

ZARZĄDZANIE PROJEKTAMI NA PRZYKŁADZIE OPTYMALIZACJI POMPY WIROWEJ ŚMIGŁOWEJ W RUCHU TURBINOWYM Z UWZGLĘDNIENIEM INTERPOLACJI DANYCH POMIAROWYCH

Marian A. PARTYKA, Rafał ŁUSZCZYNA, Marcin SOJKA

Streszczenie: Przedstawiono znaczenie interpolacji do danych pomiarowych. Zastosowano logiczne drzewa decyzyjne dla oceny rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Porównano otrzymane wyniki do wyników wcześniejszych (czyli bez interpolacji).

Słowa kluczowe: logiczne drzewa decyzyjne, ranga ważności parametrów, interpolacja danych pomiarowych.

1. Wstęp

W procesie projektowania znalezienie rozwiązania optymalnego można otrzymać metodami optymalizacji ciągłej albo dyskretnej. W szczególności ważne jest badanie rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych.

Dotychczasowe opracowania [1, 2, 3, 4] opisują dostosowanie pomp wirowych śmigłowych do ruchu turbinowego z punktu widzenia doboru kąta łopatek wirnika φ i/lub prędkości obrotowej n przy zachowaniu minimalnej próbki pomiarowej według metod statystycznych. Dlatego w opracowaniu zwiększono liczbę pomiarów poprzez interpolację dla badania rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych z wykorzystaniem wielowartościowych drzew logicznych [1]. Wielowartościowe drzewa logiczne oznaczają graficzny zapis wytycznych projektowania i są oparte na minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych [5, 6].

2. Optymalizacja dyskretna pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym – zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych

W opracowaniu przedstawiono zastosowanie logicznych metod optymalizacji dyskretnej do analizy parametrów pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym. Uwzględniono wyniki badań dla różnych wartości parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych: natężenia przepływu Q , wysokości H , mocy N , sprawności η , prędkości obrotowej n , kąta ustawienia łopatek wirnika φ , wraz z ich wzajemną interpolacją.

Parametry śmigłowej turbiny doświadczalnej, wyznaczone podczas badań [4], przedstawiono w tabeli 1. W zakresie zrealizowanych badań stwierdzono, że najwyższe sprawności niezależnie od prędkości obrotowej uzyskano dla kąta ustawienia łopatek wirnika $\varphi = 13^\circ$.

Tab. 1. Parametry znamionowe śmigłowej turbiny doświadczalnej [2, 3, 4]

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

Z tabeli 1 widać, że badania nie były przeprowadzone dla wartości pomiarowych $\varphi = 21^\circ$ i $n = 1400$, chociaż wszystkie badania są dla zakresu maksymalnej sprawności. Dlatego uwzględniono liniową interpolację sąsiednich wartości danych pomiarowych z tabeli 1 i otrzymano tabelę 2.

Tab. 2. Parametry znamionowe śmigłowej turbiny doświadczalnej (z tabeli 1) z uwzględnieniem interpolacji danych

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	900	6,86	6,6	3,8	50,6
3	21	1000	7,77	8,5	5,4	50,0
4	21	1100	7,87	7,6	5,0	51,0
5	21	1200	7,97	6,8	4,7	52,0
6	17	800	5,30	4,7	2,2	52,5
7	17	900	5,85	5,2	2,7	52,9
8	17	1000	6,40	5,7	3,2	53,3
9	17	1100	6,78	6,2	3,8	54,1
10	17	1200	7,15	6,7	4,3	54,9
11	17	1300	7,54	7,3	4,8	53,9

12	17	1400	7,93	7,9	5,4	52,9
13	13	800	4,63	4,3	1,9	58,8
14	13	900	5,12	5,4	2,8	60,1
15	13	1000	5,62	6,5	3,6	61,4
16	13	1100	5,96	7,1	4,2	62,5
17	13	1200	6,30	7,7	4,9	63,6
18	13	1300	6,66	8,5	5,8	63,3
19	13	1400	7,03	9,3	6,7	63,0
20	10	800	3,85	4,5	1,5	52,4
21	10	900	4,47	5,9	2,5	54,7
22	10	1000	5,09	7,3	3,5	57,0
23	10	1100	5,32	7,8	4,0	58,4
24	10	1200	5,54	8,3	4,5	59,7
25	10	1300	5,66	8,2	4,6	61,4
26	10	1400	5,79	8,2	4,7	63,1

W przypadku, gdy każdy parametr konstrukcyjny i/lub eksploatacyjny, przyjmujący wartości liczbowe z określonego przedziału zostanie oznaczony ustaloną zmienną logiczną dwu – lub wielowartościową, to można przeprowadzić dyskretyzację takich przedziałów liczbowych. Zbiór wszystkich kombinacji liczbowych tworzy drzewo wariantów o liczbie pięter równej liczbie parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych, gdyż w przypadku tradycyjnego drzewa logicznego na pojedynczym piętrze może być tylko jedna zmienna logiczna. Ilość wartości liczbowych danego przedziału oznacza liczbę gałęzi w jednej wiązce gałązkowej, a liczba wszystkich ścieżek z dołu do góry drzewa logicznego odpowiada dokładnie liczbie wszystkich kombinacji wartości dyskretnych rozpatrywanych przedziałów [2, 3].

Jeżeli wszystkie ścieżki tradycyjnego drzewa logicznego oznaczają zbiór wszystkich wariantów teoretycznych procesu optymalizacji dyskretniej, to należy wyodrębnić tylko warianty prawdziwe, czyli realizowalne, tzn. spełniające wymagania optymalizacyjne [2].

Jeśli w drzewach logicznych będzie obliczana liczba gałęzi prawdziwych danego zagadnienia optymalizacji dyskretniej z możliwością zamiany pięter ze zmiennymi logicznymi, przypisanymi konkretnym parametrom konstrukcyjnym i/lub eksploatacyjnym, to tylko drzewa logiczne z najmniejszą liczbą gałęzi prawdziwych opisują jednocześnie rangę ważności takich parametrów od najważniejszego na dole do najmniej ważnego na górze. W przypadku istnienia kilku drzew z najmniejszą liczbą gałęzi prawdziwych należy takie drzewa traktować równoprawnie [2]. Upraszczanie drzew dokonuje się z góry na dół jako wykreślanie pełnych wiązek gałązkowych. Nie mogą także występować gałązki izolowane.

Tradycyjne drzewa logiczne z najmniejszą liczbą gałęzi nazywają się optymalne i stanowią konstrukcyjne wytyczne dla projektanta w sensie rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych. Oznacza to, że nawet mała zmiana wartości liczbowej arytmetycznej ważnego parametru może spowodować radykalną zmianę (dobrą lub złą) w zachowaniu się badanego układu maszynowego, natomiast nawet duże zmiany

wartości liczbowych mało ważnych parametrów nie powodują dużych zmian w zachowaniu się badanego układu [2, 3, 5].

W opracowaniu zakresy przedziałów poszczególnych parametrów konstrukcyjno – eksploatacyjnych można opisać zmiennymi logicznymi w następujący sposób:

- jeśli $\varphi = 10^\circ, 13^\circ$, to zmienna logiczna przyjmuje wartość 0, natomiast dla $\varphi = 17^\circ, 21^\circ$ jest kod 1,
- jeśli $n = 800, 900, 1000, 1100$, to kod 0, natomiast dla $n = 1200, 1300, 1400$ jest kod 1,
- jeśli $Q \in (3; 5,62]$, to kod 0, $Q \in (5,62; 6,66]$ – kod 1, $Q \in (6,66; 8]$ – kod 2,
- jeśli $H \in (4; 6,2]$, to kod 0, $H \in (6,2; 7,6]$ – kod 1, $H \in (7,6; 10]$ – kod 2,
- jeśli $N \in (1; 3,5]$, to kod 0, $N \in (3,5; 4,6]$ – kod 1, $N \in (4,6; 7]$ – kod 2.

Taki sposób kodowania prowadzi do tabeli 3.

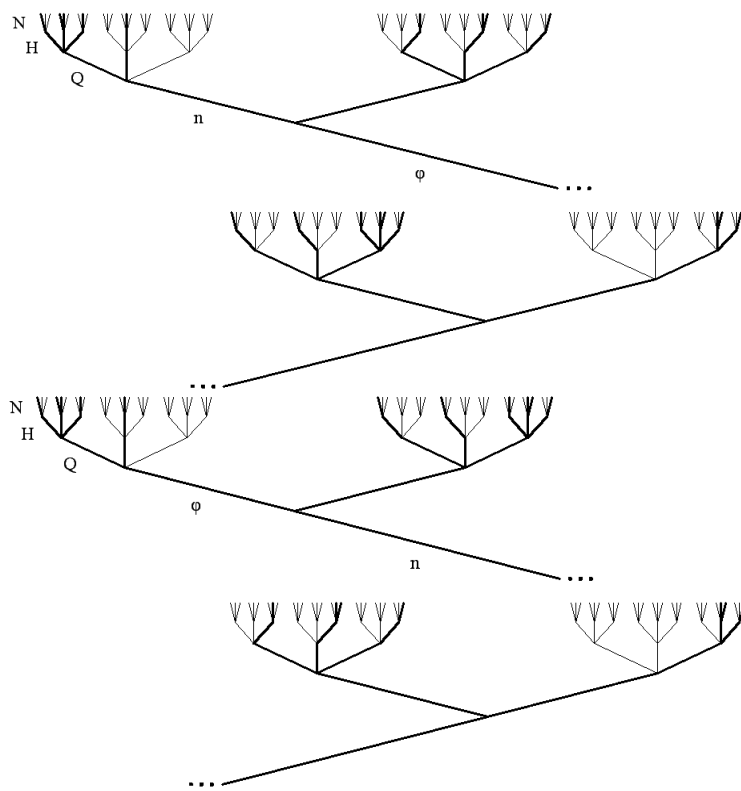
Tab. 3. Kodowy zapis opisujący parametry znamionowe śmigłowej turbiny doświadczalnej z uwzględnieniem interpolacji danych pomiarowych

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

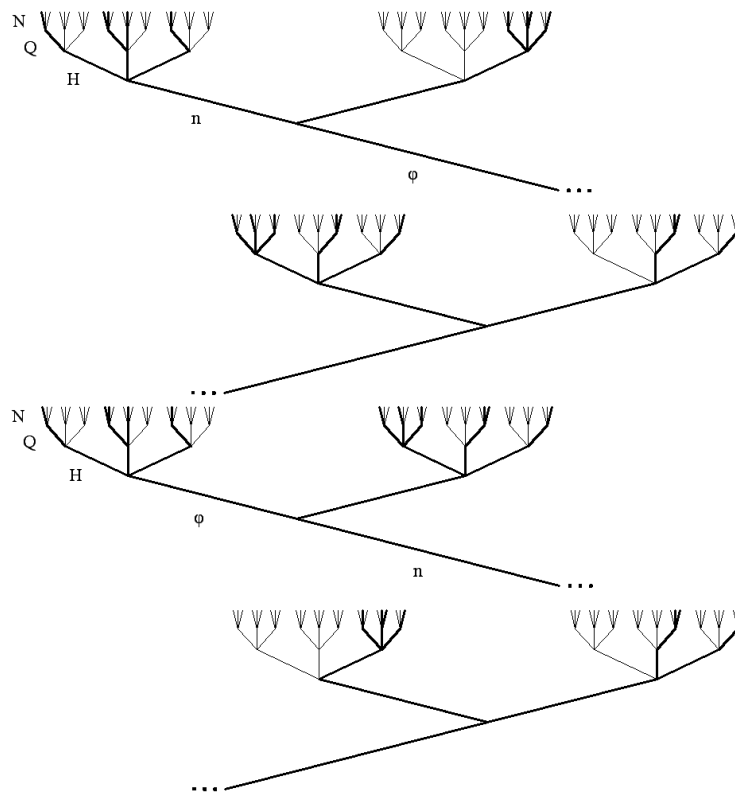
W szczególności dla tabeli 3 można wprowadzić zmienną zastępczą Z, która opisuje realizowalne decyzyjnie kombinacje parametrów Q, H, N z istniejącą interakcją, co

proceeds to optimal 3 – level logical decision trees φ, n, Z and n, φ, Z with minimal number of branches 24, where for Z there exist isomorphic sets: $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\} = \{000, 010, 011, 021, 100, 111, 121, 122, 201, 211, 212, 222\}$.

In fig. 1 are presented multi-valued logical trees for the order of levels $\varphi n Q H N$ and $n \varphi Q H N$ and number of branches 47. It indicates that the construction and/or operational parameters φ, n are more important than Q, H, N . Because parameters Q, H, N are interactively, they do not deserve the name of independent variables and therefore they should be one substitutive variable. Therefore additionally in fig. 2 are presented multi-valued logical trees for the order of levels $\varphi n H Q N$ and $n \varphi H Q N$ and number of branches 47, which also confirm the highest rank of importance for φ, n .



Rys. 1. Wielowartościowe drzewa logiczne dla układów: $\varphi n Q H N$ i $n \varphi Q H N$



Rys. 2. Wielowartościowe drzewa logiczne dla układów: $\phi nHQN$ i $n\phi HQN$

3. Analiza dokładności

Opracowanie jest uogólnieniem dla logicznych drzew decyzyjnych, które są znane w literaturze dla badania rangi ważności parametrów śmigłowej turbiny doświadczalnej [2, 3] na podstawie tabeli 1, czyli bez interpolacji danych pomiarowych. Dla identycznego wartościowania zmiennych decyzyjnych otrzymano dawniej optymalne wielowartościowe drzewa logiczne o liczbie gałęzi 32: $\phi nQHN$, $n\phi QHN$, $\phi nHQN$, $n\phi HQN$. W ten sposób potwierdzono dużą rangę ważności dla ϕ , n wobec Q , H , N , gdyż tabela kombinacji wartości logicznych bez interpolacji dla tabeli 1 była przedstawiona jako tabela 4 [2].

Tab. 4. Wielowartościowa tabela kombinacji dla parametrów śmigłowej turbiny doświadczalnej z tab. 1

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

4. Wnioski

Zastosowanie interpolacji danych pomiarowych umożliwia potwierdzenie wyników, które poprzednio zostały otrzymane z małej liczby pomiarów, chociaż zgodnie z minimalną liczebnością próbki. W przypadkach bardziej złożonych należy oczekiwać większej dokładności rozpoznania optymalnych wielowartościowych drzew logicznych dla rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych.

Geometryczne struktury decyzyjne typu wielowartościowe drzewa logiczne potwierdzają wnioski wynikające z badań pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym, które zostały zawarte w [4]. Taka sytuacja jest prawdziwa dla tabeli pierwotnych danych pomiarowych i dla tabeli z interpolacją pierwotnych danych pomiarowych.

Istnieje możliwość wprowadzania dalszych modyfikacji, np.: z uwzględnieniem standaryzacji, a także różnych metod strukturalnych ze względu na sens algorytmiczny [6, 7, 8, 9, 10]. W szczególności dla parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych wprowadzenie zmiennej zastępczej potwierdza rangę ważności.

Literatura

1. Łuszczyna R.: Ranga ważności parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym z uwzględnieniem interpolacji danych pomiarowych. Pr. dypl., Wydz. Mech. Polit. Opol., Opole 2007.
2. Partyka M. A.: Optymalizacja dyskretna pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym – zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych. Nap. i Sterow., Nr 1, 2004.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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, 1984.
7. 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.
8. Rusiński E.: Zasady projektowania konstrukcji nośnych pojazdów samochodowych. Ofic. Wydaw. Polit. Wrocł., Wrocław 2002.

9. Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Ofic. Wydaw. Polit. Wrocł., Wrocław 1999.
10. Wojnarowski J., Margielewicz J.: Modelowanie elektromechanicznych układów napędowych metodą grafów wiązań. XI Konfer. Rozw. Masz. Robocz., Zakopane 1999.

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. Rafał ŁUSZCZYNA
Wydział Mechaniczny
Politechnika Opolska
45-233 Opole, ul. Mikołajczyka 5
tel.: (0-77) 400 61 34

Dr inż. Marcin SOJKA
Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
51-150 Wrocław, ul. Czajkowskiego 109
tel.: 0505 05 58 51
e-mail: m.d.sojka@interia.pl