

DRZEWIASTA ANALIZA INTERAKCYJNYCH ZMIENNYCH DECYZYJNYCH W OPTYMALIZACJI POMPY WIROWO- ŚMIGŁOWEJ

Marian A. PARTYKA, Agnieszka TISZBIEREK

Streszczenie: Opracowanie opisuje współczesne metody zastosowania wielowartościowych drzew logicznych w optymalizacji pracy pompy wirowo-śmigłowej. Głównym tematem jest odpowiedni dobór układu zmiennych, dzięki któremu praca badanych urządzeń osiągnie najwyższą jakość. Zadaniem opracowania jest omówienie przeprowadzonych badań, w których była obserwacja zależności między parametrami opisującymi wydajność pracy pompy wirowo-śmigłowej. Podano ustalenie kolejności grupowania badanych parametrów przy pomocy wielowartościowych drzew logicznych.

Słowa kluczowe: wielowartościowe drzewa logiczne, optymalizacja, pompa wirowo-śmigłowa, parametry konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne, interakcja zmiennych decyzyjnych.

1. Wprowadzenie

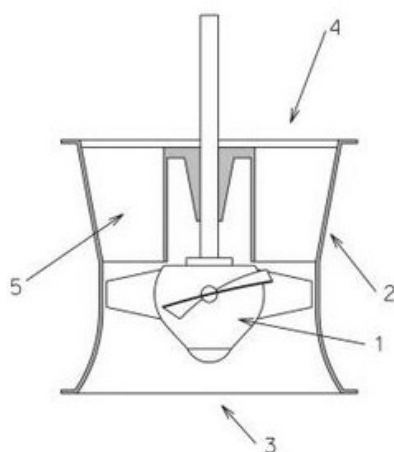
Pompa śmigłowa jest rodzajem pompy wirowej krętej posiadającej wirnik śmigłowy. Śmigłowy wirnik (1) na Rys.1, niekiedy posiadający łopatki o regulowanym nachyleniu, jest umieszczony w osiowym korpusie (2) na Rys.1. W pompie śmigłowej dopływ (3) na Rys.1, odpływ (4) na Rys.1 oraz przepływ cieczy przez wirnik jest osiowy. Ciecz opuszczająca wirnik trafia do kierownicy łopatkowej (5) na Rys.1 i tam jej moment pędu zamieniany jest w energię ciśnienia. Pompy śmigłowe pracują niemal zawsze wyłącznie w położeniu pionowym i osiągają niewielką wysokość podnoszenia. Jest to przeważnie wartość poniżej 12 m. Ogromnym plusem tych mechanizmów jest niewątpliwie osiągnięcie bardzo wysokich wydajności. Dochodzą one bowiem nawet do 40,000 m³/h. Natomiast sprawność energetyczna pompy śmigłowej znajduje się w zakresie od $\eta=0,80$ do $\eta=0,90$. Opisywane pompy stosowane są przeważnie w instalacjach przemysłowych oraz energetycznych. Głównym miejscem ich zastosowań są elektrownie (pompy wirowo-śmigłowe w ruchu turbinowym obecnie główne zastosowanie znajdują w małych elektrowniach wodnych). W momencie wykorzystania pomp seryjnie produkowanych do pracy turbinowej budowanie elektrowni stało się procesem tańszym i szybszym w realizacji. Spowodowało to możliwość realizacji nowych inwestycji, a co za tym idzie ma ogromny wpływ na gospodarkę energetyczną. Dlatego też kwestia badań pozwalających na opracowanie najefektywniejszego układu parametrów tych urządzeń jest sprawą tak istotną i ważną.

1.1. Opis budowy modelu pompy wirowo-śmigłowej w ruchu turbinowym wykorzystanej w badaniach

Prace badawcze, z wyników których korzystano przy przeprowadzaniu dalszych badań i

analiz dotyczących optymalnego układu parametrów, przeprowadzone zostały na modelowej turbinie doświadczalnej (zaprojektowana i wykonana z wykorzystaniem elementów konstrukcyjnych seryjnie produkowanej pompy wirowej śmigłowej 25P21-2 Warszawskiej Fabryki Pomp i Armatury WAFAPOMP SA) [5,6,7,8,9]. Charakterystycznymi wielkościami fizycznymi, wpływającymi na efektywność pracy urządzenia są:

- Q – opisująca przepływ turbiny,
- H – symbolizująca spad,
- N – opisująca moc,
- η – opisująca sprawność,
- n – opisująca prędkość obrotową,
- φ – opisująca kąt ustawienia łopatek wirnika



Rys. 1. Budowa pompy śmigłowej

Przy budowie turbiny modelowej z pompy standardowej wykorzystano wirnik, część kadłuba pompy z kierownicą oraz kołpak (opływkę wirnika). Do wirnika woda dopływa przez króciec dopływowy związany z krzywakiem. Kolejnym etapem był przepływ przez kierownicę (posiadającą dziewięć łopatek odlanych razem z kadłubem). Górną część krzywaka zajmuje dławnica ze szczelivem miękkim (sznurowym), poprzez którą wyprowadzany jest wał turbiny. Natomiast wirnik turbiny wodnej śmigłowej składa się z piasty, czterech łopatek oraz kołpaka. Do dolnego obszaru woda odpływa przez lej. Pionowy wał turbiny śmigłowej jest sprzężony za pomocą sprzęgła z momentomierzem w swojej górnej części. Natomiast z pompą zębatą sprzęża go sprzęgło. Kolejny element układu - wał turbiny śmigłowej - został ułożyskowany w łożysku ślizgowym szyjowym, który znajduje się w kadłubie, a także w łożysku tocznym kulkowym jednorzędowym skośnym. Łożysko ślizgowe spełnia zarazem rolę łożyska przyjmującego napór wzdłużny oraz masę zespołu wirującego. Znajduje się ono na płycie wsporczej i jest osłonięte od góry pokrywą. Pompa zębata natomiast zamontowana jest na wsporniku znajdującym się na krzywaku [9]. Znając budowę modelu można powiązać opisujące jego pracę charakterystyczne wielkości oraz elementy odpowiedzialne za wartości, jakie one w danym momencie posiadają. Przykładowo spad H obliczony jest na podstawie pomiaru ciśnień w przekroju króćca dopływowego i leja odpływowego. Należy także uwzględnić wysokości położenia przekrojów pomiaru ciśnień oraz zmian energii prędkości w tych przekrojach. Kolejna wartość to moc N . Jest ona

wyznaczona poprzez mierzenie momentu obrotowego M momentomierzem indukcyjnym i prędkości obrotowej n obrotomierzem cyfrowym. Aby można było obliczyć sprawność η turbiny, należy znać moc na wale N i moc doprowadzonej cieczy, a następnie obliczyć ich iloraz.

1.2. Przekształcenia wyników badań i pomiarów

Na opisanym modelu zostały przeprowadzone liczne próby (związane ze zmianą danego parametru) i na ich podstawie można zauważyć już zależności dotyczące odpowiedniego układu zmiennych charakterystycznych dla badanego urządzenia. Jednak dopiero po opisaniu otrzymanych parametrów (pomijając wiersz 4 z Tab.1. – racji braku obliczeń parametru opisującego sprawność) zmiennymi logicznymi otrzymuje się możliwość dalszych badań. Aby przeprowadzić powyższą czynność należy zastosować następujący sposób kodowania:

- $\varphi = 10$ - 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 [1,2,3].

Zastosowanie kodowania doprowadziło do konkretnego zapisu zebranych wyników za pomocą wielowartościowej funkcji logicznej. Aby osiągnąć zamierzony cel – pozwalający na zapisanie zmiennych za pomocą wielowartościowych drzew logicznych należało (po zastosowaniu niezbędnych definicji i twierdzeń) dokonać następujących przekształceń. W ich wyniku można było zauważyć, że wartością najistotniejszą staje się prędkość obrotowa n i to właśnie ona powinna być na samym dole drzewa logicznego. Oznacza to zatem, że odpowiedni dobór tego właśnie parametru ma ogromny wpływ na jakość pracy pompy-wirowo śmigłowej w ruchu turbinowym. Jednak trudno na podstawie uzyskanych przekształceń ocenić rangę pozostałych wartości. W celu ustalenia tej informacji należało dokonać kolejnego zakodowania wartości w taki sposób, aby po naniesieniu ich na wielowartościowe drzewa logiczne uzyskać jasny i wyraźny efekt pracy, pozwalający na wyciągnięcie odpowiednich wniosków. Zatem wartości $\varphi = 0,1,2,3$; $n = 0,1,2,3$; $Q = 0,1,2,3,4$; $H = 0,1,2,3,4,5$; $N = 0,1,2,3,4,5$, należało przekodować na inne wielowartościowości $\varphi = 0,1$; $n = 0,1$; $Q, H, N = 0,1,2$ [1].

Dzięki temu zaznacza się, że przewidywane są mniejsze liczby podprzedziałów dla ustalonych przedziałów liczbowych parametrów.

Po dokonanych przekształceniach uzyskane zostały wartości, na podstawie których można potem ustalić rangę ważności poszczególnych parametrów oraz kolejność ich występowania. Następnie zostały przeprowadzone badania (poprzez naniesienie otrzymanych wartości na wielowartościowe drzewa logiczne) ustalające najbardziej optymalne wielowartościowe drzewa logiczne (drzewa, w których odpowiedni układ parametrów na danych piętrach pozwala uzyskać najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych – oznaczonych grubszą kreską).

Tab. 1. Wyniki wartości parametrów zebrane po dokonaniu serii badań [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

Tab. 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

Tab. 3. Zakodowane wyniki wartości parametrów (drugie kodowanie)

φ	n	Q	H	N
0	0	0	0	0
1	0	1	0	0
0	0	1	1	1
1	0	2	0	1
0	1	2	1	1
0	1	1	2	1
1	1	2	1	1

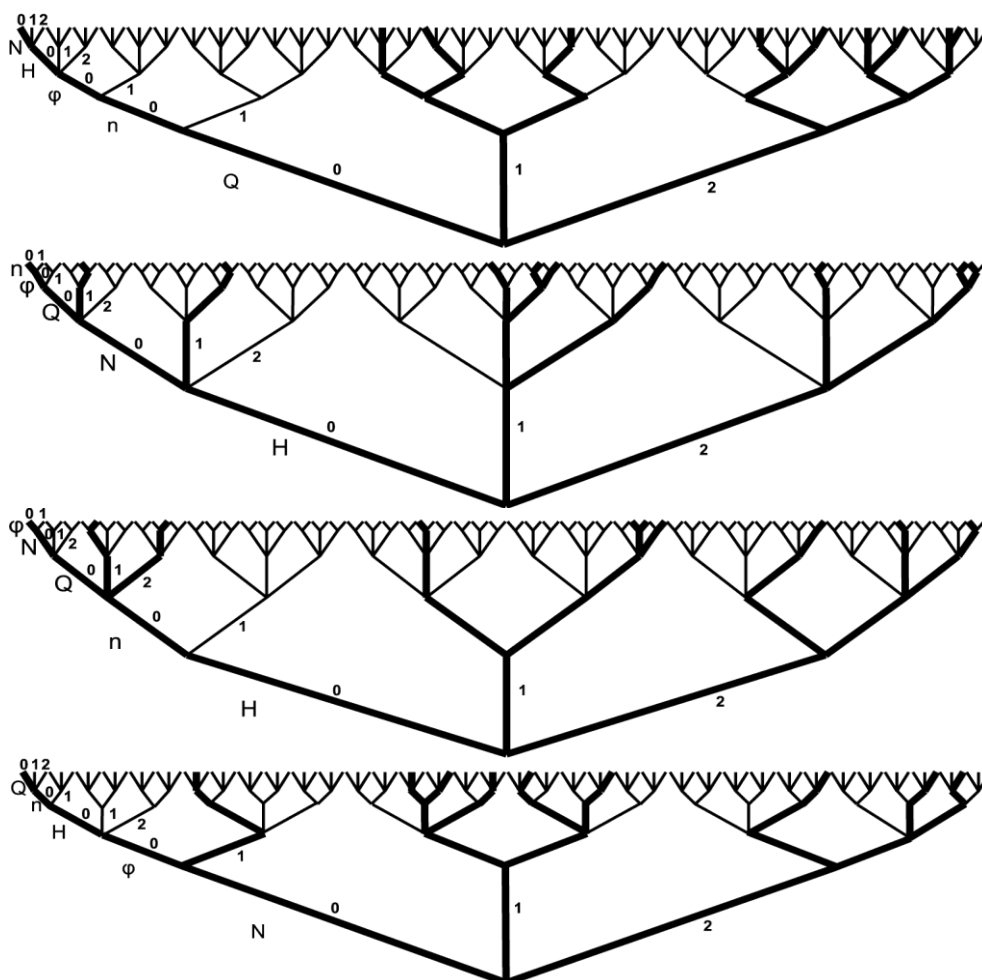
1	1	2	1	2
1	0	2	2	2
0	1	2	2	2

2. Przeprowadzone badania – w celu uzyskania informacji o optymalnym układzie parametrów

Po ustaleniu, że wartość zmiennej n najbardziej wpływa na efektywność pracy badanego urządzenia należało zbadać, która w dalszej kolejności z pozostałych zmiennych w sposób najistotniejszy (obliczany w stosunku do wpływu pozostałych zmiennych) wpływa na efekt pracy pompy. W tym celu zostały opracowane wielowartościowe drzewa logiczne, które na poszczególnych poziomach zawierały daną zmienną (z grupy: φ , Q , H , N). Dla testów i potwierdzenia tezy mówiącej o największej wartości zmiennej n , zostały utworzone różne drzewa logiczne, w których poszczególne zmienne znajdowały się na poszczególnych poziomach. Analizując otrzymane efekty można było zauważyć, że faktycznie drzewa, w których na gałęziach poziomu pierwszego (licząc od dołu) znajdowała się zmienna n , występuje najmniejsza liczba gałęzi prawdziwych. Gdy w drzewach logicznych obliczana zostanie liczba gałęzi prawdziwych opisywanego zagadnienia optymalizacji dyskretnej z możliwością zamiany pięter ze zmiennymi logicznymi przypisanymi konkretnym parametrom, to tylko drzewa logiczne z najmniejszą liczbą gałęzi można wziąć pod uwagę ustalając 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. Zatem wiedząc już, że parametr n jest tym najważniejszym należało wyszukać drzewa logiczne, w których parametr n znajduje się na dolnych piętrach i jednocześnie drzewa te mają najmniejszą ilość gałęzi prawdziwych. W ten sposób można było podjąć próbę ustalenia, który z pozostałych parametrów powinien znajdować się na wyższym poziomie zaraz po parametrze n . Dalsze badania prowadzone na utworzonych drzewach dowiodły, że gdy w danym drzewie logicznym parametr φ występuje zaraz po parametrze n drzewo takie jest najbardziej optymalnie zmodyfikowane i daje najmniejszą ilość gałęzi prawdziwych. Przykładowo można zauważyć, iż w drzewie logicznym, w którym poszczególnym gałęziom (licząc od dołu) przyporządkowano odpowiednie parametry N , φ , H , Q , n liczba gałęzi prawdziwych wynosi 38. Zatem drzewo to nie jest drzewem optymalnym, a dzieje się tak, gdyż parametr n nie jest na najniższym poziomie (przy korzeniu) oraz parametry n i φ nie występują po sobie w odpowiedniej kolejności. Dodatkowym przykładem obrazującym wagę występowania parametru n i parametru φ po sobie w odpowiedniej kolejności jest drzewo logiczne, w którym na poszczególnych gałęziach (licząc od dołu) znajdują się odpowiednio ułożone parametry H , n , Q , N , φ gdzie liczba gałęzi prawdziwych wynosi 35.

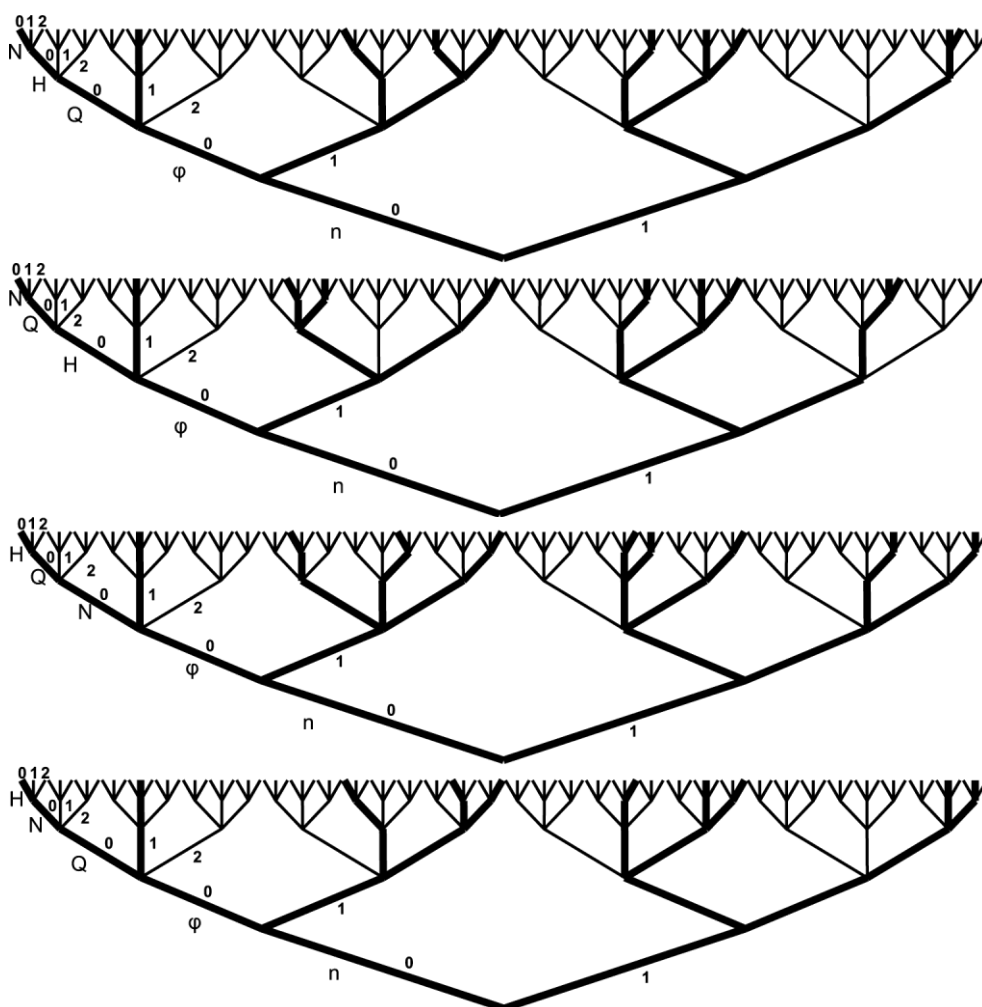
Kolejnym ważnym wnioskiem, który można było wyciągnąć poprzez analizę wielu różnych przykładów wielowartościowych drzew logicznych, na których gałęziach zostały umieszczone zmienne przedstawiające badane parametry, jest fakt, że parametry n i φ (ustawione w kolejności licząc od dolnych gałęzi) prócz tego, że powinny być obok siebie (w odpowiedniej kolejności) to jeszcze powinny znajdować się na samym dole drzewa. Doskonałym przykładem obrazującym ten wniosek jest drzewo logiczne, na którym poszczególnym gałęziom (licząc od dołu) przyporządkowano odpowiednie parametry H , N , Q , φ , n . Liczba jego gałęzi prawdziwych wynosi 37, zatem drzewo to w kwestii optymalizacji nie jest warte uwagi. Również przykład drzewa z układem parametrów Q , n , φ , H , N (wymieniając parametry przypisane gałęziom od dołu) posiada liczba 34 gałęzi

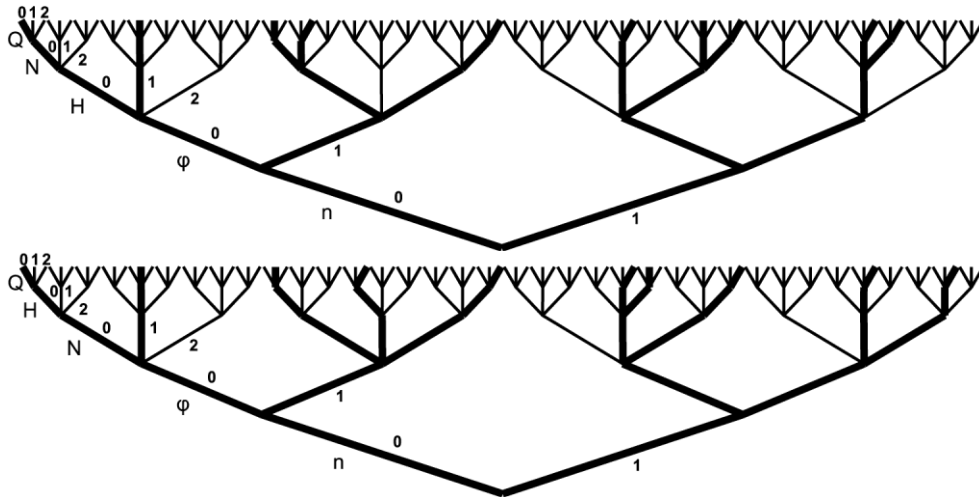
prawdziwych. Jednak można zauważyć, że im bliżej dolnej gałęzi znajduje się wartość n i (mającą stać zaraz za nią – jeden poziom wyżej) wartość φ , liczba gałęzi prawdziwych staje się wartością mniejszą. Zatem po tym etapie badań i analiz można uznać, że parametr n i parametr φ są wartościami najistotniejszymi, mającymi największy wpływ na jakość pracy badanego urządzenia. Parametr n powinien znajdować się na gałęzi na poziomie pierwszym (licząc od dołu) i jest parametrem najistotniejszym w procesie optymalizacji pracy urządzenia. Jednak wniosek sugerujący, że zaraz za nim (idąc w górę po gałęziach drzewa) powinien znajdować się parametr φ , pokazuje, że różnica w ważności obu parametrów nie może być aż tak duża. Dodatkowo, fakt iż oba parametry powinny znajdować się obok siebie (w odpowiedniej kolejności) obrazuje zależność między nimi, a co za tym idzie podkreśla wartość wpływu na jakość efektów pracy urządzenia tych parametrów.



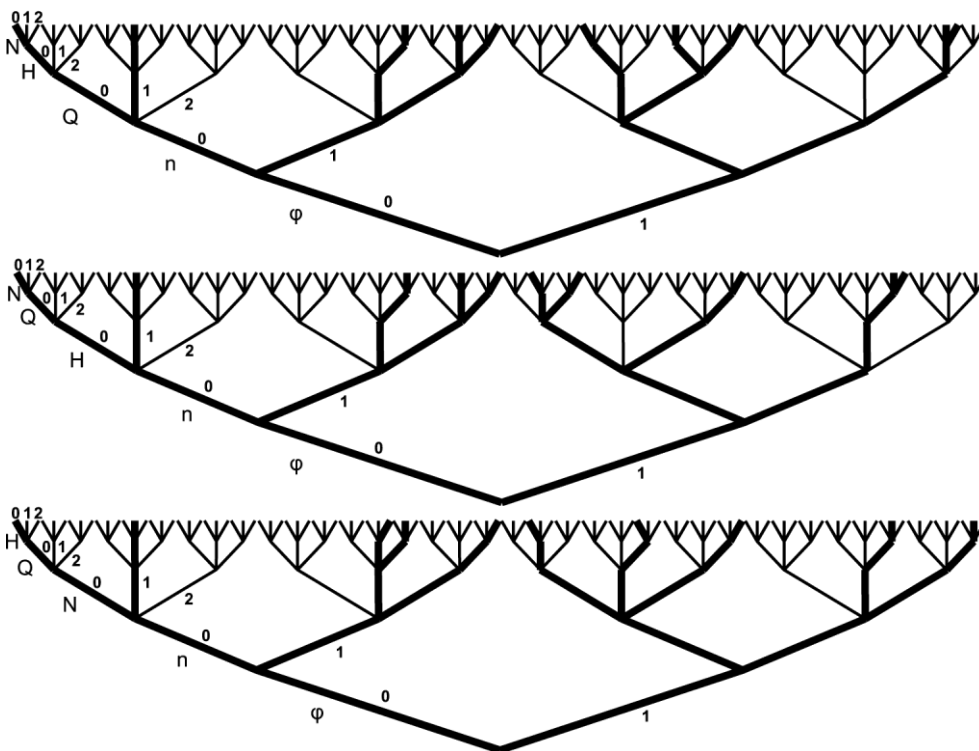
Rys. 2. Przykłady wielwartościowych drzew logicznych, w których parametry zostały ulokowane na odpowiednich poziomach bez stosowania żadnych kryteriów (przykłady rozdzielenia parametrów n i φ oraz ulokowania tych parametrów na różnych poziomach)

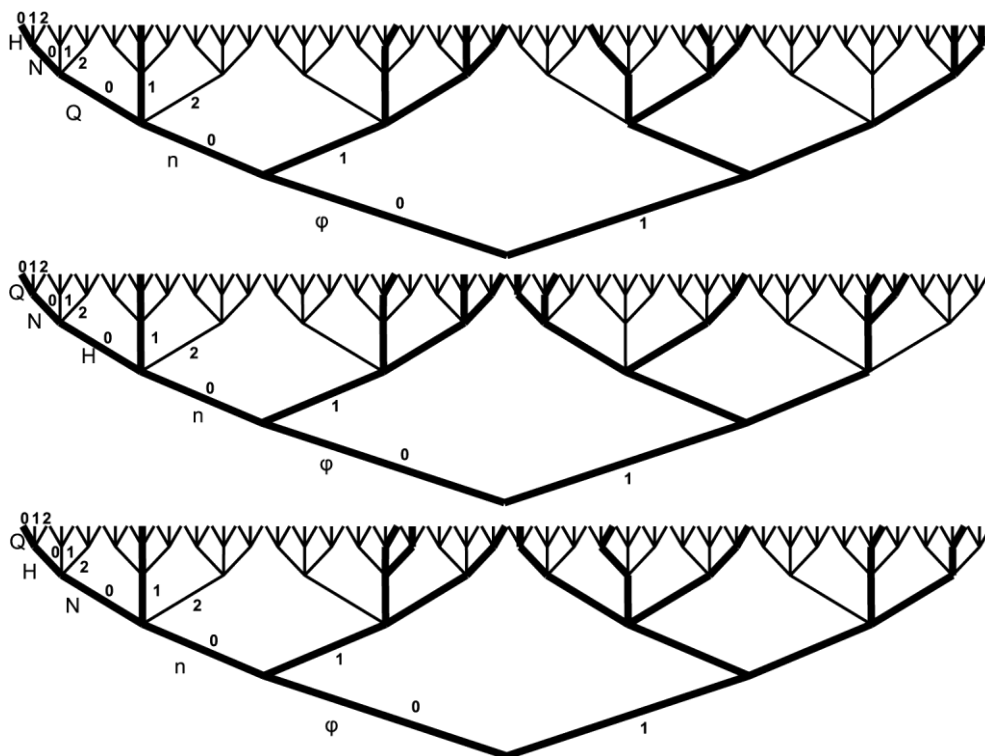
Widząc, że parametry n i φ są parametrami najistotniejszymi, można było umieścić je na samym dole badanego drzewa logicznego (na poziomie pierwszym i drugim licząc od dołu, w kolejności n, φ lub φ, n) i zająć się szukaniem najbardziej optymalnego drzewa logicznego (posiadającego najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych), analizując układ pozostałych parametrów tj. H, N, Q [1,4]. W tym celu wykonano dwanaście drzew, w których na dolnych piętrach osadzone zostały parametry n, φ (w odpowiedniej kolejności). Drzewa zostały podzielone na dwie grupy. Pierwsza grupa przedstawiała różny układ parametrów H, N, Q znajdujących się na pozycji od trzy do pięć (licząc od dołu), natomiast na poziomie pierwszym znajduje się parametr n , a na poziomie drugim parametr φ . Grupa druga różni się od grupy pierwszej jedynie tym, że na poziomie pierwszym jest parametr φ , natomiast parametr n jest na poziomie drugim.





Rys. 3. Przykłady wielowartościowych drzew logicznych, w których parametry Q, H, N zostały ułożone na odpowiednich poziomach bez stosowania żadnych kryteriów, przy ustalonych n i φ .





Rys. 4. Przykłady wielowartościowych drzew logicznych, w których parametry Q, H, N zostały ulokowane na odpowiednich poziomach bez stosowania żadnych kryteriów, przy ustalonych n i φ

Kolejnym etapem była analiza grup drzew logicznych pod kątem znalezienia takiego układu parametrów, który dałby jak najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych. Wtedy też można będzie określić, jak kształtuje się kolejność parametrów w kwestii ich wpływu na jakość i efektywność pracy badanego urzędnika. Wyniki badań zostały zestawione w tabeli (tab.4.), dzięki czemu można było łatwo porównać i od razu zauważyć wyniki. Zarówno w pierwszej jak i drugiej grupie układami optymalnymi okazał się układ:

- $(\varphi, n) H, Q, N$ i/lub $(\varphi, n) Q, H, N$
- $(n, \varphi) H, Q, N$ i/lub $(n, \varphi) Q, H, N$

Każde z czterech drzew posiadało najmniejszą liczbę gałęzi prawdziwych (32 gałęzie prawdziwe). Taka liczba okazała się najlepszą, zatem można przypuszczać, że te układy kolejności parametrów są najlepsze dla jakości pracy urzędnika.

Tab. 4. Tabela przedstawiająca liczby gałęzi prawdziwych badanych drzew logicznych

Nr drzewa	Układ parametrów na gałęziach drzewa wymieniony od dolnego piętra	Ilość 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

3. Wnioski

Podsumowując wszystkie przeprowadzone analizy i badania można sformułować ostateczny wniosek dotyczący wagi poszczególnych parametrów. Otóż parametry n i φ są parametrami najistotniejszymi i dlatego też powinny znajdować się na najniższych poziomach drzew logicznych (licząc od dołu). Dodatkowo, można jednoznacznie stwierdzić, że parametry te muszą występować po sobie, gdyż taka kolejność ich występowania daje najlepsze rezultaty. Drzewa, w których wartości parametrów n i φ występują na najniższych poziomach drzewa oraz koło siebie osiągnęły najmniejszą ilość gałęzi prawdziwych tj. 32. Najlepszym układem kolejności zmiennych okazały się:

- **n, φ , Q, H, N**
- **n, φ , H, Q, N**
- **φ , n, Q, H, N**
- **φ , n, H, Q, N**

Liczba gałęzi prawdziwych, w każdym z powyższych drzew logicznych wyniosła właśnie 32 (najmniejsza występująca wartość).

Dodatkowym wnioskiem może być informacja, że zmienna N zawsze, w każdym z najlepszych układów znajduje się na najwyższym piętrze. Zatem można założyć, że wartość tej zmiennej jest najmniej istotna w kwestii wpływu na jakość pracy urządzenia. Jednak aby jednoznacznie stwierdzić, która z pozostałych zmiennych (H , Q , N) jest najmniej, a która najbardziej wartościowa warto rozważyć wprowadzenie zmiennej zastępczej Z [2].

Inne wielowartościowe drzewa logiczne, rozdzielające piętro n i φ nie są także optymalne. Wynika stąd wniosek, że tworzenie optymalnych wielowartościowych drzew logicznych z góry na dół wymaga wprowadzenia algorytmicznej warunkowości dla zmiennej, która w danym etapie musi wystąpić na danym piętrze z punktu widzenia wcześniejszego założenia warunkowego. W ten sposób może powstać bardziej ogólny algorytm minimalizacji decyzyjnej.

Literatura

1. Partyka M.A., Zastosowanie wielowartościowych drzew logicznych, Napęd i sterowanie nr 1/2004.
2. Partyka M.A., Łuszczyna R., Sojka M., Zarządzanie projektami na przykładzie optymalizacji pompy wirowej śmigłowej w ruchu turbinowym z uwzględnieniem interpolacji danych pomiarowych, Konferencja Komputerowe Zintegrowane

- Zarządzanie. Polskie Towarzystwo Zarządzania Produkcją PTZP, Opole 2009.
3. Koziarska A., Drzewo logiczne w ustalaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych, XXI Sympoz. Podst Konst. Masz., Ustroń 2003, Zesz. Nauk. Akad. Tech.-Human. Nr 5/8, Bielsko-Biała 2003.
 4. Partyka M.A., Algorytm Quine'a — McCluskeya minimalizacji indywidualnych cząstkowych wielowartościowych funkcji logicznych, St. i Monogr. Nr 109, Polit. Opól., Opole 1999.
 5. Projekt badawczy nr 9 004129 01KBN pod kier. M. Zarzyckiego, Odzysk energii traconej w niektórych procesach technologicznych za pomocą hydraulicznych maszyn wirowych, Gliwice 1995.
 6. Zarzycki M., Dębiec J., Rduch J., Analiza zastosowania pomp wirowych w ruchu turbinowym w kopalniach węgla kamiennego. Maszyny i Urządzenia w Energetyce Wodnej, Konf. Nauk-Tech. IMP PAN, Straszyn 1994.
 7. Zarzycki M., Dębiec J., Rduch J., Wyniki badań pompy wielostopniowej wirowej w ruchu turbinowym. VII Konf. Nauk.-Tech. Przepływowe maszyny wirnikowe, Rzeszów 1993.
 8. Zarzycki M., Rduch J., Praca pomp wirowych wielostopniowych w mchu turbinowym. Górnictwo Odkrywkowe nr 4, Wrocław 1994.
 9. Zarzycki M., Rduch J., Wyniki badań pompy wirowo-śmigłowej w ruchu turbinowym. Konf. Nauk-Tech. Transhydro 2001. Szklarska Poręba 2001. Wydz. Mech.Polit. Wrocł., Wrocław 2001.

Prof. dr hab. Marian A. Partyka
Mgr inż. Agnieszka Tiszbierek
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
Katedra Inżynierii Wiedzy
Politechnika Opolska
45-370 Opole, ul. Ozimska 75
e-mail: a.tiszbierek@po.opole.pl