

# Możliwości zastosowania tablic decyzyjnych w inżynierii projektowania konstrukcyjnego i technologicznego

Marian A. Partyka, Alfred Paszek

## 1. Wprowadzenie

Metodologia i automatyzacja projektowania inżynierskiego powinny usprawnić proces projektowania wspomaganego komputerem z wykorzystaniem metod strukturalizacyjnych, umożliwiających zwiększenie modułowości, agregacji i dekompozycji oraz formalizacji w odpowiednich jego etapach. Występuje potrzeba zastosowania komputera w procesie projektowania typu twórczego, w którym częściowo istnieje możliwość zastąpienia intuicji i doświadczenia projektanta odpowiednimi algorytmami komputerowymi, co wynika m.in. z właściwości danego systemu projektującego. W tym celu należy wykorzystać różne metody opisu procesów projektowania i konstruowania. Należą do nich m.in. metody opisu bazujące na właściwościach tablic decyzyjnych [1, 3, 4, 6, 8, 10, 11, 15, 21].

Metoda tablic decyzyjnych należy do hybrydowych metod projektowania. Metody te łączą elementy metod heurystycznych i algorytmicznych rozwiązywania problemów projektowych. Przedstawione informacje nie mają ścisłej struktury hierarchicznej, tak jak w metodzie algorytmicznej, jednak możliwe jest wyodrębnienie etapów decyzyjnych o różnym stopniu szczegółowości działań, co odpowiada metodzie heurystycznej. Po wprowadzeniu odpowiednio sformalizowanych zapisów oraz ich licznych modyfikacji i uogólnień metoda tablic decyzyjnych staje się strukturą, która nadaje się do wykorzystania w komputerowym wspomaganie procesu projektowania.

W rozwiązywaniu problemów projektowania występuje przetwarzanie, przepływ i tworzenie informacji. Zbiór tych informacji stanowi wiedzę dziedzinową o problemach decyzyjnych. Rozwój komputerowych systemów przetwarzania wiedzy obejmuje badania w zakresie implementacji elementów sztucznej inteligencji w systemach wspomagających podejmowanie decyzji. Działania skoncentrowane są na sposobach kodyfikacji wiedzy w systemie. Istnieje potrzeba opracowania takich metod przetwarzania wiedzy, które usprawniają procesy porządkowania, wartościowania, przechowywania i wymiany wiedzy. Badania powinny zmierzać w kierunku opracowania nowych metod reprezentacji wiedzy lub rozwoju istniejących [2, 5, 7, 10, 12, 13, 15, 16, 20].

Reprezentacja wiedzy oznacza ogólny formalizm przekazywania, zapisywania i gromadzenia dowolnego zasobu wiedzy. Jest to kombinacja struktur danych i procedur interpretacyjnych tak dobranych, że właściwie użyte prowadzą do inteligentnego zachowania i wykorzystania w systemie komputerowym.

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono możliwości zastosowania tablic decyzyjnych w inżynierii projektowania w zakresie konstrukcji i technologii. Scharakteryzowano podstawową budowę i własności tablic decyzyjnych w przetwarzaniu informacji bazującej na regułach projektowania. Porównano klasyczne oraz wielowartościowe tablice decyzyjne wspomagające obliczenia cieplne zbiornika ożebrowanego. Pokazano przykłady opracowań tablic decyzyjnych stosowanych w diagnostyce łożyska hydrodynamicznego oraz w opisie stanów automatu skończonego. W obszarze projektowania technologicznego zaprezentowano opracowanie klasycznej tablicy decyzyjnej w projektowaniu obróbki tłoczków oraz modalną tablicę decyzyjną w projektowaniu półfabrykatów dla produkcji łożysk siłowników hydraulicznych.

Słowa kluczowe: tablica decyzyjna, wielowartościowa tablica decyzyjna, rozwiązania decyzyjne, reguły projektowania, inżynieria wiedzy, logika symboliczna

## POSSIBILITIES OF USING DECISION TABLES IN ENGINEERING OF STRUCTURAL DESIGN AND TECHNOLOGY

**Abstract:** The text has been described the basic structure of decision tables in data processing based on design rules. We compared classic and multiple-valued decision tables supporting the thermal calculations of hydraulic tank. There are shown examples of decision solutions in diagnostics of hydrodynamic bearing and in the description of a finite automata. Furthermore, it has been shown that it is possible to build the classic decision table in the design of piston rod machining. The article describes modal decision tables in the design of semi-finished products for the production of hydraulic cylinder glands.

Key words: decision table, multiple-valued decision table, decision solutions, design rules, knowledge engineering, symbolic logic

W pracy położono nacisk na tworzenie reprezentacji opartej na zastosowaniu koncepcji tablic decyzyjnych. Dzięki temu, że w strukturze tablicy zostają wprowadzone reguły wnioskowania,

staje się możliwe opracowanie bazy wiedzy systemu wspomagającego procesy projektowania [7, 10, 12, 18, 22].

## 2. Budowa i własności tablic decyzyjnych

Tablice decyzyjne są schematami algorytmicznymi obiegu informacji. Schematy te mogą mieć postać schematów blokowych, w których wybrane informacje są priorytetowe, a inne mogą być przedstawione w sensie kolejkowym. Zamiana kolejności bloków decyzyjnych w schemacie blokowym obiegu informacji jest trudna graficznie i algorytmicznie. Odpowiednik takiej zamiany w tablicy decyzyjnej jest czynnością łatwą, gdyż oznacza jedynie zamianę kolejności wierszy lub kolumn. Decyduje to w wielu przypadkach o zastosowaniu tablic decyzyjnych w rozwiązywaniu złożonych problemów decyzyjnych w projektowaniu inżynierskim [11].

Tablice decyzyjne są środkiem analizy i dokumentacji systemu, uzupełniającym tradycyjne schematy poszukiwania rozwiązań. Podstawą formalną konstrukcji tablic decyzyjnych jest warunek  $\gg$  Jeżeli...to...  $\ll$  i dlatego mogą być stosowane w matematycznym przetwarzaniu informacji i działań. Zmienne decyzyjne są niezależne i tworzą zbiór informacji pierwotnych. Różne kombinacje wartości zmiennych decyzyjnych mogą być prawdziwe (realizowalne) lub sprzeczne i zapisywane są pionowo jako reguły decyzyjne oznaczające równocześnie iloczyn logiczny. Funkcje zmiennych decyzyjnych są traktowane jako informacje wyjściowe tablicy decyzyjnej i oznaczają działania, które można zdefiniować jako funkcje logiczne pierwotnych zmiennych decyzyjnych niezależnych. Dla różnych reguł decyzyjnych mogą być spełnione różne podzbiory funkcyjne informacji wyjściowych i dlatego każdą tablicę decyzyjną można zapisać jako układ równań funkcji logicznych [9, 12, 16].

Tablice decyzyjne mogą być zapisywane słownie lub symbolicznie, ale zawsze według powyższych zasad budowy. Dlatego wygodnie jest zapisywać tablicę decyzyjną jako układ czterech zbiorów, które nazywane są jako:

- zbiór warunków;
- zbiór wskaźników warunków;
- zbiór czynności;
- zbiór wskaźników czynności.

W szczególności należy wykluczyć tzw. nadmiar warunków (wieloznaczność decyzyjna dla tego samego działania) oraz sprzeczność warunków (wieloznaczność decyzyjna dla tych samych warunków). W zastosowaniach praktycznych wygodnie jest zrobić rozkład tablicy decyzyjnej na dendryt przy założeniu, że otrzymane tablice mają tylko jedną regułę decyzyjną bez względu na liczbę warunków w nich występujących. Ze względu na formalizację takiego postępowania stosuje się różne logiczne dodatkowe definicje: liczba kolumnowa, liczba kreskowa, parametr delta, wspólna ścieżka, moc wspólnej ścieżki itd.

Generowanie nowych rozwiązań metodą tablic decyzyjnych może być zapisywane kodowo dwu- i wielowartościowo, co umożliwi późniejszy prawidłowy obieg informacji dla rozwiązań prawdziwych, podrozwiązań prawdziwych i najważniejszych podrozwiązań prawdziwych. W szczególności zamiast zasady  $\gg$  Jeżeli ... to ...  $\ll$  może być stosowany ciąg decyzyjny z wielokrotnym użyciem słów: jeśli, to, w przeciwnym przypadku, lub, .... Prowadzi to do bardziej

złożonych analitycznie zapisów układów funkcji logicznych w porównaniu do tradycyjnego zapisu typu alternatywna postać normalna [11].

W praktyce spotyka się głównie dwa rodzaje tablic decyzyjnych: proste i uogólnione (jeśli dany warunek jest wieloznaczny, to tablica jest uogólniona). Transformacja tablicy uogólnionej na prostą polega na jednoznacznym przyporządkowaniu warunkom odpowiednich reguł wyboru. Podejście takie nazywane jest także metodą opisów ograniczonych i rozwiniętych i charakteryzuje się następującym faktem: jeśli dla podjęcia decyzji, czy jakiś warunek lub działanie odnoszą się do danej reguły, trzeba rozpatrywać zarówno lewą stronę, jak i prawą stronę każdego wiersza, to dany opis jest rozwinięty, natomiast w przeciwnym przypadku – ograniczony.

Tablice decyzyjne stanowią tabelaryczną formę reprezentacji wiedzy, wyrażonej za pomocą reguł. Warunki (przesłanki) i działania (konkluzje) reguł zapisywane są w wierszach tabeli, natomiast kolumny tabeli opisują kombinacje wartości logicznych elementów reguł. W ogólnej strukturze tablicy decyzyjnej można wyróżnić cztery podstawowe obszary, pokazane na rys. 1.

		R1	R2						Rn
C1									
C2	<b>obszar opisu warunków</b>	<b>obszar wartości warunków</b>							
...	<b>(zbiór warunków)</b>	<b>(zbiór wskaźników warunków)</b>							
Cn									
D1									
D2	<b>obszar opisu działań</b>	<b>obszar wartości działań</b>							
...	<b>(zbiór czynności)</b>	<b>(zbiór wskaźników czynności)</b>							
Dn									
EXT									

Rys. 1. Ogólna budowa tablicy decyzyjnej

Identyfikacja elementów tablicy decyzyjnej możliwa jest dzięki przyporządkowaniu im odpowiednich symboli. Warunki oznaczone zostały symbolami: C1, ..., Cn, działania symbolami: D1, ..., Dn, natomiast reguły posiadają symbole: R1, ..., Rn. W obszarze wartości warunków zapisuje się symbole T (Tak) lub N (Nie), oznaczające spełnienie lub niespełnienie danego warunku. W obszarze wartości działań używany jest jedynie symbol T (Tak), który wskazuje odpowiedź w postaci działania (lub wniosku) na spełnione wartości warunków, zapisane w kolumnach tabeli. Nie ma potrzeby zapisu wartości N (Nie) dla działań, gdyż oznaczałoby to, że dane działanie nie będzie podejmowane [20].

Realizacja działań wnioskowania związanych z tablicą decyzyjną polega na badaniu reguł w kolejności ich zapisu w kolumnach, aż do napotkania reguły, dla której spełnione są wszystkie wskazane w niej warunki. Stąd należy zachować ścisłą kolejność zapisu reguł w kolumnach, co związane jest z proceduralnym charakterem reprezentacji wiedzy. Po ustaleniu wartości warunków reguły, zgodnie z zapisem w tablicy, wykonywane są przyporządkowane tej regule działania (również według kolejności zapisu). Puste miejsca pozostawione w komórkach tabeli oznaczają, że dany element jest pomijany, tzn. nie jest sprawdzany w trakcie wnioskowania. W ostatnim wierszu tablicy decyzyjnej

EXIT można zamieścić logiczne wartości wyjściowe T lub N, które zapisywane są w części warunkowej reguły, umieszczonej w innej tabeli. Dzięki temu uzyskuje się sieć tablic decyzyjnych, a rozwiązywany problem decyzyjny może zostać podzielony na mniejsze zadania, dla których sporządzane są oddzielne tablice decyzyjne.

Opracowanie tablicy decyzyjnej jest procesem twórczym, który odpowiada programowaniu w komputerowych językach wysokiego poziomu. Proces budowy tablicy decyzyjnej jest zorientowany problemowo na określoną dziedzinę zastosowania. Tablice decyzyjne są związane z tablicami morfologicznymi i w zależności od zagadnienia praktycznego stosowane są zamiennie lub wraz z innymi metodami graficznego projektowania [7, 10, 12, 15].

### 3. Klasyczne tablice decyzyjne

Do podstawowych zalet klasycznych tablic decyzyjnych należy zaliczyć:

- istnienie niezależności wierszy (warunków);
- istnienie wszystkich możliwych kombinacji warunków (reguły decyzji) na podstawie zmiennych boolowskich, zawierającej dokładnie  $2^n$  różnych wierszy.

Wykorzystanie tych zalet, a także niektórych ich modyfikacji, umożliwia zastosowanie klasycznych tablic decyzyjnych w procesie projektowania. Struktura tablic decyzyjnych umożliwia przekształcenie ich za pomocą formalnych instrukcji na program cyfrowy, więc można zapewnić dużą dokładność obiegu informacji m.in. w komputerowym wspomaganiu procesu projektowania.

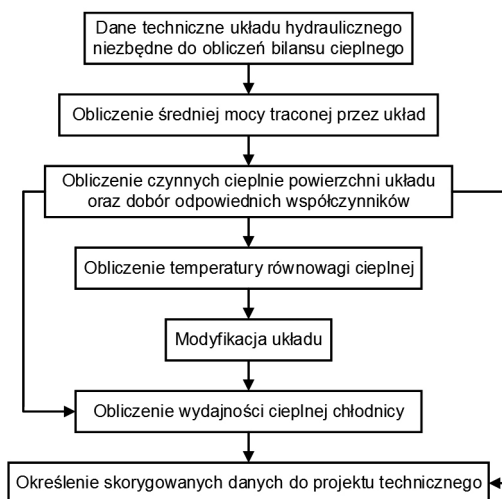
#### 3.1. Zastosowanie tablicy decyzyjnej w obliczeniach zbiornika ożebrowanego

Budowa tablicy decyzyjnej dla danego zagadnienia projektowego rozpoczyna się od znalezienia zbioru warunków, a następnie zbioru wskaźników warunków właściwych dla danego procesu obliczeniowego. Zostanie to przedstawione na przykładzie obliczeń cieplnych zbiornika ożebrowanego.

Obliczenie bilansu cieplnego układu hydraulicznego wykonuje się podczas realizacji etapu projektowania wstępnego. Wykorzystuje się tutaj wnioski z etapu oceny i wyboru rozwiązań, które potem stosuje się do tworzenia odpowiednich modeli matematycznych. Podstawowe dane techniczne układu hydraulicznego, niezbędne do obliczeń bilansu cieplnego, opisuje się za pomocą tablicy, w której występuje około 25 elementów. Przebieg obliczeń bilansu cieplnego przedstawiono na rys. 2.

W celu odpowiedniego sformalizowania opisu zmiennych arytmetycznych oraz kolejności przeprowadzanych obliczeń należy zbiór wskaźników warunków potraktować jako sekwencje kolejnych bloków decyzyjnych, natomiast zbiór wskaźników czynności jako procedury obliczeniowe algorytmu obliczeń cieplnych.

Przedstawione własności tablic decyzyjnych i procesu obliczeń bilansu cieplnego układów hydraulicznych pozwalają na powiązanie algorytmizacji z procesem automatyzacji projektowania metodą tablic decyzyjnych. W tym celu należy opracować algorytm numeryczny, będący podstawą implementacji komputerowej. Poszczególne bloki decyzyjne i obliczeniowe



Rys. 2. Schemat obliczeń bilansu cieplnego układu hydraulicznego [11]

oznaczają odpowiednio zbiór warunków i zbiór czynności danej tablicy. W ten sposób uzyskuje się szczegółowy schemat blokowy danego algorytmu, gdyż kolejne wskaźniki warunków implikują odpowiednie wskaźniki czynności.

W przypadku obliczeń cieplnych zbiornika ożebrowanego (przy dodatkowym założeniu częściowej zależności elementów ze zbioru czynności), tablica decyzyjna przyjmuje postać przedstawioną w tabeli 1. Poszczególne warunki oznaczają kolejno typ i kształt ożebrowania, np. OK – zbiornik okrągły; PR2 – zbiornik o żebrach prostych, których grubość  $S$  opisano funkcją INT2, przedstawioną w tabeli 1, a mianowicie:

$$S = S \left( \frac{x}{h} \right)^{0.5}$$

gdzie:  $h$  – wysokość żebra;  $x$  – ustalona odległość;

IG9 – zbiornik o żebrach igłowych, których grubość  $S$  opisano funkcją INT9, przedstawioną w tabeli 1, a mianowicie:

$$S = S \left( \frac{x}{h} \right)^2$$

Zbiór czynności składa się z odpowiednich etapów programu komputerowego, np. czynność C1 jest pojedynczym blokiem obliczeniowym, który wykorzystano przy obliczeniach zbiorników o żebrach prostych lub igłowych o dowolnych kształtach; czynność C2 jest sekwencją skończonej liczby bloków obliczeniowych i decyzyjnych, które uwzględniono przy obliczeniach jedynie zbiornika o żebrach okrągłych; czynność INT2 jest blokiem obliczeniowym, w którym odbywa się liniowa interpolacja dyskretnej funkcji za pomocą procedury INT; czynność C13 jest zbiorem ostatnich bloków obliczeniowych, które uwzględniono dla każdego typu i kształtu zbiornika ożebrowanego;

Tabela 1. Tablica decyzyjna obliczeń zbiornika ożebrowanego [11]

ENERGO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
OK	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR	-	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0
PR1	-	1	0	0	0	0	-	-	-	-	0	-	-
PR2	-	-	1	0	0	0	-	-	-	-	0	-	-
PR3	-	-	-	1	0	0	-	-	-	-	0	-	-
PR4	-	-	-	-	1	0	-	-	-	-	0	-	-
PR5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	0	-	-
IG	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	1	0
IG6	-	-	-	-	-	-	1	0	0	0	-	0	-
IG7	-	-	-	-	-	-	-	1	0	0	-	0	-
IG8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0	-	0	-
IG9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-
M = mk		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C2	1												
INT1		1											
INT2			1										
INT3				1									
INT4					1								
INT5						1							
INT6							1						
INT7								1					
INT8									1				
INT9										1			
C12		1	1	1	1	1	1	1	1	1			
C13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
C14											1	1	1
INNE	1												

czynność C14 zawiera jedynie komentarz o niewłaściwym wprowadzeniu danych, będących zmiennymi logicznymi opisującymi typ i kształt ożebrowania.

Należy zaznaczyć, że uwzględnienie innych zbiorników wymiany ciepła (np.: z wyznaczeniem promieniowania i składnika  $T^4$ , gdzie T – temperatura) możliwe jest po dopisaniu dodatkowych wierszy do tablicy decyzyjnej.

### 3.2. Zastosowanie tablicy decyzyjnej w diagnostyce łożyska hydrodynamicznego

Dla potrzeb przetwarzania tablic decyzyjnych można wydzielić trzy podstawowe części, o ile zbiór czynności i zbiór wskaźników czynności zostaną rozdzielone na dwie części: działania (i/lub wnioski) oraz wyjścia. Takie postępowanie jest poprawne, gdyż zbiór warunków i zbiór wskaźników warunków nie zmieniają się, natomiast w ujęciu strukturalnym z wykorzystaniem logicznych wyrażeń alternatywno-koniunkcyjnych nie otrzymuje się żadnych zmian syntetycznych i analitycznych.

Opracowana została tablica decyzyjna wspomagająca podejmowanie decyzji w diagnostyce łożyska hydrodynamicznego (tabela 2).

Tabela 2. Tablica decyzyjna łożyska hydrodynamicznego [4, 11]

ŁOŻYSKO HYDRODYNAMICZNE		Reguły						
		1	2	3	4	5	6	7
C1	Występują drgania samowzbudne o częstotliwości równej około 50% częstotliwości wirowania wału	T	N	-	N	N	T	T
C2	Temperatura oleju jest zbyt wysoka	T	T	T	N	-	-	N
C3	Temperatura oleju jest zbyt niska	-	-	T	N	T	T	N
C4	Panewka łożyska ma przekrój eliptyczny	-	-	-	-	-	-	N
A1	Zmniejszyć luzy promieniowe łożyska						T	
A2	Zwiększyć luzy promieniowe łożyska		T					
A3	Zmniejszyć natężenie oleju przepływającego przez łożysko					T		
A4	Przeprowadzić weryfikacyjne obliczenia cieplne łożyska	T						
A5	Zastosować panewki o przekroju eliptycznym							T
E1	Błąd (RETURN)			T				T
E2	Koniec (QUIT)	T	T		T	T	T	T

Tablica decyzyjna składa się z trzech części. Wiersze C1–C4 zawierają zbiór warunków i zbiór wskaźników warunków, wiersze A1–A5 przedstawiają zbiór czynności i zbiór wskaźników czynności, natomiast w wierszach E1–E2 zamieszczono czynności związane z wyjściem z tablicy decyzyjnej.

### 3.3. Zastosowanie tablicy decyzyjnej w opisie stanów automatu skończonego

Tablica decyzyjna elementu nieliniowego układu hydraulicznego może być zapisana jako odpowiednik formalny stanów automatu skończonego, o ile takie stany opisują wszystkie możliwe warianty działania elementu nieliniowego. Jeżeli element nieliniowy opisany jest zbiorem następujących nierówności:

$$U = \left\{ \begin{array}{l} U_{max} \quad dla = \begin{cases} u > A, \frac{du}{dt} > 0 \\ u > A^*, \frac{du}{dt} < 0 \end{cases} \\ 0 \quad dla = \begin{cases} -A^* \leq u < A, \frac{du}{dt} > 0 \\ -A < u \leq A^*, \frac{du}{dt} < 0 \end{cases} \\ U_{min} \quad dla = \begin{cases} -u \leq -A, \frac{du}{dt} < 0 \\ -u < -A^*, \frac{du}{dt} > 0 \end{cases} \end{array} \right.$$

to istnieje tablica decyzyjna, pokazana w tabeli 3, jako odpowiednik formalny stanów automatu skończonego.

Tabela 3. Tablica decyzyjna opisu stanów elementu nieliniowego [11]

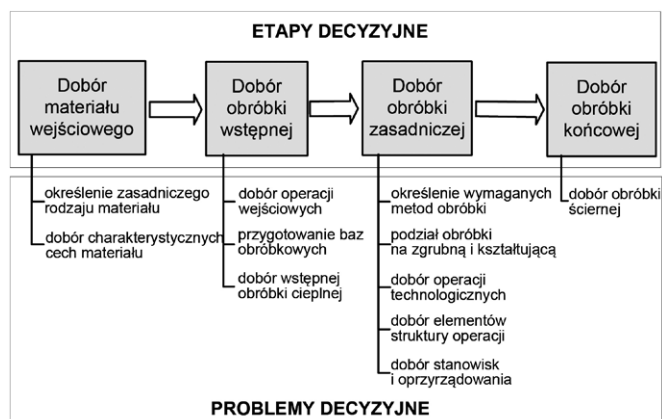
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
$u > A$	T	N	N	N	N	N
$\frac{du}{dt} > 0$	T	N	T	N	N	T
$u > A^*$	N	T	N	N	N	N
$\frac{du}{dt} < 0$	N	T	N	T	T	N
$-A^* \leq u < A$	N	N	T	N	N	N
$-A < u \leq A^*$	N	N	N	T	N	N
$-u < -A$	N	N	N	N	T	N
$-u < -A^*$	N	N	N	N	N	T
$U_{max}$	T	T				
0			T	T		
$U_{min}$					T	T

**3.4. Opracowanie tablicy decyzyjnej w projektowaniu obróbki tłoczek siłowników hydraulicznych**

Budowę tablicy decyzyjnej należy rozpocząć od analizy możliwych wariantów procesów technologicznych dla wybranego asortymentu produkcyjnego. Analiza ta dotyczy parametrów konstrukcyjnych elementów przeznaczonych do produkcji, możliwości wytwórczych danego systemu produkcyjnego oraz związków pomiędzy wyróżnionymi cechami konstrukcyjnymi a strukturą procesu technologicznego. Na tej podstawie ustalane są zasadnicze etapy oraz problemy decyzyjne w projektowaniu procesów [14, 17, 20].

Dla produkcji wybranych elementów siłowników hydraulicznych etapy projektu technologicznego pokazane zostały na rys. 3.

Kolejnym etapem w budowie tablicy decyzyjnej jest opracowanie procedury wyboru najlepszego wariantu procesu technologicznego. Procedura rozwiązania problemu decyzyjnego bazuje na strukturze drzewa wariantów. Podstawową cechą tej struktury jest graficzne przedstawienie procesu podejmowania decyzji. W węzłach drzewa wariantów umieszcza się warunki, na podstawie których będzie rozwiązywany problem,



Rys. 3. Schemat projektowania procesu technologicznego [20]

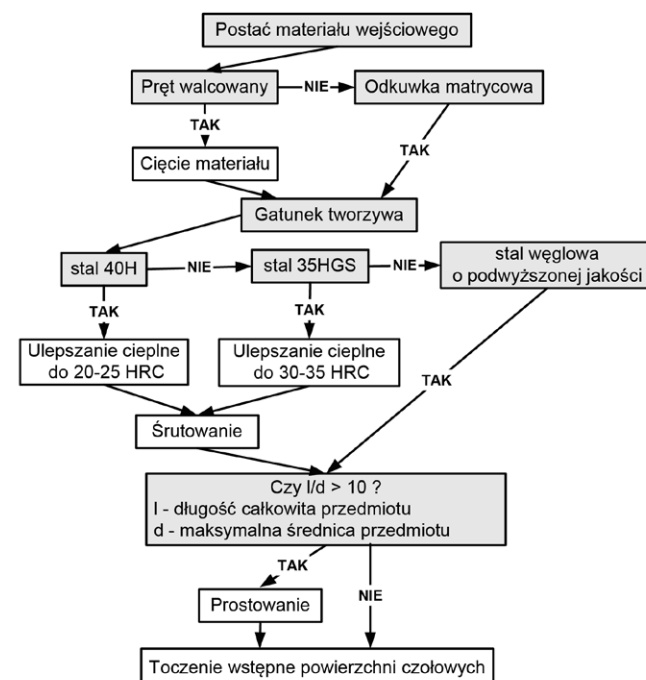
oraz działania, będące konkretnymi rozwiązaniami problemu. Na gałęziach umieszcza się wartości logiczne związane z przyjęciem lub odrzuceniem węzłów drzewa. Struktura drzewa odpowiada budowie klasycznych reguł wnioskowania o postaci: Jeżeli <warunki> to <działania>. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że przedstawia w sposób graficzny proces podejmowania decyzji [17, 20].

Na rys. 4 zaprezentowano przykładową strukturę drzewa wariantów, które zostało opracowane dla etapu decyzyjnego doboru obróbki wstępnej elementów tłoczek siłowników hydraulicznych [19].

Analiza drzewa decyzyjnego prowadzi do opracowania zbioru reguł projektowania procesu technologicznego, które przedstawiają zależności pomiędzy warunkami i działaniami. Reguły te umieszczane są w tablicy decyzyjnej, pokazanej w tabeli 4.

Zaprezentowana budowa tablicy odpowiada strukturze tablic decyzyjnych opisanych w punkcie 2 oraz przedstawionej na rys. 1. Odpowiednie warunki umieszczono w wierszach C1–C6, a mianowicie warunki dotyczące: postaci konstrukcyjnej materiału wejściowego (C1, C2), gatunku tworzywa, z którego produkowany jest element (C3, C4, C5), oraz zależności pomiędzy wymiarami gabarytowymi elementu (C6). W wierszach D1–D6 umieszczono odpowiednie działania związane z wyborem rodzaju operacji technologicznych. Operacje te obejmują obróbkę skrawaniem (D1, D6), obróbkę cieplną (D2, D3), czyszczenie materiału (D4) i obróbkę plastyczną (D5).

Reguły projektowania, zapisane w kolumnach R1–R12, uzyskano poprzez kojarzenie wartości logicznych spełnienia bądź niespełnienia warunków oraz wymaganych działań do realizacji procesu technologicznego obróbki wstępnej. Można zauważyć,



Rys. 4. Drzewo wariantów dla doboru obróbki wstępnej tłoczek siłowników hydraulicznych

Tabela 4. Przykład opracowania tablicy decyzyjnej w projektowaniu obróbki tłoczysk [20]

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
C1	Czy materiałem wejściowym jest pręt walcowany?	T	T	T	T	T	T	N	N	N	N	N	N
C2	Czy materiałem wejściowym jest odkuwka matrycowa?							T	T	T	T	T	T
C3	Czy element wykonany jest ze stali 40H?	T	T	N	N	N	N	T	T	N	N	N	N
C4	Czy element wykonany jest ze stali 35HGS?			T	T	N	N			T	T	N	N
C5	Czy element wykonany jest ze stali węglowej o podwyższonej jakości?					T	T					T	T
C6	Czy stosunek długości całkowitej do maksymalnej średnicy elementu jest większy od 10?	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N	T	N
D1	Cięcie materiału	T	T	T	T	T	T						
D2	Ulepszenie cieplne do twardości 20-25 HRC	T	T					T	T				
D3	Ulepszenie cieplne do twardości 30-35 HRC			T	T					T	T		
D4	Śrutowanie materiału	T	T	T	T			T	T	T	T		
D5	Prostowanie materiału	T		T		T		T		T		T	
D6	Toczenie wstępne powierzchni czołowych	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
EXIT		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

że części warunkowe i działaniowe tych reguł są wieloelementowe. Elementy budowy reguł połączone są operatorami koniunkcji, co upraszcza zapis wiedzy potrzebnej do projektowania procesów technologicznych. Tablica decyzyjna zawiera wiersz EXIT, w którym umieszczono logiczne wartości wyjściowe używane do połączenia z innymi elementami reprezentacji wiedzy. W tym przypadku są to części warunkowe reguł, które są stosowane w doborze stanowisk do konkretnych operacji wybranych na podstawie tablicy decyzyjnej.

#### 4. Wielowartościowe tablice decyzyjne

Klasyczne tablice decyzyjne, zawierające w zbiorze wskaźników warunków kombinacje zerojedynkowe wartości ze zbioru warunków, można bezpośrednio uogólnić na przypadek wielowartościowy poprzez wprowadzenie wartości 0, 1, ..., m-1. Zasadniczy zapis wielowartościowy tablicy decyzyjnej można przedstawić analogicznie jak dla klasycznej decyzyjnej, dlatego też podczas opracowywania takich tablic wykonuje się podobne czynności.

##### 4.1. Zastosowanie wielowartościowej tablicy decyzyjnej w obliczeniach cieplnych zbiornika ożebrowanego

Klasyczna tablica decyzyjna obliczeń zbiornika ożebrowanego (tabela 1) może zostać zapisana jako wielowartościowa, ponieważ występuje pięć typów żeber prostych oraz cztery igłowe. Dla każdego typu żebra przypisana zostaje wartość wskaźnika warunku związanego z wyborem określonego typu żebra. Po wprowadzeniu wielowartościowości wskaźników warunków zmniejsza się liczba warunków tablicy decyzyjnej. Nie wpływa to na zmianę ogólnej struktury algorytmu programu komputerowego, którą dana tablica opisuje. W tabeli 5 przedstawiono zmodyfikowaną postać wielowartościowej tablicy decyzyjnej obliczeń zbiornika ożebrowanego.

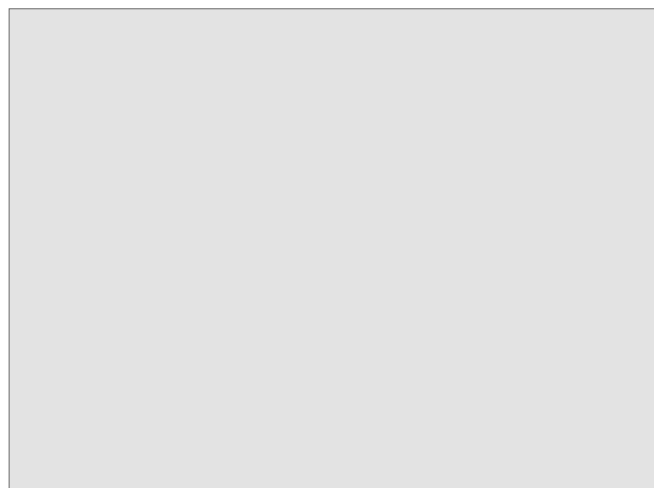
Tabela 5. Przykład wielowartościowego zapisu tablicy decyzyjnej [11]

OK	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR	-	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
PRI	-	1	2	3	4	5	0	-	-	-	-	-	-
IG	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	0
IGJ	-	-	-	-	-	-	-	6	7	8	9	0	-
....	....												

#### 5. Modalne tablice decyzyjne

Wiele działań projektanta w rozwiązywaniu problemów ma charakter przybliżony. To przybliżenie, zwane również niepewnością, rozumie się jako brak pełnej informacji do podjęcia rozpatrywanej decyzji. Opracowanie reprezentacji wiedzy o problemach rozwiązywanych w sposób przybliżony wymaga zastosowania logiki modalnej (zamiast klasycznej logiki

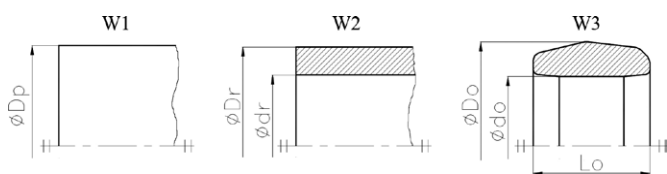
reklama



dwuwartościowej). Logika modalna rozszerza logikę klasyczną i stanowi dział logiki formalnej zajmujący się modalnościami, takimi jak: możliwość, konieczność, niemożliwość i przypadkowość. Tablice decyzyjne, które zawierają elementy bazujące na logice modalnej, nazywane są jako modalne tablice decyzyjne. W opracowaniu elementów tablicy stosowane są funkcje przynależności zbiorów rozmytych oraz stopnie możliwości i konieczności stwierdzeń orzekających o możliwości i pewności wyboru danego wariantu rozwiązania problemu decyzyjnego [18, 19, 20].

**5.1. Opracowanie modalnej tablicy decyzyjnej w projektowaniu półfabrykatów dla produkcji tulei dławnic siłowników hydraulicznych**

Prezentowany przykład budowy modalnej tablicy decyzyjnej dotyczy wyboru wariantu półfabrykatu dla produkcji elementów obrotowo-symetrycznych, jakimi są tuleje dławnic siłowników hydraulicznych. Przyjęte warianty półfabrykatów wraz z charakterystycznymi cechami konstrukcyjnymi, stanowiące pole możliwych rozwiązań w projektowaniu, przedstawiono na rys. 5.



**Rys. 5.** Warianty półfabrykatów dla produkcji tulei dławnic: W1 – pręt walcowany; W2 – rura grubościenna; W3 – odkuwka matrycowa

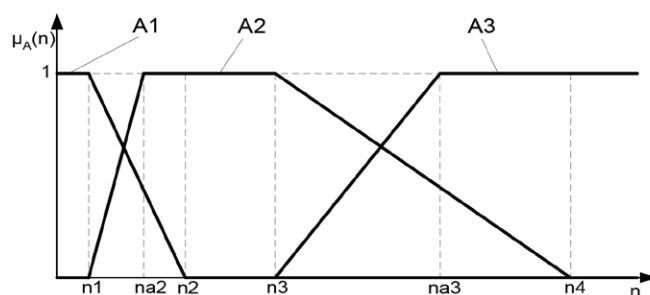
Analiza procesów przygotowania produkcji prowadzi do stwierdzenia, że wybór wariantu półfabrykatu w głównej mierze uzależniony jest od wielkości produkcji określonej liczbą  $n$  produkowanych elementów.

Przyjmując kryterium minimalizacji kosztów produkcji, można zauważyć, że w pewnych przedziałach wielkości produkcji wybór półfabrykatu nie jest jednoznaczny. Zachodzi więc potrzeba wprowadzenia elementów logiki rozmytej w celu określenia stosowności danego wariantu. W tym celu opracowano zbiory rozmyte, przedstawiające wpływ wielkości produkcji tulei dławnic na poszczególne warianty półfabrykatów, a mianowicie [18, 20]:

- zbiór A1 – dla wielkości produkcji dławnicy według wariantu W1;
- zbiór A2 – dla wielkości produkcji dławnicy według wariantu W2;
- zbiór A3 – dla wielkości produkcji dławnicy według wariantu W3.

Każdy ze zbiorów rozmytych został zdefiniowany przez funkcję przynależności  $\mu_A(n)$ , której wartość zależna jest od liczby  $n$  produkowanych elementów. Wykresy funkcji przynależności przedstawiono na rys. 6.

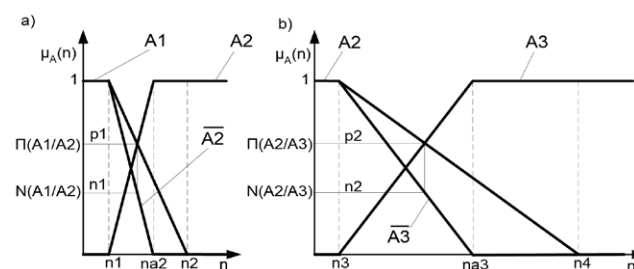
Wartość funkcji przynależności określa przedziały liczbowe charakteryzujące przynależność elementu do zbioru, w tym przypadku liczby produkowanych elementów. Wykresy funkcji



**Rys. 6.** Wykresy funkcji przynależności zbiorów rozmytych wariantów półfabrykatów [20]

$\mu_A(n)$  pozwalają stwierdzić, że dla liczby produkowanych elementów w przedziałach:  $(0; n1>$ ,  $<n2; n3>$  oraz  $<n4; +\infty)$  wartość funkcji  $\mu_A(n)$  wynosi 1, czyli element należy całkowicie do zbioru. Z tego można wnioskować o jednoznaczności wyboru danego półfabrykatu. W przedziałach:  $(n1; n2)$  oraz  $(n3; n4)$  wartość funkcji  $\mu_A(n) < 1$ , czyli przynależność elementu jest częściowa. Półfabrykat nie jest w takim przypadku jednoznacznie określony. Należy więc przyjąć odpowiednie stwierdzenia orzekające o trafności wyboru, które zakładają możliwość i pewność wyboru danego półfabrykatu. Stwierdzenie dotyczy porównania postaci konstrukcyjnej półfabrykatu z postacią konstrukcyjną danej dławnicy. Dla takiego stwierdzenia wyznaczone są wartości stopni możliwości  $\Pi$  i stopni pewności  $N$  trafności wyboru. Na rys. 7 przedstawiono schemat graficznego sposobu wyznaczania wartości tych stopni [18, 19].

Na rys. 7 a widać, że w przedziale  $(n1, n2)$  występują dwa warianty możliwe do wyboru. Przyjęto w tym przypadku, że bardziej preferowany jest wariant W2, wobec tego sformułowano stwierdzenie o możliwości i pewności tego wyboru. Wyznaczono odpowiednie stopnie możliwości i pewności tego stwierdzenia:  $\Pi(A1/A2) = p1$  oraz  $N(A1/A2) = n1$ . W przedziale  $(n3, n4)$  możliwe do wyboru są także dwa warianty, przy czym tutaj preferowany jest wariant W3 (rys. 7 b). Odpowiednie wartości stopni stwierdzenia dla takiego wyboru wynoszą:  $\Pi(A2/A3) = p2$  oraz  $N(A2/A3) = n2$ . Wartości wyznaczonych stopni zostają wprowadzone w częściach warunkowych reguł projektowania. Ogólna budowa tych reguł przedstawia się następująco:



**Rys. 7.** Wyznaczanie wartości stopni możliwości i pewności stwierdzeń dla wyboru: a) wariantu W2; b) wariantu W3

Tabela 6. Przykładowy zbiór stałych lingwistycznych

Nazwa stałej lingwistycznej	Wartości stopni możliwości i pewności stwierdzeń
na pewno tak	<1 1>
prawie tak	<0,7 1>
raczej tak	<0,4 1>
raczej nie	<0 0,6>
prawie nie	<0 0,3>
na pewno nie	<0 0>

**JEŻELI** <liczba produkowanych elementów  $n$   
i <stwierdzenie o możliwości i pewności wyboru wariantu>  
**TO** <zastosować wariant  $W_i$ >

Zapis stwierdzenia w części warunkowej reguły zawiera parę liczb < $n p$ >, gdzie  $n$  jest wartością stopnia pewności, zaś  $p$  – wartością stopnia możliwości stwierdzeń. W celu zbadania, czy dane stwierdzenie jest spełnione, zastosowano tzw. stałe lingwistyczne badania warunku, które także zapisywane są za pomocą pary liczb < $n p$ >. Ma to związek z logiką modalną. Przykładowe wartości stałych lingwistycznych oraz odpowiadające im wartości stopni możliwości i pewności pokazano w tabeli 6. Pary liczb wyznaczonych stopni porównywane są z wartościami stopni dla stałych lingwistycznych i jeżeli mieszczą się w zakresie danej stałej, to wówczas zostaje ona wybrana do zapisu reguły projektowania [19, 20].

Opracowane reguły projektowania zostały wprowadzone do struktury modalnej tablicy decyzyjnej, którą zamieszczono w tabeli 7.

W przedstawionej tablicy część warunkowa reguł projektowania dotycząca stwierdzenia została zapisana w wierszu C6. Występuje tu zapis w postaci pary liczb, takich jak: ( $n1 1$ ), ( $0 p1$ ), ( $n2 1$ ) i ( $0 p2$ ), zawierający wyznaczone wartości stopni możliwości i pewności stwierdzeń. Reguły projektowania zapisano w kolumnach tablicy o symbolach R1–R7. Kolumny R1, R4

i R7 zawierają reguły dokładne, które jednoznacznie wskazują na konkretny wariant półfabrykatu. W kolumnach R2, R3, R5 i R6 zamieszczono reguły projektowania dla wyboru wariantu w warunkach niejednoznaczności. W zależności od konkretnych wartości stopni stwierdzenia reguła, w której zastosowano stałą lingwistyczną wybraną z tab. 6, może zostać zapisana w następujący sposób:

**R5: JEŻELI** liczba produkowanych elementów jest większa od  $n3$  i jest mniejsza od  $n4$  i postać materiału wejściowego powinna być prawie zbliżona do postaci gotowego elementu **TO** dobrać odkuwkę matrycową o wymiarach  $Do$ ,  $do$  i  $Lo$

W tabeli występuje również wiersz EXIT zawierający logiczne wartości wyjściowe, które można połączyć z procedurami ustalania cech konstrukcyjnych półfabrykatów.

## 6. Wnioski

Przedstawione przykłady zastosowania tablic decyzyjnych są algorytmicznym sposobem wykorzystania informacji dla potrzeb komputerowego wspomaganie procesu projektowania. Tablice decyzyjne mogą być stosowane w szerszej klasie zadań projektowych dla bardziej złożonych problemów decyzyjnych (strukturalizacja pozioma i pionowa). Zwiększają tym samym efektywność procedur procesu projektowo-konstrukcyjnego układów m.in. poprzez modułowość, agregację, dekompozycję i formalizację odpowiednich etapów. Odpowiednia interpretacja zbioru wskaźników warunków oraz zbioru wskaźników czynności tablicy decyzyjnej umożliwia zastosowanie jej do opracowania schematów blokowych programów komputerowych, w których można także wykorzystać wzajemną interakcję tablic decyzyjnych w zależności od stopnia złożoności danego zagadnienia projektowego.

Tablice decyzyjne można zastosować w procesie implementacji systemu wspomaganie decyzji. Proces ten jest ukierunkowany na komputerowe przetwarzanie elementów wiedzy i wiąże się z wykorzystaniem i zachowywaniem wiedzy. Struktura wiedzy w postaci reguł projektowania zostaje wprowadzona do bazy wiedzy systemu. W opracowaniu tablic decyzyjnych należy

Tabela 7. Przykład modalnej tablicy decyzyjnej w projektowaniu półfabrykatów dla produkcji tulei dławnic siłowników hydraulicznych [18, 20]

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
C1	Czy liczba produkowanych elementów jest równa lub mniejsza od $n1$ ?	T	N	N	N	N	N	N
C2	Czy liczba produkowanych elementów jest większa od $n1$ i mniejsza od $n2$ ?		T	T	N	N	N	N
C3	Czy liczba produkowanych elementów jest równa lub większa od $n2$ i równa lub mniejsza od $n3$ ?				T	N	N	N
C4	Czy liczba produkowanych elementów jest większa od $n3$ i mniejsza od $n4$ ?					T	T	N
C5	Czy liczba produkowanych elementów jest równa lub większa od $n4$ ?							T
C6	Czy dobierany jest materiał wejściowy o postaci zbliżonej do postaci gotowego elementu?		$n1$ 1	0 $p1$		$n2$ 1	0 $p2$	
D1	Dobrać pręt walcowany o średnicy $D_p$	T		T				
D2	Dobrać rurę grubościenną o średnicy zewnętrznej $D_r$ i średnicy wewnętrznej $d_r$		T		T		T	
D3	Dobrać odkuwkę matrycową o wymiarach $Do$ , $do$ i $Lo$					T		T
EXIT		T	T	T	T	N	T	N




zwrócić uwagę na właściwą kolejność zapisu wierszy i kolumn, gdyż ma to wpływ na kolejność generowania pytań i odpowiedzi do użytkownika w trakcie działania systemu.

Tablice decyzyjne stanowią reprezentację wiedzy o rozwiązującym problemie decyzyjnym. Do podstawowych zalet tej reprezentacji należy możliwość grupowania elementów wiedzy dla wyróżnionych etapów i problemów decyzyjnych. Dzięki temu powstaje możliwość wprowadzenia sieci tablic łączonych wartościami logicznymi. Istotną zaletą jest również to, że w regułach stosowane są operatory koniunkcji, co upraszcza zapis wiedzy.

Podstawą opracowania modalnych tablic decyzyjnych jest prawidłowe zdefiniowanie zbiorów rozmytych oraz odpowiednie wyznaczenie funkcji przynależności dla wybranych wariantów technologicznych. Istotną zaletą takiej reprezentacji wiedzy jest uwzględnienie wielowariantowości oraz przybliżenia rozwiązań problemów decyzyjnych.

### Literatura

- [1] BĄBIŃSKI C., WOLPE M.: *Automatyzacja projektowania*. Arkady, Warszawa 1976.
- [2] BESLER A., KOZIARSKA A., PARTYKA M.A.: *Wybrane zagadnienia minimalizacji funkcji boolowskich w strukturalizacji procesów decyzyjnych*. Studia i Monografie Nr 129, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2001.
- [3] BURGIELSKI B.: *Wykorzystanie tablic decyzyjnych w programowaniu oraz rozwiązywaniu problemów typu projektowego*. „Informatyka” 6/1974.
- [4] CHOLEWA W., KAŹMIERCZAK J.: *Diagnostyka techniczna maszyn*. Skrypt Politechniki Śląskiej Nr 1904, Gliwice 1995.
- [5] DEPTUŁA A., ŁUSZCZYŃSKA R., PARTYKA M.A.: *Zastosowanie graficznych struktur decyzyjnych w metodologii projektowania i zarządzania na przykładzie CAD układów maszynowych*. Studia i Monografie Nr 315, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2012.
- [6] DOMAGAŁA Z., PARTYKA M.A.: *Wykorzystanie tablic decyzyjnych do poszukiwania rozwiązań układów hydraulicznych*. Komunikat Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej Nr 327, Wrocław 1977.
- [7] DUTKIEWICZ L., KUCHARSKA E.: *Metody optymalizacyjne oparte na ogólnym schemacie modelu algebraiczno-logicznego*. „Pomiary – Automatyka – Robotyka” 12/2011.
- [8] KLIMEK T., WINKLER T.: *Komputerowo wspomaganie procesy konstruowania i technicznego przygotowania produkcji suwnic typowych*. „Mechanik” 2/1981.
- [9] KOZIARSKA A., PARTYKA M.A., STANIK-BESLER A.: *Wybrane zagadnienia minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych w strukturalizacji procesów decyzyjnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2005.
- [10] PARTYKA M.A.: *Logika systemów projektowania na przykładzie CAD układów maszynowych*. Studia i Monografie Nr 105, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 1999.
- [11] PARTYKA M.A.: *Metodologia projektowania – wybrane zagadnienia projektowania technicznego*. Skrypt Nr 239, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2001.
- [12] PARTYKA M.A.: *Optymalizacja strukturalna układów złożonych z typowych elementów z wykorzystaniem tablic decyzyjnych*. „Napędy i Sterowanie” 2/2004.
- [13] PARTYKA M.A.: *The application of structural multiple-valued logical decision in knowledge engineering based on example of mechanical systems*. XXXV Symp. Model. in Mech. Wisła 1996, Zesz. Nauk. Kat. Mech. Tech. PŚL. Nr 1, Gliwice 1996.
- [14] PARTYKA M.A., PASZEK A.: *Inżynieria wiedzy w projektowaniu procesów technologicznych cylindrów hydraulicznych*. [w:] *Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne 2012*, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich SIMP, Wrocław 2012.
- [15] PARTYKA M.A., PRUSZYŃSKI M.: *Zastosowanie formalnych modeli decyzji wielowymiarowych w komputerowym wspomaganie procesu innowacji metodą tablic decyzyjnych*. Międzynar. Konfer. Anal. Wart., Instytut Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1978.
- [16] PARTYKA M.A., PRUSZYŃSKI M.: *Zastosowanie tablic decyzyjnych w automatyzacji projektowania na przykładzie obliczeń cieplnych układów hydraulicznych*. VIII Konfer. Zast. Matem. PAN, Dąbki 1979, Instytut Matematyki PAN, Warszawa 1979.
- [17] PASZEK A.: *Opracowanie etapów pozyskiwania wiedzy produkcyjnej dla budowy bazy wiedzy w systemach zarządzania wiedzą* [w:] KNOSALA R. (RED.): *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015.
- [18] PASZEK A., PARTYKA M.A.: *Zastosowanie tablic decyzyjnych w opracowaniu reprezentacji wiedzy technologicznej* [w:] KNOSALA R. (RED.): *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014.
- [19] PASZEK A., WITTBRODT P.: *Application of decision tables in technological knowledge representation*. „Applied Mechanics and Materials” 791/2015.
- [20] TRAJER J., PASZEK A., IWAN S.: *Zarządzanie wiedzą*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
- [21] WINKLER T.: *Komputerowy zapis konstrukcji*. WNT, Warszawa 1989.
- [22] WOJNICKI I.: *Od drzew tablicowych do sieciowych tablic decyzyjnych – ewolucja zmodularyzowanych reprezentacji wiedzy*. „Pomiary – Automatyka – Robotyka” 12/2011.

 prof. dr hab. Marian A. Partyka jest profesorem zwyczajnym na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej; dr inż. Alfred Paszek jest starszym wykładowcą na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej, e-mail: a.paszek@po.opole.pl