

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE OCENY RANGI WAŻNOŚCI PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNO-EKSPLOATACYJNYCH UKŁADÓW MASZYNOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM INTERAKCJI

Marian A. PARTYKA, Cyprian GRABOWSKI, Marcin SOJKA

Streszczenie: Przedstawiono standaryzację danych pomiarowych. Uzasadniono ograniczone możliwości wnioskowania z danych standaryzowanych dla logicznych drzew decyzyjnych. Wykazano konieczność odpowiedniego wartościowania zmiennych decyzyjnych w badaniach rangi ważności parametrów. Uwzględniono interakcję danych pomiarowych.

Słowa kluczowe: standaryzacja danych pomiarowych, interakcja parametrów, logiczne drzewa decyzyjne.

1. Wstęp

W opracowaniu przedstawiono zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych do badania rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych po uprzedniej standaryzacji danych pomiarowych. Analizę pompy wirowej śmigłowej dla ruchu turbinowego przeprowadzono dla interpolowanych danych pomiarowych celem zwiększenia liczby pomiarów, a ponadto przedstawiono analizę porównawczą z dotychczasowymi przypadkami wielowartościowymi. Wprowadzono zmienną zastępczą dla parametrów interakcyjnych.

2. Badania eksperymentalne pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym

Przedmiotem badań eksperymentalnych była turbina doświadczalna opracowana z wykorzystaniem konstrukcji seryjnie produkowanej pompy wirowej śmigłowej 25P21-2 Warszawskiej Fabryki Pomp i Armatury WAFAPOMP S.A. Badania przeprowadzono dla różnych kątów łopatek wirnika φ [°], prędkości obrotowej n [1/min], przepływu Q [m³/min], mocy N [kW], wysokości H [m] i sprawności η [%]. Wyniki pomiarów podano w tabeli 1.

Dotychczasowe opracowania literaturowe przedstawionej śmigłowej turbiny doświadczalnej wyznaczają φ i n jako najważniejsze parametry w procesie projektowania. W szczególności metoda wielowartościowych drzew logicznych z różnym kodowaniem dla opisu zmian arytmetycznych parametrów była wielokrotnie stosowana [2, 5, 8]. Ponadto może być dodatkowo zastosowana interpolacja danych pomiarowych dla zakresów, w których nie wykonano pomiarów [3].

Tab. 1. Parametry znamionowe śmigłowej turbiny doświadczalnej [11]

Lp.	φ [°]	n [1/min]	Q [m ³ /min]	H [m]	N [kW]	η [%]
1	21	800	5,96	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	17	800	5,3	4,7	2,2	52,5
5	17	1000	6,4	5,7	3,2	53,3
6	17	1200	7,15	6,7	4,3	54,9
7	17	1400	7,93	7,9	5,4	52,9
8	13	800	4,63	4,3	1,9	58,8
9	13	1000	5,62	6,5	3,6	61,4
10	13	1200	6,3	7,7	4,9	63,6
11	13	1400	7,03	9,3	6,7	63
12	10	800	3,85	4,5	1,5	52,4
13	10	1000	5,09	7,3	3,5	57
14	10	1200	5,54	8,3	4,5	59,7
15	10	1400	5,79	8,2	4,7	63,1

3. Standaryzacja danych pomiarowych

Standaryzację przeprowadzono celem udowodnienia, że wielowartościowe drzewa logiczne z ustalonym kodowaniem po standaryzacji także prawidłowo rozpoznają rangę ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych, podobnie jak dawniej było prawidłowe rozpoznanie z tabeli pomiarów pierwotnych bez standaryzacji [5, 8]. Ponadto przeprowadzono standaryzację dla interpolowanych danych pomiarowych, które są rozszerzeniem zbioru pierwotnych danych pomiarowych [3].

Tab. 2. Standaryzowane wartości względem kolumn dla tabeli 1

Lp.	φ	n	Q	H	N	η
1	1,482	-1,249	-0,159	-1,301	-1,087	-1,094
2	1,482	-0,357	1,311	1,077	0,993	-1,322
3	1,482	0,535	1,474	0,041	0,523	-0,908
4	0,516	-1,249	-0,695	-1,240	-1,154	-0,804
5	0,516	-0,357	0,199	-0,630	-0,483	-0,638
6	0,516	0,535	0,808	-0,020	0,255	-0,307
7	0,516	1,427	1,441	0,711	0,993	-0,721
8	-0,451	-1,249	-1,239	-1,484	-1,356	0,501
9	-0,451	-0,357	-0,435	-0,142	-0,215	1,040
10	-0,451	0,535	0,117	0,589	0,658	1,496
11	-0,451	1,427	0,710	1,565	1,866	1,372
12	-1,176	-1,249	-1,872	-1,362	-1,624	-0,825
13	-1,176	-0,357	-0,865	0,346	-0,282	0,128
14	-1,176	0,535	-0,500	0,955	0,389	0,688
15	-1,176	1,427	-0,297	0,894	0,523	1,393

Tab. 3. Standaryzowane wartości względem kolumn dla tabeli 1 z uwzględnieniem interpolacji danych pomiarowych

Lp.	φ	n	Q	H	N	η
1	1,529	-1,418	-0,185	-1,551	-1,278	-1,156
2	1,529	-0,913	0,608	-0,141	-0,119	-1,263
3	1,529	-0,408	1,410	1,199	1,118	-1,392
4	1,529	0,097	1,498	0,564	0,808	-1,177
5	1,529	0,602	1,586	0,000	0,577	-0,962
6	0,541	-1,418	-0,766	-1,481	-1,355	-0,855
7	0,541	-0,913	-0,282	-1,128	-0,969	-0,769
8	0,541	-0,408	0,203	-0,776	-0,583	-0,683
9	0,541	0,097	0,537	-0,423	-0,119	-0,512
10	0,541	0,602	0,863	-0,071	0,267	-0,340
11	0,541	1,107	1,207	0,353	0,654	-0,555
12	0,541	1,612	1,551	0,776	1,118	-0,769
13	-0,446	-1,418	-1,357	-1,763	-1,587	0,497
14	-0,446	-0,913	-0,925	-0,987	-0,892	0,776
15	-0,446	-0,408	-0,485	-0,212	-0,273	1,055
16	-0,446	0,097	-0,185	0,212	0,190	1,291
17	-0,446	0,602	0,115	0,635	0,731	1,527
18	-0,446	1,107	0,432	1,199	1,427	1,463
19	-0,446	1,612	0,758	1,763	2,122	1,398
20	-1,187	-1,418	-2,044	-1,622	-1,896	-0,877
21	-1,187	-0,913	-1,498	-0,635	-1,123	-0,383
22	-1,187	-0,408	-0,951	0,353	-0,351	0,111
23	-1,187	0,097	-0,749	0,705	0,036	0,411
24	-1,187	0,602	-0,555	1,058	0,422	0,690
25	-1,187	1,107	-0,449	0,987	0,499	1,055
26	-1,187	1,612	-0,335	0,987	0,577	1,420

Wartości arytmetyczne dla tabeli 3 można zakodować logicznie z odpowiednimi przedziałami, np. dwuwartościowo:

$$\begin{array}{ll}
 \varphi \in (-1,18; 0,171] - 0; & \varphi \in (0,171; 1,529] - 1; \\
 n \in (-1,41; 0,097] - 0; & n \in (0,097; 1,612] - 1; \\
 Q \in (-2,04; -0,229] - 0; & Q \in (-0,229; 1,586] - 1; \\
 H \in (-1,76; 0] - 0; & H \in (0; 1,763] - 1; \\
 N \in (-1,89; 0,113] - 0; & N \in (0,113; 2,122] - 1.
 \end{array}$$

co prowadzi do tabeli 4, czyli kodowego dwuwartościowego zapisu tabeli 3. Po wykreśleniu powtarzających się wierszy w tabeli 4, otrzymuje się tabelę 5 jako zbiór danych decyzyjnych do dalszej analizy drzewiastej dla rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych.

Tab. 4. Kodowy zapis funkcji logicznej opisującej zakresy zmian parametrów znamionowych śmigłowej turbiny doświadczalnej z uwzględnieniem interpolacji danych pomiarowych

Lp.	φ	n	Q	H	N
1	1	0	1	0	0
2	1	0	1	0	0
3	1	0	1	1	1
4	1	0	1	1	1
5	1	1	1	0	1
6	1	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0
8	1	0	1	0	0
9	1	0	1	0	0
10	1	1	1	0	1
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0
16	0	0	1	1	1
17	0	1	1	1	1
18	0	1	1	1	1
19	0	1	1	1	1
20	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	1	0
23	0	0	0	1	0
24	0	1	0	1	1
25	0	1	0	1	1
26	0	1	0	1	1

W literaturze istnieją przypadki obliczeń z kodowaniem dwuwartościowym dla φ , n, Q, H, N metodą siatkowo-drzewiastą i metodą zmodyfikowanych drzew logicznych [2] bez interpolacji, ale na podstawie standaryzacji. Jednak z powodu subiektywnego wyznaczenia przedziałów i potem kodowania często nie otrzymuje się prawidłowej rangi ważności na podstawie drzew logicznych z minimalną liczbą gałęzi prawdziwych (np.: drzewo logiczne $NnH\varphi Q$ posiada mniej gałęzi prawdziwych niż $\varphi nQHN$ oraz $n\varphi QHN$). Podobnie dwuwartościowa tabela 5 mimo interpolacji i standaryzacji nie zapewnia optymalnego wyznaczenia drzew logicznych dla rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych: drzewa logiczne $\varphi nQHN$, $n\varphi QHN$, $\varphi nHQN$, $n\varphi HQN$ posiadają identyczną liczbę gałęzi 33, ale nie są optymalne.

Tab. 5. Zredukowany kodowy zapis z tabeli 4

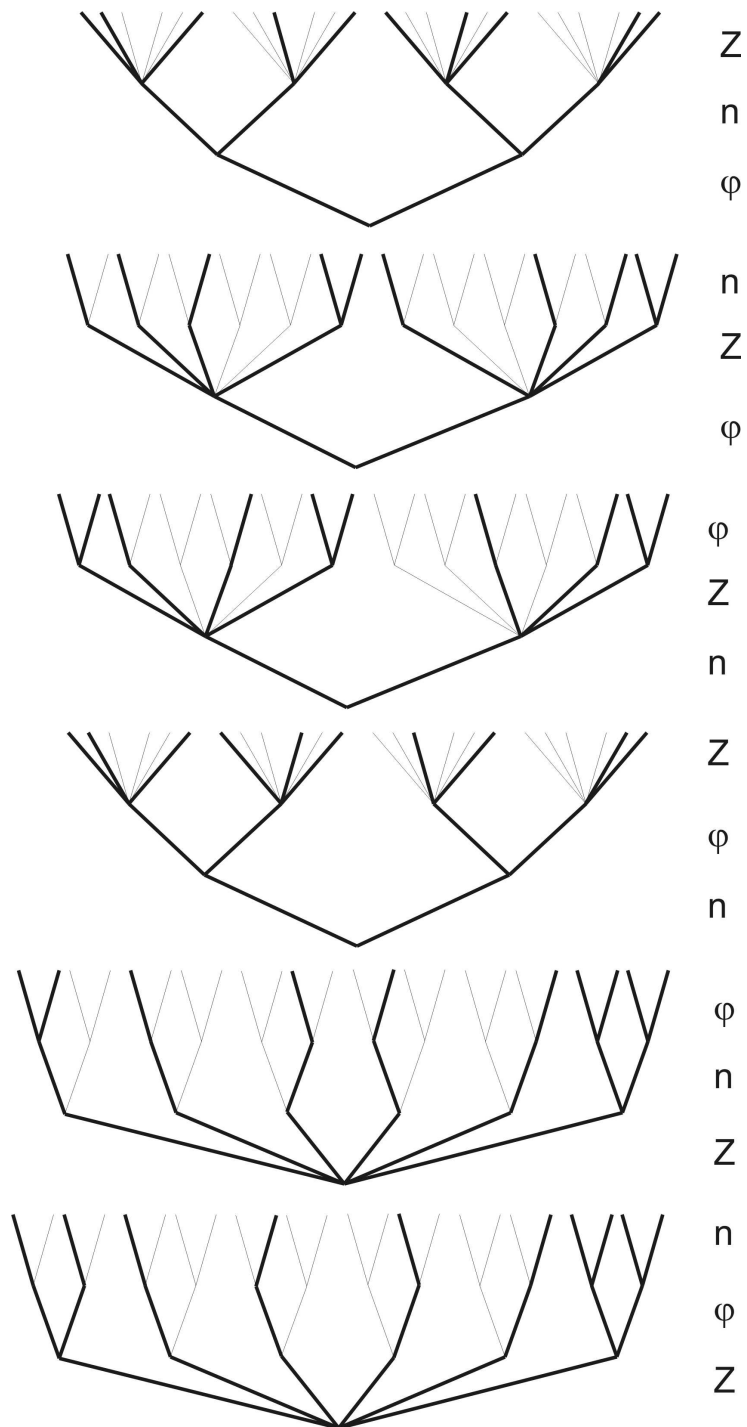
Lp	φ	n	Q	H	N
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	0
4	1	0	1	0	0
5	0	0	1	1	1
6	0	1	0	1	1
7	0	1	1	1	1
8	1	0	1	1	1
9	1	1	1	0	1
10	1	1	1	1	1

Przedstawione rozbieżności w ocenie rangi ważności wynikają zarówno z liczby parametrów mniej ważnych wobec bardziej ważnych, jak również z przyjętego kodowania. W szczególności przyjęcie zbyt małej wartości logicznej dla zmian parametrów mało ważnych, których jest dużo, może zakłócić prawidłową ocenę dla parametrów bardzo ważnych, których jest mało. Bezpośrednie rozbieżności obliczeniowe mogą także wynikać z przyjętych granic podprzedziałów danego przedziału wartości arytmetycznych. Dlatego należy w takiej sytuacji zwiększyć wartość logiczną dla zmian parametrów mało ważnych. Dodatkowo należy zaznaczyć, że zmniejszenie dokładności w ocenie rangi ważności może wynikać także z istniejącej interakcji wśród parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych. Dlatego należy wprowadzić zmienną zastępczą Z.

Komputerowe wspomaganie projektowania oznacza, że obliczenia gałązkowe przeprowadza się na zapisach kodowych wersji realizowalnych, gdyż minimalizacja według algorytmu Quine'a – Mc Cluskeya odpowiada odcinaniu pełnych wiązek gałązkowych z góry na dół w sensie decyzyjnym [4, 6].

4. Interakcja parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych

Zbiór danych pomiarowych często zawiera zmienne, które nie są dosłownie niezależne w sensie funkcyjnym. W takiej sytuacji należy wprowadzić zmienną zastępczą o wielowartościowości równej liczbie wszystkich stanów kombinatorycznych zmiennych interakcyjnych. W rozpatrywanym przykładzie w tabeli 5 zmienne Q, H, N przyjmują stany zerojedynkowe w 10 wierszach, które mogą być zakodowane kolejno binarnie jako układ $\langle 0, 2, 0, 4, 7, 3, 7, 7, 5, 7 \rangle$ i dlatego istnieje izomorficzny układ wielowartościowości zmiennej zastępczej Z: $\langle 0, 1, 0, 3, 5, 2, 5, 5, 4, 5 \rangle$. Dlatego tabela 5 może być przekształcona do nowej tabeli z identycznymi kolumnami dla φ oraz n i z nową kolumną dla układu izomorficznego. Ostatecznie dla takiego układu kodowego parametrów otrzymuje się 6 logicznych drzew decyzyjnych dla φ, n, Z (rys. 1), ale tylko optymalne drzewa φnZ i $n\varphi Z$ opisują prawidłowo rangę ważności parametrów od najważniejszych na dole do najmniej ważnych na górze.



Rys. 11. Wszystkie logiczne drzewa decyzyjne po uwzględnieniu interakcji dla tabeli 5

5. Wnioski

Standaryzacja danych pomiarowych w badaniach rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych może być przydatna niezależnie od istnienia wcześniejszej interpolacji danych pomiarowych. O ile zachowana jest minimalna liczność próbek, to dane pomiarowe standaryzowane i bez standaryzacji wymagają poprawnego określenia wielowartościowości logicznych zmiennych decyzyjnych. Parametry ważne o małej liczności mogą posiadać mniejszą wielowartościowość, o ile parametry mniej ważne o dużej liczności posiadają odpowiednio większą wielowartościowość. Należy odróżniać interakcję parametrów.

Przedstawione postępowanie standaryzacyjne nie jest konieczne w przypadku dużej liczby danych pomiarowych, gdyż teoria wielowartościowych drzew logicznych [4, 6, 7] umożliwia znalezienie rangi ważności bez wcześniejszej standaryzacji i interpolacji. W szczególności można udowodnić, że przedstawione geometryczne struktury decyzyjne potwierdzają wnioski wynikające z badań pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym, które zostały zawarte w [11].

Istnieje możliwość dalszego wprowadzania matematycznych metod klasyfikacji pomiarów z uwzględnieniem różnych metod strukturalizacji ze względu na sens algorytmiczny [1, 4, 6, 8, 9, 10].

Literatura

1. Buchacz A.: Modeling, synthesis and analysis of systems characterized by a cascade structure represented by graphs. *Mech. Math. Theory*, vol. 30, No. 7, Pergamon 1995.
2. Koziarska A., Stanik – Besler A.: Standaryzacja i metody drzewiaste w ustalaniu rangi ważności parametrów układu maszynowego. XXI Konfer. Probl. Rozw. Masz. Robocz., Zakopane 2008.
3. Łuszczyna R., Partyka M. A.: Standaryzacja danych pomiarowych w badaniach rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych układów maszynowych z wykorzystaniem logicznych drzew decyzyjnych, *Górn. Odkryw.* 4-5/2008.
4. Partyka M. A.: Logika systemów projektowania na przykładzie CAD układów maszynowych. St. i Monogr. Nr. 105; Ofic. Wydaw. Polit. Opol.; Opole 1999.
5. Partyka M. A.: Optymalizacja dyskretna pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym – zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych. *Nap. i Sterow.*, Nr 1/2004.
6. Partyka M. A.: The Quine-Mc Cluskey minimization algorithm of individual multiple – valued logical functions for structural classification of informations and its applications for fifth generation computer systems and artificial intelligence. *Inter. Congr. Log. Collog.*, Paris 1985; France; *Jour. Symb. Logic*, vol. 52, No. 1, 1987.
7. Partyka M. A.: The Quine-Mc Cluskey minimization algorithm of multiple – valued partial functions for systems engineering. *Inter. Confer. Syst. Engin.* 1984; University of Dayton; USA.
8. Partyka M. A., Sojka M., Grabowski C.: Analiza drzewiasta rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych – projektowanie na przykładzie pompy wirowej śmigłowej. *Nap. i Sterow.*, Nr 12/2005.
9. Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Ofic. Wydaw. Polit. Wrocław; Wrocław 1999.
10. Wojnarowski J., Margielewicz J.: Modelowanie elektromechanicznych układów

napędowych metodą grafów wiązań. XI Konfer. Rozw. Masz. Robocz., Zakopane 1999.

11. Zarzycki M., Rduch J.: Wyniki badań pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym. Konfer. Nauk.-Techn. TRANSHYDRO 2001; Szklarska Poręba 2001; Wydz. Mech., Wydz. Mech.-Energ. Polit. Wrocł.; Wrocław 2001.

Prof. dr hab. Marian A. PARTYKA
Katedra Przedsiębiorczości i Innowacji
Wyższa Szkoła Zarządzania i Administracji
45-085 Opole, ul. Niedziałkowskiego 18
tel. (0-77) 402-19-00/(1)

Mgr inż. Cyprian GRABOWSKI
Narodowy Bank Polski
Departament Statystyki – Wydział Sprawozdawczości Ostrożnościowej
00-919 Warszawa, ul. Świętokrzyska 11/21
tel./fax.: (0/prefix/22) 59-59-242 / 653-28-60 z dopiskiem “Cyprian Grabowski”
e-mail: Cyprian.Grabowski@nbp.pl lub cypriang@o2.pl

Dr inż. Marcin SOJKA
Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
51-150 Wrocław, ul. Czajkowskiego 109
tel. (0) 505 055 851