created during production process preparation. Artificial neural network was used for innovative product planning data prediction. Rule based method product similarity assessment was applied.

**Keywords:** technical production preparation, variant assessment, QFD

dr hab. inż. Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz,  
prof. ATH

ipraszkiewicz@ath.bielsko.pl

dr hab. inż. Izabela Kutschenreiter-Praszkiewicz, prof. ATH – absolwent Wydziału Organizacji i Zarządzania Filii Politechniki Łódzkiej w Bielsku-Białej. Obecnie profesor w Katedrze Inżynierii Produkcji na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

