

Analiza zmiennej zastępczej w układach automatyki i sterowania z interakcyjnymi parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi

Marian A. Partyka, Agnieszka Tiszbierek

1. Wprowadzenie

W opracowaniu badanym układem automatyki i sterowania jest pompa wirowo-śmigłowa w ruchu turbinowym. W pompie wirowo-śmigłowej głównym elementem konstrukcyjnym jest wirnik śmigłowy. Wpływ na efektywność pracy urządzenia mają w różnym stopniu parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne, takie jak:

- Q – przełyk turbiny;
- H – spad;
- N – moc;
- n – prędkość obrotowa;
- φ – kąt łopatek wirnika.

choć jeszcze istnieje wiele innych parametrów. Dodatkowo warto zauważyć, że zmienne Q , H , N są zmiennymi interakcyjnymi. Oznacza to, że parametry te powinny występować zawsze szeregowo po sobie w trakcie modelowania i obliczeń, w dowolnej kolejności [3].

Otrzymane wyniki, wykorzystywane w dalszych badaniach, są wartościami rzeczywistymi, pobranymi w czasie wykonywania realnych eksperymentów. Wartości te zostały następnie standaryzowane oraz poddane dwukrotnemu kodowaniu. Pierwsze kodowanie zostało przeprowadzone według poniższych kategorii (w odwołaniu do wartości pobranych w czasie badań, zestawionych w tabeli 1):

- $\varphi = 10$ – zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, $\varphi = 13$ – kod 1, $\varphi = 17$ – kod 2, $\varphi = 21$ – kod 3;
- $n = 800$ – zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, $n = 1000$ – kod 1, $n = 1200$ – kod 2, $n = 1400$ – kod 3;
- $Q \in (3; 4]$ – zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, $Q \in (4; 5]$ – kod 1, $Q \in (5; 6]$ – kod 2, $Q \in (6; 7]$ – kod 3, $Q \in (7; 8]$ – kod 4;
- $H \in (4; 5]$ – zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, $H \in (5; 6]$ – kod 1, $H \in (6; 7]$ – kod 2, $H \in (7; 8]$ – kod 3, $H \in (8; 9]$ – kod 4, $H \in (9; 10]$ – kod 5;
- $N \in (1; 2]$ – zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, $N \in (2; 3]$ – kod 1, $N \in (3; 4]$ – kod 2, $N \in (4; 5]$ – kod 3, $N \in (5; 6]$ – kod 4, $N \in (6; 7]$ – kod 5 [2, 3, 5].

Po zastosowaniu pierwszego kodowania otrzymano pierwszą wersję konkretnego zapisu zebranych wartości parametrów. Jednak aby przedstawić zebrane wyniki za pomocą wielowartościowych drzew logicznych możliwie małej złożoności graficznej, należało dokonać drugiego kodowania. Zabieg ten pozwolił na

Streszczenie: Celem opracowania jest przedstawienie konieczności wprowadzenia zmiennej zastępczej w układach automatyki i sterowania z interakcyjnymi parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi. Analiza prowadzonych badań dotyczy optymalizacji sprawności pompy wirowo-śmigłowej. Podano wyznaczenie rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych za pomocą wielowartościowych logicznych drzew decyzyjnych. Wprowadzono zmienną zastępczą o wielowartościowości równej liczbie wszystkich wariantów realizowalnych dla kolejnych wartości pojedynczych parametrów interakcyjnych. W ten sposób zmienna zastępcza zajmuje jedno piętro na wielowartościowym logicznym drzewie decyzyjnym, które powstało z połączenia kilku pięter dla parametrów interakcyjnych.

Słowa kluczowe: zmienna zastępcza, optymalizacja sprawności, pompa wirowo-śmigłowa.

🇬🇧 AN ANALYSIS OF A PROXY VARIABLE IN THE AUTOMATION AND CONTROL SYSTEMS WITH INTERACTION CONSTRUCTION AND EXPLOITATION PARAMETERS

Abstract: The aim of this elaboration is to present the necessity of introducing a proxy variable in the automation and control systems with interaction construction and exploitation parameters. An analysis of the research concerns the optimization of the axial-flow vortex pump efficiency. Indication of the degree of importance of construction and exploitation parameters has been made by means of multi-valued logical decision trees. The proxy variable has been introduced of multivalency equal to the number of all versions realised for subsequent values of single interaction parameters. In this way, a proxy variable occupies one level on the multi-valued logical decision tree which was created as a result of connection of several levels for interaction parameters.

wyciągnięcie pierwszego wniosku mówiącego o tym, że wartością najistotniejszą staje się prędkość obrotowa n . Jednak aby ustalić rangę ważności pozostałych parametrów, należało dokonać kolejnych przekształceń.

Tabela 1. Wyniki wartości parametrów zebrane po dokonaniu serii badań [3, 9]

Lp.	φ	n [1/min]	Q [m ³ /min]	H [m]	N [kW]	η [%]
1	21	800	5,69	4,6	2,3	51,1
2	21	1000	7,77	8,5	5,4	50
3	21	1200	7,97	6,8	4,7	52
4	21	1400	-	-	-	-
5	17	800	5,3	4,7	2,2	52,5
6	17	1000	6,4	5,7	3,2	53,3
7	17	1200	7,15	6,7	4,3	54,9
8	17	1400	7,93	7,9	5,4	52,9
9	13	800	4,63	4,3	1,9	58,8
10	13	1000	5,62	6,5	3,6	61,4
11	13	1200	6,3	7,7	4,9	63,6
12	13	1400	7,03	9,3	6,7	63
13	10	800	3,85	4,5	1,5	52,4
14	10	1000	5,09	7,3	3,5	57
15	10	1200	5,54	8,3	4,5	59,7
16	10	1400	5,79	8,2	4,7	63,1

Tabela 2. Zakodowane wyniki wartości parametrów (pierwsze kodowanie)

Lp.	φ	n	Q	H	N
1	3	0	2	0	1
2	3	1	4	4	4
3	3	2	4	2	3
4	2	0	2	0	1
5	2	1	3	1	2
6	2	2	4	2	3
7	2	3	4	3	4
8	1	0	1	0	0
9	1	1	2	2	2
10	1	2	3	3	3
11	1	3	4	5	5
12	0	0	0	0	0
13	0	1	2	3	2
14	0	2	2	4	3
15	0	3	2	4	3

W ich rezultacie wartości φ oraz n (wcześniej czterowartościowe) przyjęły dwuwartościowość, a parametry Q = 0, 1, 2, 3, 4; H = 0, 1, 2, 3, 4, 5; N = 0, 1, 2, 3, 4, 5, (wcześniej 5- i 6-wartościowe) przekodowano na trójwartościowe. Pozwoliło to na utworzenie mniejszej liczby podprzedziałów dla ustalonych przedziałów liczbowych parametrów. Efekt końcowy kodowania pozwolił na naniesienie wartości zmiennych na wielowartościowe drzewa logiczne, a następnie na uzyskanie czytelnych i odpowiednich wniosków: otrzymuje się mniejszą liczbę gałęzi w poszczególnych wiązkach gałązkowych, ale mimo wszystko nie jest mniejsza dokładność decyzyjna [3].

Tabela 3. Zakodowane wyniki wartości parametrów (drugie kodowanie)

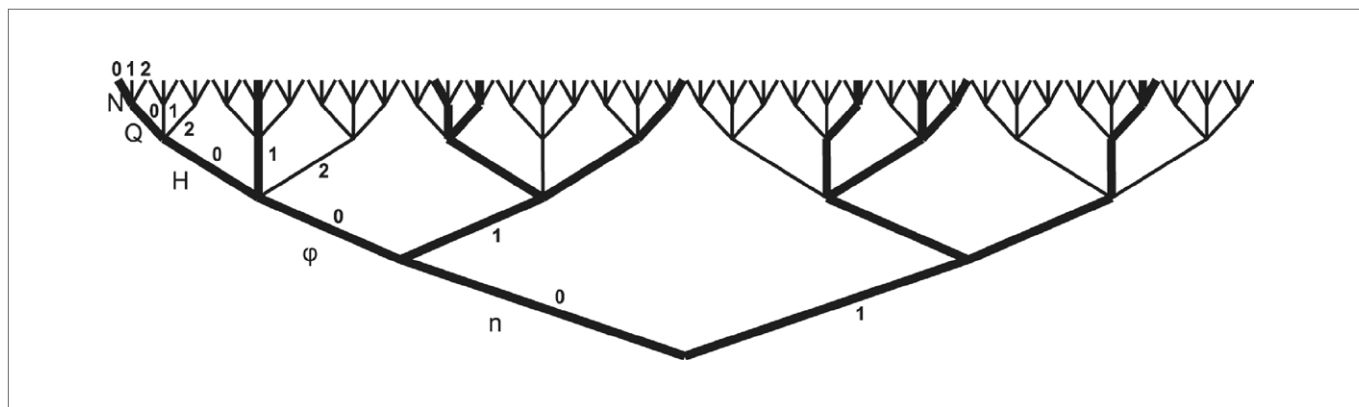
Lp.	φ	n	Q	H	N
1	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0	0	1	1	1
4	1	0	2	0	1
5	0	1	2	1	1
6	0	1	1	2	1
7	1	1	2	1	1
8	1	1	2	1	2
9	1	0	2	2	2
10	0	1	2	2	2

Tabela 4. Tabela liczby gałęzi prawdziwych badanych drzew logicznych [6]

Nr drzewa	Układ parametrów na piętrach drzewa od dolnego piętra	Liczba gałęzi prawdziwych
A.1	n, φ , Q, H, N	32
A.2	n, φ , H, Q, N	32
A.3	n, φ , N, Q, H	35
D.1	n, φ , Q, N, H	33
D.2	n, φ , H, N, Q	33
D.3	n, φ , N, H, Q	35
B.1	φ , n, Q, H, N	32
B.2	φ , n, H, Q, N	32
B.3	φ , n, N, Q, H	35
C.1	φ , n, Q, N, H	33
C.2	φ , n, H, N, Q	33
C.3	φ , n, N, H, Q	35

Kryterium poszukiwania optymalnych pięter zmiennych φ , n, Q, H, N stała się minimalna liczba gałęzi prawdziwych (oznaczonych grubą kreską) w danym drzewie logicznym. Wyniki pracy tego etapu badań zostały przedstawione w tabeli 4. Przeprowadzona analiza wyników wartości parametrów pompy wirowo-śmigłowej jednoznacznie wykazała, że wśród pięciu parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych badanego układu najmniejszy wpływ na pracę urządzenia mają trzy parametry interakcyjne H, Q, N. Wniosek ten wynika z faktu, że drzewami logicznymi z najmniejszą liczbą gałęzi prawdziwych są te, dla których zmienne H, Q, N znajdują się na najwyższych piętrach. Oznacza to, że układami najbardziej korzystnymi są układy, w których jako pierwsze (licząc od dolnych pięter drzewa logicznego) występują zmienne najważniejsze – n oraz φ .

Interakcyjność zmiennych Q, H, N oraz związane z jej występowaniem założenia spowodowały rozważenie wprowadzenia zmiennej zastępczej Z, w skład której wchodziły te parametry. Zabieg ten spowodował niewątpliwą redukcję liczby pięter badanych drzew do trzech oraz ogólnej liczby gałęzi.



Rys. 1. Przykład wielowartościowego drzewa logicznego, utworzonego w czasie badań nad rangą ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych pompy wirowo-śmigłowej

2. Wprowadzenie i analiza zmiennej zastępczej Z układu interakcyjnego parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych

Pierwszy etap prowadzonych badań na przykładzie pompy wirowo-śmigłowej, zakończony przedstawionymi w poprzednim rozdziale wnioskami, pozwolił na zredagowanie kolejnych problemów badawczych. Pierwszym z nich była możliwość wprowadzenia i zastosowania zmiennej zastępczej Z, która zawierała parametry interakcyjne Q, H, N, co z kolei powoduje redukcję liczby pięter oraz liczby zliczanych gałęzi w badanych wielowartościowych drzewach logicznych. Zatem zastosowany zabieg nie tylko pozwala na zachowanie założenia o szeregowym występowaniu zmiennych interakcyjnych, ale także znacznie zmniejsza liczbę możliwych obliczeniowych kombinacji, tzn. znacznie redukuje czas prowadzonych badań oraz poprawia ich jakość.

Sposób zakodowania zmiennej zastępczej bazował na liczbie wszystkich możliwych kombinacji szeregowego występowania zmiennych interakcyjnych Q, H, N. Każda możliwa kombinacja występowania zmiennych interakcyjnych Q, H, N przyjmowała odpowiednią wartość. Wszystkich możliwych kombinacji w badanym układzie było osiem, zatem zmienna zastępcza Z stała się parametrem ośmiowartościowym. Sposób kodowania został przedstawiony w tabeli 5 i wynika z naturalnego uporządkowania drugiego kodowania z tabeli 3, w której istnieje $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ teoretycznych kombinacji, a realizowalnych jest tylko osiem z ewentualnymi powtórzeniami. W każdej sytuacji kodowanie liczbami naturalnymi dla Z odpowiada wybraniu realizowalnych (prawdziwych) wierszy z teoretycznej tablicy kombinacji dla ustalonych kolejności Q, H, N.

Kolejnym etapem przeprowadzanej analizy było opracowanie danych, zebranych we wcześniejszych badaniach z uwzględnieniem zmian spowodowanych wprowadzeniem zmiennej zastępczej oraz jej sposobem kodowania. Opracowane w ten sposób wyniki należało zestawić w odpowiednich tabelach. Dzięki temu zabiegowi łatwiej było prowadzić dalsze badania oraz analizę wyników. Zebrane w tabeli wyniki należało rozrysować za pomocą wielowartościowych drzew logicznych tak, aby każdy układ został przedstawiony na osobnym, odpowiednio wybranym drzewie logicznym. Aby uzyskać dokładne

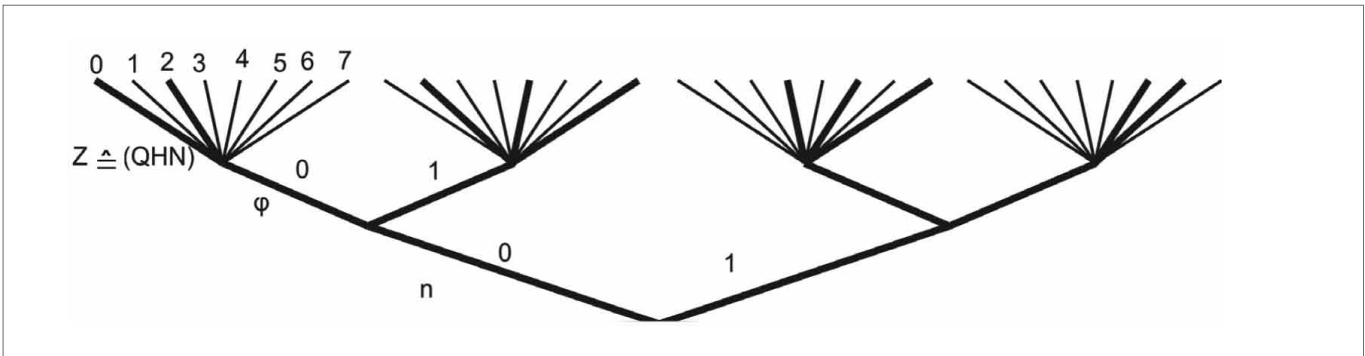
Tabela 5. Tabela przedstawiająca sposób kodowania zmiennej zastępczej Z, wynikający z wartości przyjmowanych przez parametry interakcyjne wchodzące w jej skład [7]

Q	H	N	Z
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	1	2
1	2	1	3
2	0	1	4
2	1	1	5
2	1	2	6
2	2	2	7

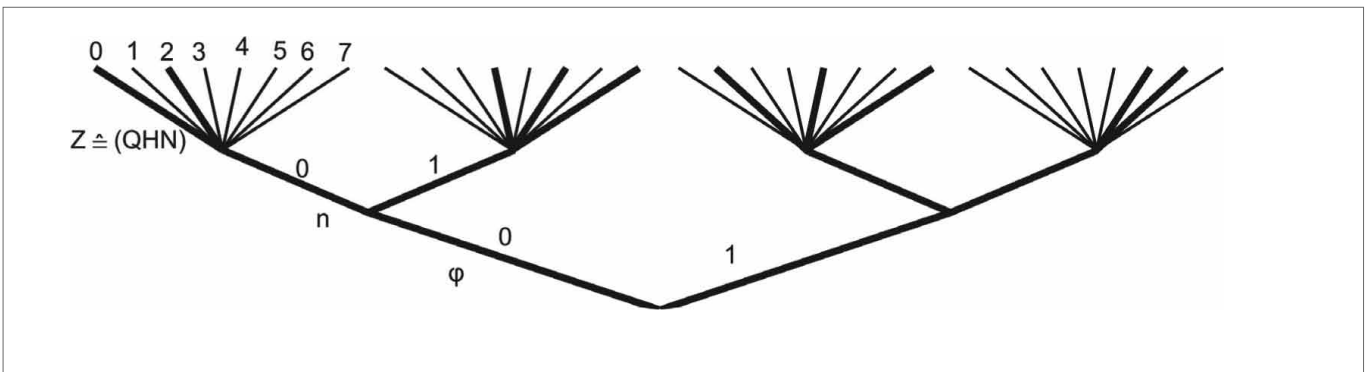
wyniki, zostało rozrysowanych $3! \cdot 3! = (1 \cdot 2 \cdot 3) \cdot (1 \cdot 2 \cdot 3) = 36$ drzew przedstawiających wszystkie możliwe kombinacje ustawienia zmiennych w badanym układzie automatyki i sterowania z możliwymi zamianami także w zmiennej zastępczej. Zabieg ten jednak, jak wykazała dalsza analiza, okazał się zbędny. Kolejność parametrów w zmiennej zastępczej Z nie miała bowiem żadnego wpływu na układ pozostałych parametrów. Dlatego też wśród wszystkich możliwych kombinacji tylko sześć drzew reprezentowało układy różniące się od siebie (z odmienną liczbą gałęzi prawdziwych) [7].

Kolejnym etapem przeprowadzanej analizy było wyliczenie liczby gałęzi prawdziwych dla każdego wielowartościowego drzewa logicznego. Ich zestawienie zostało zebrane i przedstawione w tabeli 6. Następnie należało przeanalizować zebrane wyniki i na ich podstawie określić, który z badanych układów parametrów jest układem optymalnym, a który układem najmniej korzystnym. Parametrem określającym korzystność (bądź jej brak) jest liczba gałęzi prawdziwych. Układy z ich najmniejszą liczbą są układami najkorzystniejszymi, natomiast układy z największą liczbą gałęzi prawdziwych są najmniej korzystne [1].

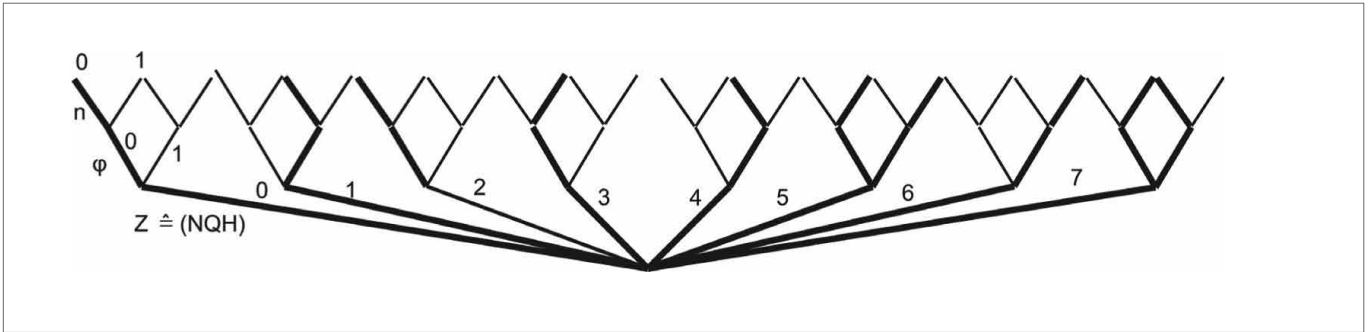
Zebrane w tabeli 7 wyniki dokonanych obliczeń pozwoliły wysnuć istotne wnioski. Po zgrupowaniu drzew logicznych ze względu na układ parametrów w zmiennej zastępczej



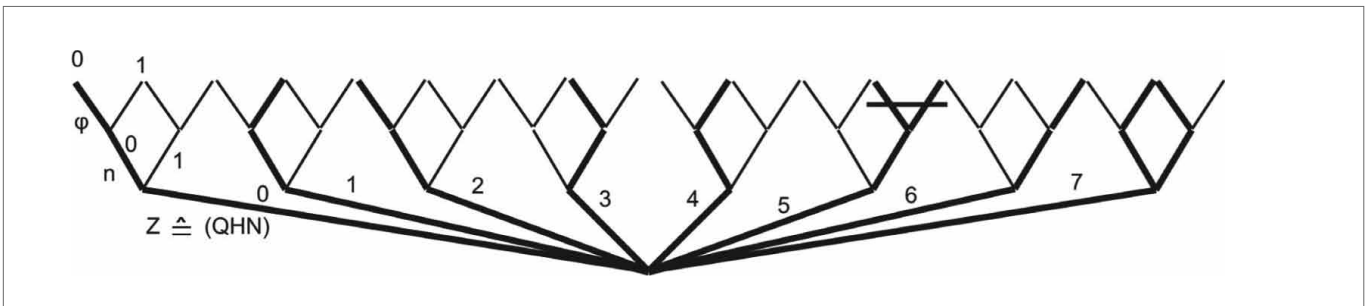
Rys. 2 a. Przykładowe drzewo logiczne z optymalnym układem parametrów - n, φ, Z



Rys. 2 b. Przykładowe drzewo logiczne z optymalnym układem parametrów - φ, n, Z



Rys. 3 a. Przykładowe drzewo logiczne z niekorzystnym układem parametrów - Z, φ, n



Rys. 3 b. Przykładowe drzewo logiczne z niekorzystnym układem parametrów - Z, n, φ

reklama

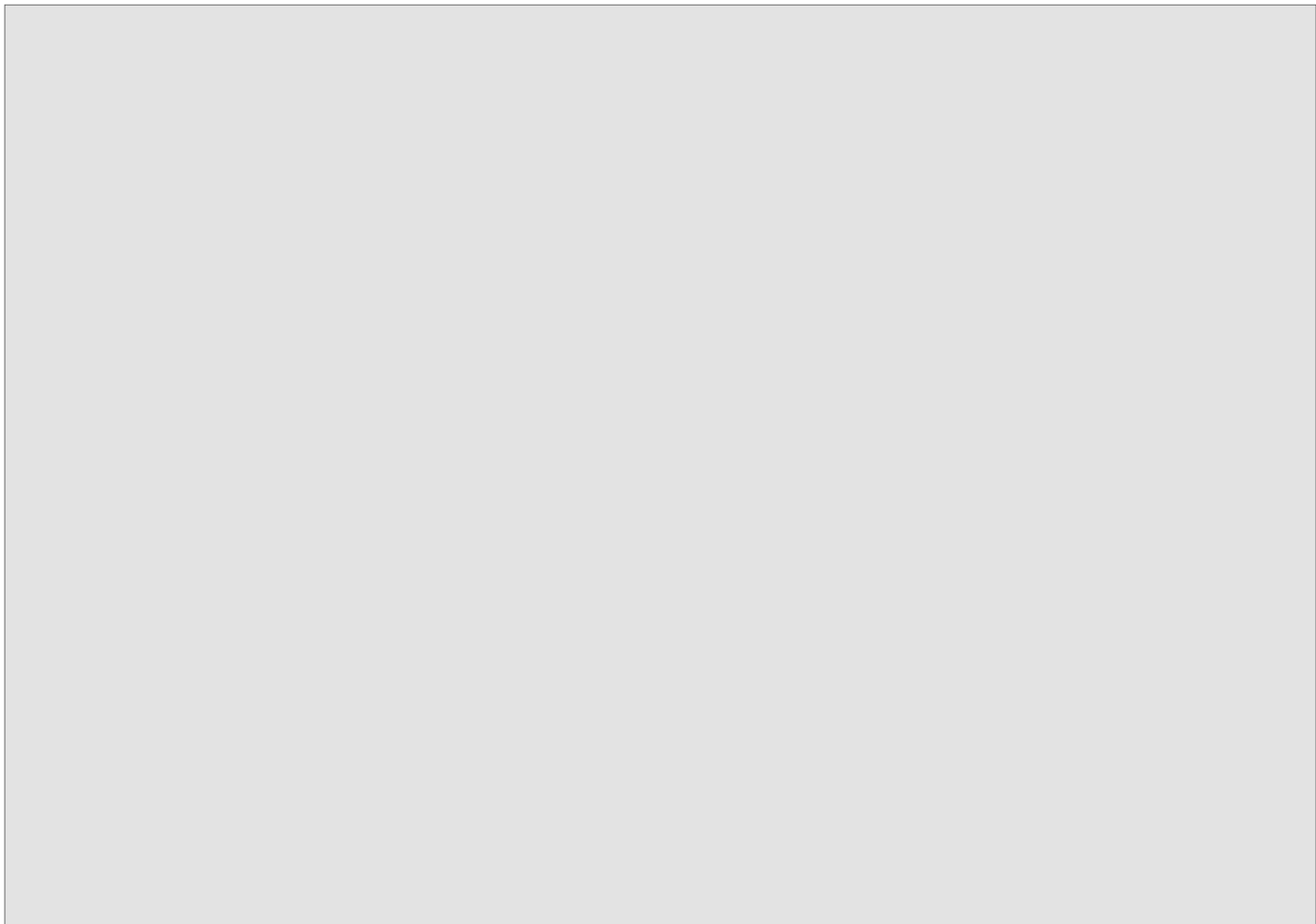


Tabela 6. Uporządkowane i zestawione z pozostałymi parametrami wartości odpowiednio zakodowanej zmiennej zastępczej [7]

a) Tabele ze zmienną Q na dolnym piętrze

Q	H	N	Z	ϕ	n	Q	N	H	Z	ϕ	n
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	2	0	0	1	1	1	2	0	0
1	2	1	3	0	1	1	1	2	3	0	1
2	0	1	4	1	0	2	1	0	4	1	0
2	1	1	5	0(1)	1(1)	2	1	1	5	0(1)	1(1)
2	1	2	6	1	1	2	2	1	6	1	1
2	2	2	7	1(0)	0(1)	2	2	2	7	1(0)	0(1)

b) Tabele ze zmienną H na dolnym piętrze

H	Q	N	Z	ϕ	n	H	N	Q	Z	ϕ	n
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
0	2	1	2	1	0	0	1	2	2	1	0
1	1	1	3	0	0	1	1	1	3	0	0
1	2	1	4	0(1)	1(1)	1	1	2	4	0(1)	1(1)
1	2	2	5	1	1	1	2	2	5	1	1
2	1	1	6	0	1	2	1	1	6	0	1
2	2	2	7	1(0)	0(1)	2	2	2	7	1(0)	0(1)

c) Tabele ze zmienną N na dolnym piętrze

N	H	Q	Z	ϕ	n	N	Q	H	Z	ϕ	n
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
1	0	2	2	1	0	1	1	1	2	0	0
1	1	1	3	0	0	1	1	2	3	0	1
1	1	2	4	0(1)	1(1)	1	2	0	4	1	0
1	2	1	5	0	1	1	2	1	5	0(1)	1(1)
2	1	2	6	1	1	2	2	1	6	1	1
2	2	2	7	1(0)	0(1)	2	2	2	7	1(0)	0(1)

(numeracja A – F, użyta w celu segregacji drzew logicznych zestawionych w tabeli 7), w każdej grupie optymalnym układem okazał się układ parametrów ϕ , n, Z oraz układ parametrów n, ϕ , Z. Takie układy posiadają najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych – 16, natomiast układem najmniej korzystnym okazał się układ Z, ϕ , n (z liczbą gałęzi prawdziwych 28) [5]. Oznacza to, że ϕ oraz n są nadal najważniejszymi parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi, podobnie jak to było przy rozpatrywaniu układu pięciu zmiennych ϕ , n, Q, H, N. Dlatego obecnie zmienna zastępcza Z jest parametrem najmniej ważnym – i to w dodatku zastępczym. Widać to bezpośrednio z teorii logicznych drzew decyzyjnych, w której drzewa optymalne, czyli z najmniejszą liczbą gałęzi prawdziwych, prawidłowo wyznaczają rangę ważności parametrów konstrukcyjnych od najważniejszego na dole do najmniej ważnego na górze.

Ponadto jednoznacznie można stwierdzić, że kolejność parametrów w zmiennej zastępczej Z nie wpływa na optymalizację

Tabela 7. Tabela przedstawiająca liczbę gałęzi prawdziwych wszystkich badanych drzew logicznych (z wyszczególnieniem układów optymalnych – pogrubienie – oraz najmniej korzystnych – kursywa)

Nr drzewa	Układ parametrów wewnątrz zmiennej zastępczej Z	Układ parametrów na gałęziach drzewa wymieniony od dolnego piętra	Liczba gałęzi prawdziwych
A.1	QHN	n, φ, Z	16
A.2		φ, n, Z	16
A.3		Z, φ, n	28
A.4		Z, n, φ	27
A.5		n, Z, φ	21
A.6		φ, Z, n	22
B.1	QNH	n, φ, Z	16
B.2		φ, n, Z	16
B.3		Z, φ, n	28
B.4		Z, n, φ	27
B.5		n, Z, φ	21
B.6		φ, Z, n	22
C.1	HQN	n, φ, Z	16
C.2		φ, n, Z	16
C.3		Z, φ, n	28
C.4		Z, n, φ	27
C.5		n, Z, φ	21
C.6		φ, Z, n	22
D.1	HNQ	n, φ, Z	16
D.2		φ, n, Z	16
D.3		Z, φ, n	28
D.4		Z, n, φ	27
D.5		n, Z, φ	21
D.6		φ, Z, n	22
E.1	NHQ	n, φ, Z	16
E.2		φ, n, Z	16
E.3		Z, φ, n	28
E.4		Z, n, φ	27
E.5		n, Z, φ	21
E.6		φ, Z, n	22
F.1	NQH	n, φ, Z	16
F.2		φ, n, Z	16
F.3		Z, φ, n	28
F.4		Z, n, φ	27
F.5		n, Z, φ	21
F.6		φ, Z, n	22

badanego układu automatyki i sterowania, a analiza wszystkich trzydziestu sześciu drzew logicznych nie była konieczna, tzn. można było przeanalizować jedynie sześć układów. Wniosek ten także potwierdza słuszność i potrzebę użycia zmiennej zastępczej w celu minimalizacji ilości badanych kombinacji.

Jednakowa ranga ważności zmiennych φ oraz n jest jednocześnie najwyższa w badanym układzie, zatem te parametry po-

Tabela 8. Zakodowane wyniki wartości parametrów interakcyjnych wchodzące w skład zmiennej zastępczej Z odpowiednio zgrupowane [8], zgodnie z tabelą 6

A) Tabele ze zmienną Q na dolnym piętrze

A1			A2		
Q	H	N	Q	N	H
0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1
1	2	1	1	1	2
2	0	1	2	1	0
2	1	1	2	1	1
2	1	2	2	2	1
2	2	2	2	2	2

B) Tabele ze zmienną H na dolnym piętrze

B1			B2		
H	Q	N	H	N	Q
0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1
0	2	1	0	1	2
1	1	1	1	1	1
1	2	1	1	1	2
1	2	2	1	2	2
2	1	1	2	1	1
2	2	2	2	2	2

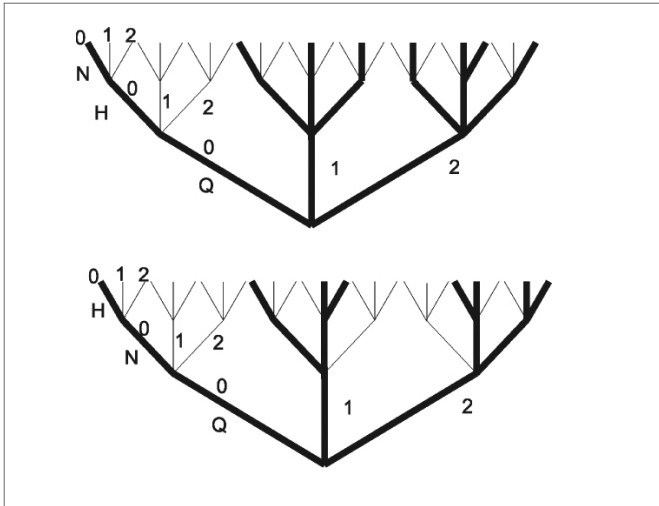
C) Tabele ze zmienną N na dolnym piętrze

C1			C2		
N	H	Q	N	Q	H
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
1	0	2	1	1	1
1	1	1	1	1	2
1	1	2	1	2	0
1	2	1	1	2	1
2	1	2	2	2	1
2	2	2	2	2	2

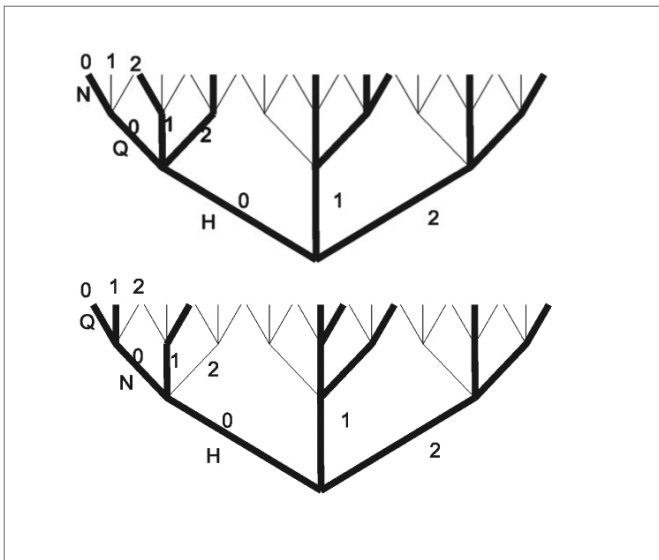
siadają najbardziej znaczący wpływ na jakość pracy badanego układu automatyki i sterowania. Jednak ustalenie, która z nich jest zmienną bardziej istotną, wymaga dodatkowego porównania zmiennych między sobą.

3. Wyznaczanie rangi ważności interakcyjnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych Q, H, N wchodzących w skład zmiennej zastępczej Z

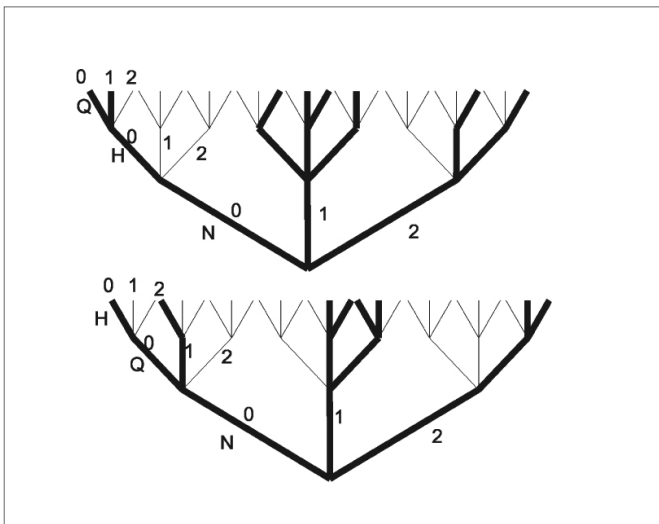
Zakończony etap badań i obliczeń, opisany we wcześniejszym rozdziale, jednoznacznie pozwolił ustalić rangę ważności parametrów pompy wirowo-śmigłowej. Zmienna zastępcza Z jako zmienna o najniższej randze ważności zawsze powinna znajdować się na najwyższym poziomie drzewa logicznego. Zatem kolejnym krokiem stała się analiza układu parametrów interakcyjnych Q, H, N, wchodzących w skład zmiennej zastępczej.



Rys. 4 a. Wielowartościowe drzewa logiczne, w których parametr Q jest na najniższym piętrze drzewa (A.1, A.2 - wg tabeli 8)



Rys. 4 b. Wielowartościowe drzewa logiczne, w których parametr H jest na najniższym piętrze drzewa (B.1, B.2 - wg tabeli 8)



Rys. 4 c. Wielowartościowe drzewa logiczne, w których parametr N jest na najniższym piętrze drzewa (C.1, C.2 - wg tabeli 8)

Tabela 9. Tabela przedstawiająca liczby gałęzi prawdziwych badanych drzew logicznych (z wyszczególnieniem układów optymalnych – pogrubienie – oraz najmniej korzystnych – kursywa)

Nr drzewa	Układ parametrów na gałęziach drzewa wymieniony od dolnego piętra	Liczba gałęzi prawdziwych
A.1	Q, H, N	18
A.2	Q, N, H	16
B.1	<i>H, Q, N</i>	18
B.2	<i>H, N, Q</i>	17
C.1	N, Q, H	16
C.2	<i>N, H, Q</i>	17

Tabela 10. Zestawienie układów optymalnych oraz najmniej korzystnych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych otrzymanych w wyniku badań: z uwzględnieniem oraz bez uwzględnienia zmiennych interakcyjnych [6, 8]

Rodzaj układu	Układ parametrów na gałęziach drzewa wymieniony od dolnego piętra	Liczba gałęzi prawdziwych
Wyniki otrzymane w badaniu rangi ważności parametrów interakcyjnych Q, H, N w oderwaniu od pozostałych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych		
Optimalny	Q, N, H N, Q, H	16
Najbardziej niekorzystny	Q, H, N H, Q, N	18
Wyniki otrzymane w badaniu rangi ważności parametrów interakcyjnych Q, H, N łącznie z pozostałymi parametrami konstrukcyjno-eksploatacyjnymi		
Optimalny	n, φ, Q, H, N n, φ, H, Q, N φ, n, Q, H, N φ, n, H, Q, N	32
Najbardziej niekorzystny	n, φ, N, Q, H n, φ, N, H, Q φ, n, N, Q, H φ, n, N, H, Q	35

Ustalenie odpowiedniej ważności wśród zmiennych interakcyjnych (ich położenie na drzewie decyzyjnym) także jest istotne, bowiem również wpływa na optymalizację układu parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych [8]. Kolejny etap badań został ograniczony do badań i analizy układu trzech zmiennych trójwartościowych (Q, H, N) i dlatego tematem analiz stało się sześć drzew zawierających po trzy piętra. Spośród wszystkich danych zebranych w czasie prowadzenia badań wybrane zostały te wartości, które dotyczyły zmiennych interakcyjnych (pierwotnie zamkniętych w zmiennej zastępczej Z). Wartości te zostały odpowiednio wyselekcjonowane oraz zgrupowane, a następnie zestawione w tabeli 8. Grupowanie odbyło się na podstawie zmiennej znajdującej się na dolnym piętrze drzewa logicznego, podobnie jak poprzednio podczas wprowadzania zmiennej zastępczej Z w tabeli 6. W wyniku podziału można było wyodrębnić trzy grupy, a w skład każdej wchodziły dwie tabele. Następnie należało rozrysować wielowartościowe

drzewa logiczne dla wszystkich możliwych kombinacji układu zmiennych interakcyjnych przedstawionych w tabeli – rys. 4. Ostatnim etapem, podobnie jak w badaniach prowadzonych na całym zestawie zmiennych, było obliczenie liczby gałęzi prawdziwych dla każdego analizowanego drzewa logicznego. Układy optymalne posiadały najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych, natomiast układy najmniej korzystne charakteryzowały się największą ich liczbą [2].

Zebrane wyniki przedstawiające liczbę gałęzi prawdziwych danego drzewa logicznego zostały przedstawione w tabeli 9. Analiza tabeli wynikowej pozwoliła wybrać dwa układy optymalne. Są nimi układy parametrów: Q, N, H oraz N, Q, H. Pierwszym wnioskiem, który można było odczytać, analizując odpowiednio zestawione wyniki, była wartość rangi ważności parametru H. W każdym z optymalnych układów dla Q, H, N znajduje się on na najwyższym piętrze drzewa logicznego, zatem posiada on najmniejszą rangę ważności wśród badanych parametrów. Ponadto warto zauważyć, że zmienna N (w obu najmniej korzystnych układach) znajduje się na najwyższym piętrze badanych drzew logicznych. Wykonane analizy oraz ustalone wnioski dotyczące rang ważności poszczególnych parametrów należało zestawić z wynikami analiz dokonanych wcześniej na całym zestawie parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych Q, H, N, n, φ, opisujących pracę badanego układu. Porównanie otrzymanych efektów oraz wyprowadzonych wniosków opisujących badany układ jednoznacznie pokazało, że wyznaczanie rangi ważności zmiennych interakcyjnych, opisujących parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne w oderwaniu od pozostałych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych może dać częściowo nieprawdziwe wyniki. Badania, których wyniki zostały zestawione w tabeli 4, wykazały inne optymalne układy zmiennych interakcyjnych niż wyniki zestawione w tabeli 9. Zatem nie należy wyznaczać rangi ważności zmiennych interakcyjnych bez udziału pozostałych parametrów układu (tabela 10).

4. Podsumowanie

Wprowadzenie zmiennej zastępczej w układach automatyki i sterowania ze zmiennymi interakcyjnymi jest bardzo korzystnym zabiegiem, ułatwiającym badania i analizy prowadzące do ustalenia optymalnych parametrów ze względu na rangę ważności. Zabieg ten powoduje znaczne zmniejszenie się liczby badanych kombinacji, a także zachowanie szeregowego ułożenia zmiennych interakcyjnych, które powinny występować zawsze po sobie, nierozłączone żadną inną zmienną. Wyniki otrzymane w badaniach wykonanych przy zastosowaniu zmiennej zastępczej dla najważniejszych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych są przeważnie takie same, jak bez jej udziału. Nigdy nie należy ustalać rangi ważności parametrów interakcyjnych w oderwaniu od pozostałych parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych, gdyż taki zabieg może spowodować zakłamanie otrzymanych wyników. Ogólnie można jednak stwierdzić, że uzasadnione wprowadzenie zmiennej zastępczej niesie ze sobą więcej korzyści niż możliwości ewentualnych błędów w wynikach obliczeniowych.

Istnieje możliwość wprowadzenia dalszych modyfikacji oraz uogólnień dla grup zmiennych zastępczych w złożonych układach automatyki i sterowania [4].

Literatura

- [1] KOZIARSKA A.: *Drzewo logiczne w ustalaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych*. XXI Sympozjum Podstaw Konstrukcji Maszyn, Ustroń 2003, Zeszyty Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej 5/8, Bielsko-Biała 2003.
- [2] PARTYKA M.A.: *Algorytm Quine'a-McCluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych*. Studia i Monografie Nr 109, Politechnika Opolska, Opole 1999.
- [3] PARTYKA M.A.: *Optymalizacja dyskretna pompy wirowo-śmigłowej w ruchu turbinowym – zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych*. „Napędy i Sterowanie” 1/2004.
- [4] PARTYKA M.A., DEPTUŁA A., OSIŃSKI P.: *Discrete optimization of a gear pump after tooth root undercutting by means of multi-valued logic trees*. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 13, Issue 4 (2013) pp. 422–431.
- [5] PARTYKA M.A., GRABOWSKI C., SOJKA M.: *Komputerowe wspomaganie oceny rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych układów maszynowych z uwzględnieniem interakcji*. Konferencja Komputerowe Zintegrowane Zarządzanie. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją PTZP, Opole 2009.
- [6] PARTYKA M.A., TISZBIEREK A.: *Drzewiasta analiza interakcyjnych zmiennych decyzyjnych w optymalizacji pompy wirowo-śmigłowej*. XVI Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją PTZP, Opole 2013.
- [7] PARTYKA M.A., TISZBIEREK A.: *Znaczenie zmiennej zastępczej dla układu interakcyjnego parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych w optymalizacji układów maszynowych*. XLII Konferencja Zastosowań Matematyki PAN, Instytut Matematyki PAN, Warszawa 2013.
- [8] TISZBIEREK A.: *Wyznaczanie rangi ważności zmiennych interakcyjnych opisujących parametry konstrukcyjno-eksploatacyjne w układach automatyki i sterowania*. XLII Konferencja Zastosowań Matematyki PAN, Instytut Matematyki PAN, Warszawa 2013.
- [9] ZARZYCKI M., RDUCH J.: *Wyniki badań pompy wirowo-śmigłowej w ruchu turbinowym*. Konferencja Naukowo-Techniczna Transhydro 2001, Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2001.



prof. dr hab. Marian A. Partyka jest profesorem zwyczajnym w Katedrze Inżynierii Wiedzy na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej;
mgr inż. Agnieszka Tiszbierek jest doktorantką na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, a ponadto asystentem w Katedrze Inżynierii Wiedzy na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej,
e-mail kontaktowy: a.tiszbierek@po.opole.pl

artykuł recenzowany