

OPTIMALIZACJA UKŁADÓW MASZYNOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM KOMPLEKSOWEGO WSPÓŁCZYNNIKA ZŁOŻONOŚCI DLA WIELOWARTOŚCIOWYCH DRZEW DECYZYJNYCH

OPTIMIZATION OF MACHINE SYSTEMS INCLUDING A COMPLEX COEFFICIENT OF
COMPLEXITY FOR MULTI- VALUED DECISION TREES

Adam Deptuła – Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, Politechnika Opolska

Skierowany graf zależności przepływu informacji opisuje powiązania wielkości wejściowych, wyjściowych oraz zmiennych decyzyjnych w analizowanym układzie maszynowym. Przetłumaczenie skierowanego grafu zależności na strukturę rozgrywaną parametrycznie, pozwala na określenie obszaru rozwiązań dopuszczalnych i wybór procedury optymalizacyjnej. Struktura drzewiasta, o najmniejszej wartości kompleksowego współczynnika posiada najmniejszy stopień złożoności decyzyjnej. Możliwe jest zastosowanie kompleksowego współczynnika złożoności dla wielowartościowych drzew decyzyjnych w opisie strukturalnych procesów optymalizacji układów maszynowych, według zagadnień minimalizacji funkcji logicznych.

Different graph solutions mean connections between input and output data as well as decision variables of the analyzed system (eg in the machine system). The graph distribution from any vertex in the first stage leads to a tree structure with cycles, and next to a general tree game structure. Algorithmic way to create graphical structures out of a mathematical model describes the optimization method of systematic exploration. Tree structure, with the lowest values of complexity level is the simplest structure. It is possible to apply a complex coefficient of complexity for multi valued decision trees in the description of the processes of structural optimization of the machine according to the issues of minimizing logic functions.

Wstęp

Proces decyzyjny w głównej mierze oznacza korzystanie z odpowiednich metod i technik decyzyjnych, które prowadzą do rozwiązania danego problemu decyzyjnego wskazując najważniejsze możliwe warianty działania. Prowadząc zadanie optymalizacji mamy do czynienia z deterministyczną sytuacją decyzyjną, w której konieczne jest określenie rangi ważności parametrów decyzyjnych systemu (w dziedzinie funkcjonalno-projektowej, w dziedzinie niezawodności i bezpieczeństwa, w dziedzinie ekonomiczno-kosztowej itd.).

Każde dyskretne zadanie optymalizacyjne można rozwiązać przez przejrzenie wszystkich możliwości (wszystkich elementów przestrzeni stanów). Model danego systemu, np.: układu maszynowego opisywany jest przez przestrzeń stanów. Tworzone są schematy, które w danym zakresie problemowym są reprezentacją pewnej klasy zjawisk, w celu stworzenia podstawy do badań i (lub) komunikacji. W ogólnym sensie jest to opis myślowy (wewnętrzny) lub postaciowy (diagramy, wzory matematyczne, relacje itp.), na ogół zredukowany do najistotniejszych cech o charakterze symbolicznym. W zagadnieniach technicznych mówi się o modelach rzeczywistych, opisujących rzeczywistą budowę obiektu konkretnego. We współczesnej technice wyróżnia się systemy zawierające układy o różnym charakterze fizycznym, np.: elektromechaniczne, pneumatyczne, hydrauliczne, itp.. Projektowanie i analiza tego typu układów wymaga stosowania odpowiednich form opisu i metod badawczych, w celu zastosowania odpowiedniej procedury optymalizacyjnej [7, 8, 9, 15].

Optymalizacja dyskretna przepływowych układów maszynowych polega m. in. na wyznaczeniu rangi ważności parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych. Wytyczne, co do kolejności podejmowanych decyzji, wynikają z wielowar-

tościowych drzew decyzyjnych z uwzględnieniem realizacji założonej funkcji celu (np. stabilności układu). Stosowanie drzew w optymalizacji układów maszynowych jest w pełni użyteczne w sferze koncepcji ponieważ pozwala na wybór (zmienianie) wartości arytmetycznych odpowiednich parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych danego układu maszynowego i ocenę pracy układu w nowych warunkach. W dowolnym etapie optymalizacji można sporządzić drzewo, wybierając optymalne decyzje. Z kolei skierowany graf zależności przepływu informacji opisuje powiązania wielkości wejściowych, wyjściowych oraz zmiennych decyzyjnych w analizowanym systemie (np. układzie maszynowym).

W pracy przedstawiono zastosowanie kompleksowego współczynnika złożoności z grafu zależności przepływu sygnałów w opisie wielowartościowych drzew logicznych. W zależności tej wyszukano optymalne wielowartościowe drzewo decyzyjne w badaniu w optymalizacji dyskretniej wybranych układów maszynowych.

Kompleksowy współczynnik złożoności struktur

Algorytmiczny sposób tworzenia drzew parametrycznych z modelu matematycznego układu o pierwotnym grafie zależności wyznacza optymalizacyjną metodę systematycznego poszukiwania. W celu wyboru najlepszej struktury wyznacza się zwykły oraz kompleksowy współczynnik złożoności [2, 5, 6].

Kompleksowy współczynnik złożoności struktury określony jest jako $L^K(G_i^{++})$ [4, 5, 6]:

$$L^K(G_i^{++}) = \sum_{w \in W(L)} \frac{d(w_i)}{h(w_i)+1} + \frac{L}{\sum_{l \in L} \frac{1}{h_l}} \quad (1)$$

$L^K(G_i^{++})$ – kompleksowy współczynnik złożoności struktury G_i^{++} ,
 w_i – i -ty węzeł;
 $d(w_i)$ = deg(w_i) – stopień rozgałęzienia i -tego węzła;
 $h(w_i)$ – odległość i -tego węzła od korzenia;
 $W(L)$ – zbiór wszystkich węzłów,
 L – liczba liści dla i -tego węzła rozgałęziającego się ($\text{deg}(w_i) \geq 2$),
 h_{li} – wysokość (złożoność) i -tego liścia.

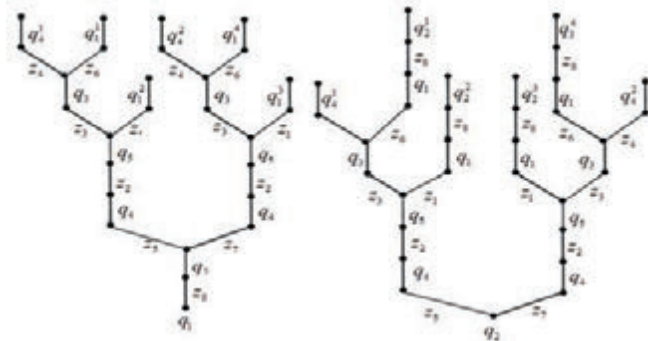
W kompleksowym współczynniku złożoności uwzględniono również stopień złożoności wszystkich liści wychodzących z każdego rozgałęziającego się węzła.

Przykład 1

Na rysunku 2 przedstawiono struktury rozgrywające parametrycznie $G_{q_1}^{++}$ i $G_{q_2}^{++}$ o zapisie analitycznym [3]:

$$G_{q_1}^{++} = ({}^0 q_1 ({}^1 z_1 q_3 ({}^2 z_1 q_1^1, z_2 q_3^1)^2, z_2 q_2 ({}^2 z_1 q_3 ({}^3 z_1 q_1^2, z_2 q_3^1)^3, z_2 q_3 ({}^3 z_1 q_1^2, z_2 q_3^1)^3)^2)^1) {}^0 \quad (2)$$

$$G_{q_2}^{++} = ({}^0 q_2 ({}^1 z_5 q_4 ({}^2 z_2 q_5 ({}^3 z_1 q_1 ({}^4 z_8 q_2^1)^4, z_3 q_3 ({}^4 z_4 q_4^1, z_6 q_1 ({}^5 z_8 q_2^2)^5)^4)^3)^2)^1, z_7 q_4 ({}^2 z_2 q_5 ({}^3 z_1 q_1 ({}^4 z_8 q_2^3)^4, z_3 q_3 ({}^4 z_4 q_4^2, z_6 q_1 ({}^5 z_8 q_2^4)^3)^2)^1)^0 \quad (3)$$



Rys. 2. Drzewa rozgrywające parametrycznie $G_{q_1}^{++}$ i $G_{q_2}^{++}$

Dla struktur rozgrywających parametrycznie z rysunku 2 obliczono współczynnik złożoności struktury wg wzoru (1):

$$L^K(G_{q_1}^{++}) = \left(\sum_{w \in W(L)} \frac{d(w_i)}{h(w_i)+1} + \frac{L}{\sum_{l \in L} h_l} \right) = \left(\frac{1}{0+1} + \frac{2}{\frac{1}{3} + \frac{1}{3}} \right) + \left(\frac{2}{2+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \right) + \left(\frac{2}{6+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \right) + \left(\frac{2}{8+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \right) + \left(\frac{2}{6+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \right) + \left(\frac{2}{8+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}} \right) = 15,69$$

$$L^K(G_{q_2}^{++}) = \left(\sum_{w \in W(L)} \frac{d(w_i)}{h(w_i)+1} + \frac{L}{\sum_{l \in L} h_l} \right) = 14,02$$

Możliwe jest zastosowanie kompleksowego współczynnika złożoności L^K w opisie wielowartościowych drzew logicznych. W zależności tej wyszukano optymalne wielowartościowe drzewo decyzyjne [5, 6].

Kompleksowy współczynnik złożoności struktur w ujęciu wielowartościowych drzew logicznych

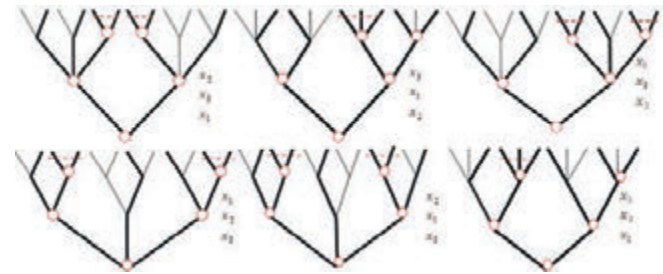
Drzewo logiczne jest strukturalną prezentacją funkcji logicznej, zapisanej w postaci sumy iloczynów, gdzie każdy

składnik jest realizacją jednego rozwiązania, a każdy czynnik w iloczynie jest zmienną logiczną. Poszczególne ścieżka na drzewie (od korzenia do wierzchołka) jest składnikiem funkcji logicznej, opisującej realizację jednego możliwego rozwiązania. Zbiór ścieżek jest natomiast zbiorem wszystkich możliwych rozwiązań [11].

Wartością współczynnika złożoności (kształtu) możliwe jest określenie optymalnego oraz najgorszego wielowartościowego drzewa logicznego oraz hierarchiczna ocena drzew w zależności od liczby gałązek prawdziwych [5, 6].

Przykład 2

Dla wielowartościowej funkcji logicznej $f(x_1, x_2, x_3)$, zapisanej numerycznie w KAPN: 000, 001, 002, 110, 003, 102, 004, 013, 014, 023, 124, 103, istnieje 6 wielowartościowych drzew decyzyjnych (rys. 3), z odpowiednią kolejnością pięter decyzyjnych zmiennych.



--- upraszczanie zgodnie z decyzyjnym algorytmem Quine'a Mc Cluskeya

○ – węzły

Rys. 3. Graficzna prezentacja kompleksowych współczynników złożoności wielowartościowej funkcji logicznej z przykładu 2

Wartości kompleksowych współczynników złożoności, z odpowiednią kolejnością pięter decyzyjnych wynoszą odpowiednio:

$$L_{\min}^K(x_1, x_2, x_3) = \left(\sum_{w \in W(L)} \frac{d(w_i)}{h(w_i)+1} + \frac{L}{\sum_{l \in L} h_l} \right) = \left(\frac{2}{0+1} + \frac{2}{\frac{1}{1} + \frac{1}{1}} \right)^1 + \left(\frac{3}{1+1} + \frac{3}{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} + 1} \right)^2 + \left(\frac{2}{1+1} + \frac{2}{\frac{1}{2} + 1} \right)^3 = 8,33,$$

oraz:

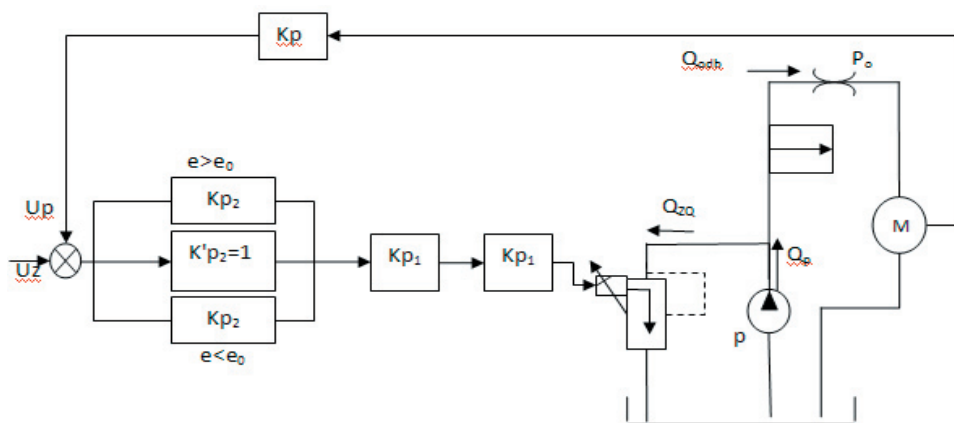
$$L_{\min}^k = (f(x_2, x_1, x_3)) = 9,66$$

$$L_{\min}^k = (f(x_2, x_3, x_1)) = 8,33$$

$$L_{\min}^k = (f(x_1, x_2, x_3)) = 9,66$$

$$L_{\min}^k = (f(x_3, x_2, x_1)) = 8,96$$

$$L_{\min}^k = (f(x_3, x_1, x_2)) = 8,96$$



Rys. 4. Schemat układu napędowego [14]

Optymalizacja układów maszynowych z uwzględnieniem kompleksowego współczynnika złożoności

Kompleksowy współczynnik złożoności w badaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjnych zaworu proporcjonalnego

Na rysunku 4 przedstawiono układ napędowy z zaworem proporcjonalnym z odbiornikiem.

Bilans przepływu w układzie napędowym zgodnie z pracą [14] zapisać można jako:

$$Q_p = Q_{zQ} + Q_1 + Q_{odb} \tag{4}$$

Bilans przepływu przez stopień główny zaworu:

$$Q_{zQ} = Q_{zQx} + Q_{D1} + Q_{tx} \tag{5}$$

Przepływ przez dyszę:

$$Q_{D1} = Q_{D2} = Q_{D3} \tag{6}$$

$$Q_{DG} = Q_{zQy} + Q_{ty} \tag{7}$$

Bilans przepływu przez stopień sterujący:

$$Q_{D3} = Q_{1y} + Q_{zQy} - Q_{ty} - Q_{tx} \tag{8}$$

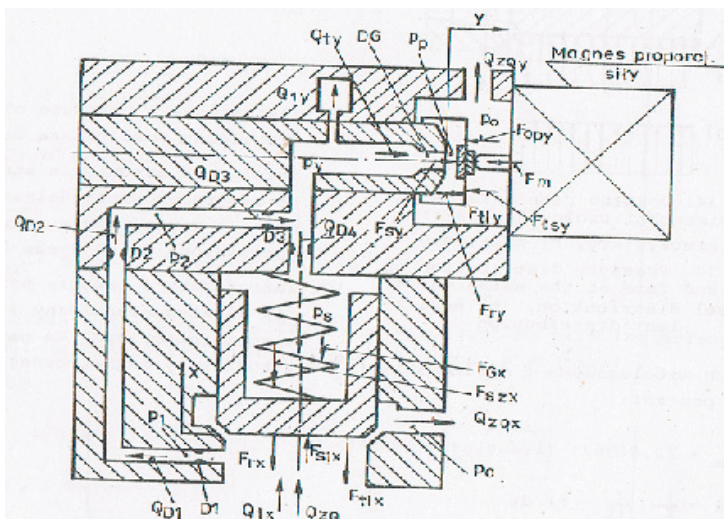
Na rysunku 5 przedstawiono schemat analizowanego zaworu hydraulicznego.

Poza tym, wyróżnia się natężenie przepływu w stopniu głównym i sterującym.

Równania wyjściowe do przeprowadzenia symulacji działania części hydraulicznej są następującej postaci:

$$\left\{ \begin{aligned} 1: & \frac{dx_1}{dt} = x_2, \\ 2: & \frac{dx_2}{dt} = -14846,301x_2 - 801,2102 \cdot 10^{-3} (k_{vx}x_1)x_3 - 147224,3x_1 - 1925,135 + 5,3792244 \cdot 10^{-3} [(1 - 10^3 x_1)x_3 - x_6], \\ 3: & \frac{dx_3}{dt} = 0,2851216 \cdot 10^9 (1 - 1,32 \cdot 10^{-9} x_3) - 0,5279061 \cdot 10^9 (k_{vx}x_1)\sqrt{x_3} - 0,1226361 \cdot 10^9 x_2 - 7,65(x_3 - x_6) - 0,3227777 \cdot 10^{12} Q_{odb}, \\ 4: & \frac{dx_4}{dt} = x_5, \\ 5: & \frac{dx_5}{dt} = -5,5688865 \cdot 10^3 x_5 - 0,840264 \cdot 10^6 x_5^2 \operatorname{sign} x_5 + 0,7123874 \cdot 10^{-4} x_7 + 418,87733(k_{vy}x_4)^2 x_7 - 2,616 \operatorname{sign} x_5 - 33,33333F_m, \\ 6: & \frac{dx_6}{dt} = 0,276556 \cdot 10^5 (x_3 - x_6) - 0,312234 \cdot 10^{12} (k_{vy}x_4)\sqrt{x_6} + 0,4432633 \cdot 10^{12} x_3 - 2,060625 \cdot 10^9 x_5, \\ 7: & x_7 = x_6 - 0,2025169 \cdot 10^6 (k_{vy}x_4)\sqrt{x_6} - 1328,096x_5. \end{aligned} \right.$$

Warunki początkowe równań różniczkowych wyznacza, się wprowadzając $dx/dt = 0$



Rys. 5. Schemat zaworu proporcjonalnego [14]

Ranga ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych hydraulicznego zaworu proporcjonalnego

W procesie optymalizacji zmieniającymi parametrami zaworu proporcjonalnego jest wzmocnienie regulatora $K_{p1} \cdot K_{p2}$ (jako zmienna kompleksowa), natężenie przepływu odbiornika Q_{odb} (zależne od wymuszenia skokowego napięcia sterującego U_z) oraz siła magnetyczna F_m – przy obserwacji natężenia przepływu Q oraz ciśnienia p .

Symulacji dokonano w pakiecie Matlab/Simulink:

$$\begin{cases} -801,2102 \cdot 10^{-3} (k_{vx}, x_1) x_3 - 147224,3 x_1 - 1925,135 \\ + 5,3792244 \cdot 10^{-3} [(1 - 10^3 x_1) x_3 - x_6] = 0, \\ 0,2851216 \cdot 10^9 (1 - 1,32 \cdot 10^{-9} x_3) - 0,5279061 \cdot 10^9 (k_{vx}, x_1) \sqrt{x_3} \\ - 7,65(x_3 - x_6) - 0,3227777 \cdot 10^{12} Q_{odb} = 0, \\ 0,7123874 \cdot 10^{-4} x_7 + 418,87733(k_{vy}, x_4)^2 x_7 - 33,33333 F_m = 0, \\ 0,276556 \cdot 10^5 (x_3 - x_6) - 0,312234 \cdot 10^{12} (k_{vy}, x_4) \sqrt{x_6} = 0, \\ x_7 = x_6 - 0,2025169 \cdot 10^6 (k_{vy}, x_4) \sqrt{x_6}. \end{cases}$$

Zastosowanie kompleksowego współczynnika złożoności w ujęciu wielowartościowych drzew logicznych

Do analizy wybrano wartości arytmetyczne badanych parametrów, które zakodowano logicznymi zmiennymi decyzyjnymi:

$$(K_{p1} \cdot K_{p2}) = 30 \sim 0; (K_{p1} \cdot K_{p2}) = 40 \sim 1; (K_{p1} \cdot K_{p2}) = 50 \sim 2; \\ (K_{p1} \cdot K_{p2}) = 60 \sim 3.$$

$$F_m = 1,96 \text{ [N]} \sim 0; F_m = 2,96 \text{ [N]} \sim 1; F_m = 3,96 \text{ [N]} \sim 2; \\ F_m = 4,96 \text{ [N]} \sim 3;$$

$$Q_{rz} = 36 \rightarrow 24 \text{ [dm}^3/\text{min]} \sim 0; Q_{rz} = 24 \rightarrow 12 \text{ [dm}^3/\text{min]} \sim 1; \\ Q_{rz} = 36 \rightarrow 12 \text{ [dm}^3/\text{min]} \sim 2.$$

W działaniu zaworu przelewowego wprowadzono ograniczenia na parametry konstrukcyjne Q oraz p z punktu widzenia czasu stabilizacji t_w : $t_w < 0,48 t_o$. Następnie przeprowadzono obliczenia dynamiczne zaworu, w wyniku których w ograniczeniu t_w : $t_w < 0,48 t_o$ selekcję przeszły 23 wykresy. Zmiany kodowe parametrów konstrukcyjnych K_{p1} , K_{p2} , Q_{rz} , F_m przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. KAPN dla danych kodowych parametrów $K_{p1} \cdot K_{p2}$, Q_{rz} , F_m

F_m	$K_{p1} \cdot K_{p2}$	Q_{rz}	F_m	$K_{p1} \cdot K_{p2}$	Q_{rz}
2	1	2	0	1	2
2	3	2	0	1	0
2	2	1	0	0	1
2	2	2	0	0	2
1	2	1	1	2	2
3	0	2	1	1	1
1	0	2	1	1	2
0	2	1	1	3	2
0	2	2	3	2	2
0	2	0	3	1	2
0	3	1	3	3	2
0	3	2	2	0	2
0	1	1			

Na rysunku 6 przedstawiono optymalne wielowartościowe drzewo logiczne o odpowiedniej wartości współczynnika kompleksowego $L^K = 23,07$. Na rysunku 7 przedstawiono pozostałe wielowartościowe drzewa logiczne.

Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe funkcji Q oraz p

Dla hydraulicznego zaworu proporcjonalnego najważniejszym parametrem jest natężenie przepływu odbiornika Q_{odb} (zależne od wymuszenia skokowego napięcia sterującego U_z).

Kompleksowy współczynnik złożoności w badaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjnych zaworu proporcjonalnego

Zawór przelewowy stosuje się w układach w celu przepuszczenia do zbiornika nadmiaru tłoczonej cieczy, gdy wydajność pompy przewyższa zapotrzebowanie. Na rysunku 9 przedstawiono przykład układu napędowego siłownika z zaworem przelewowym [12, 13].

W układzie, przedstawionym na rysunku 9, prędkość ruchu tłoka sterowana jest za pomocą zaworu dławiącego D . W wyniku czego, tylko część strumienia cieczy, pompowanej przez pompę P dopływa do siłownika. Reszta strumienia cieczy ($Q_Z = Q_P + Q_D$) przepływa przez zawór przelewowy ZP , który musi być ciągle otwarty, gdyż $Q_Z > 0$.

Równanie sił działających na zawieradło przedstawia się następująco [1]:

$$\frac{Q_p^2}{A_1} \rho + \rho \cdot A_2 + \rho \cdot l \frac{dQ_p}{dt} = G_{ap} + S + k \cdot x \\ + f \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} + \Phi \sqrt{2 \cdot \rho} \cdot \cos(\nu) \cdot Q_p \sqrt{p} \quad (9)$$

Natomiast równania przepływów:

$$Q = \mu \cdot K \cdot x \sqrt{p} + A_1 \frac{dx}{dt} + \frac{V}{B} \frac{dp}{dt} \quad (10)$$

$$Q_p = \mu \cdot K \cdot x \sqrt{p} + A_1 \frac{dx}{dt} \quad (11)$$

gdzie:

$$K = \pi \cdot d_m \sqrt{\frac{2}{\rho}} \quad (12)$$

Równania pracy zaworu w postaci bezwymiarowej, służącej do wykonania symulacji, przedstawia się w następującej formie:

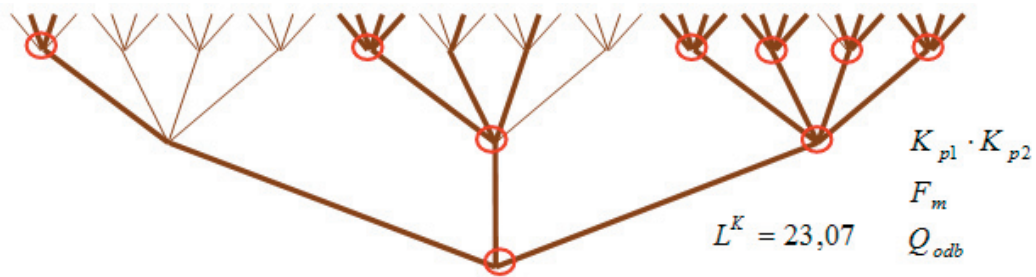
$$\rho \frac{Q_o^2}{A_1 S_o} Q_{pw}^2 + \frac{A_2 p_o}{S_o} p_w + \frac{T_{Qp}}{T_o} \frac{dQ_{pw}}{dt_w} = 1 + \frac{kx_o}{S_o} x_w + \frac{T_f}{T_o} \frac{dx}{dt_w} \\ + \left(\frac{T_{ms}}{T_o} \right)^2 \frac{d^2x}{dt_w^2} + \Phi \frac{\sqrt{2\rho}}{S_o} \cos(\nu) Q_o Q_{pw} \sqrt{p_o} \sqrt{p_w} \quad (13)$$

$$Q_w = \mu x \sqrt{p_w} + \frac{T_A}{T_o} \frac{dx}{dt_w} + \frac{dp_w}{dt_w} \quad (14)$$

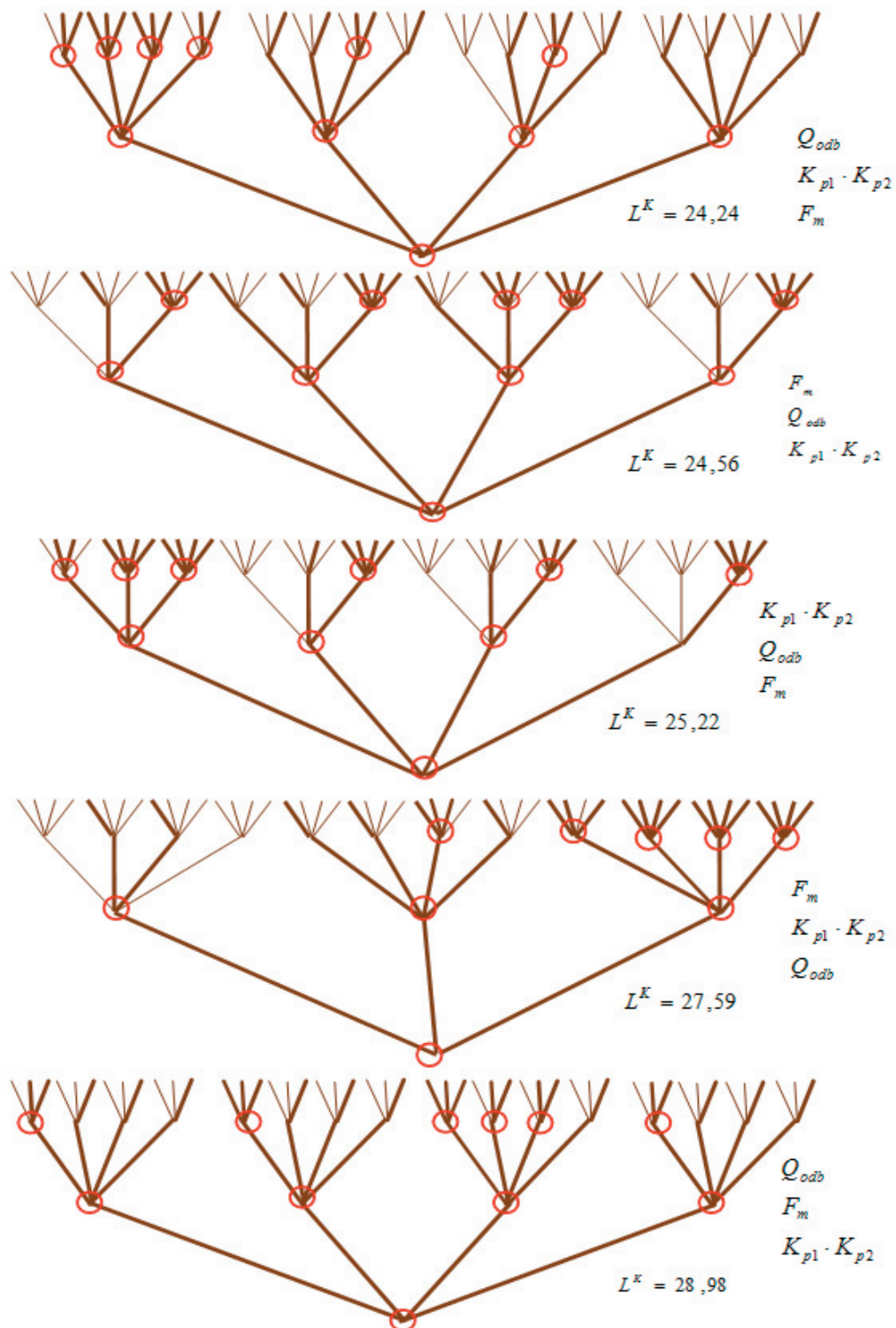
$$Q_{pw} = \mu x \sqrt{p_w} + \frac{T_A}{T_o} \frac{dx}{dt_w} \quad (15)$$

Ranga ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych hydraulicznego zaworu proporcjonalnego

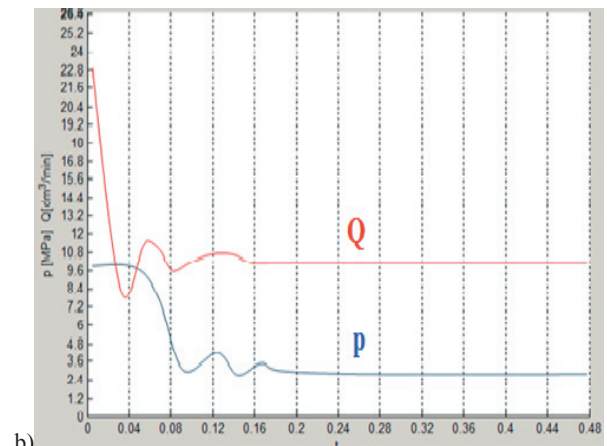
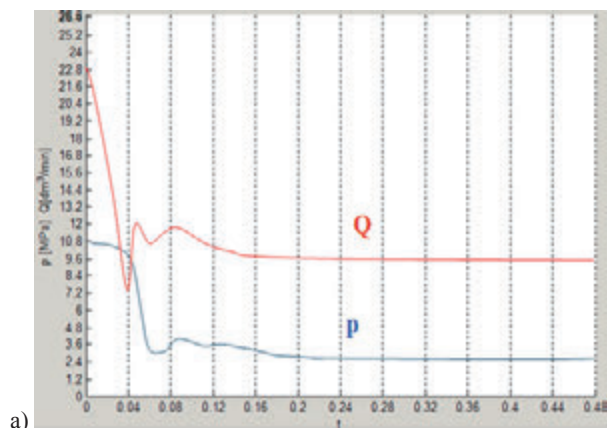
W celu przeprowadzenia optymalizacji dyskretnej zmiany parametrów zostały zakodowane następująco: 0 – duże zmniejsz-



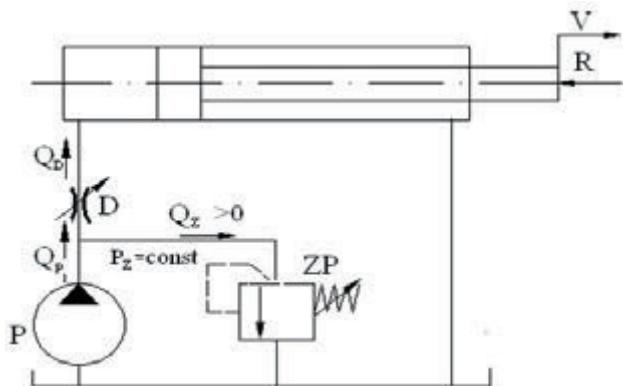
Rys. 6. Optymalne wielwartościowe drzewo logiczne Q_{odb} , F_m , K_{p1} , K_{p2} o odpowiedniej wartości kompleksowego współczynnika złożoności



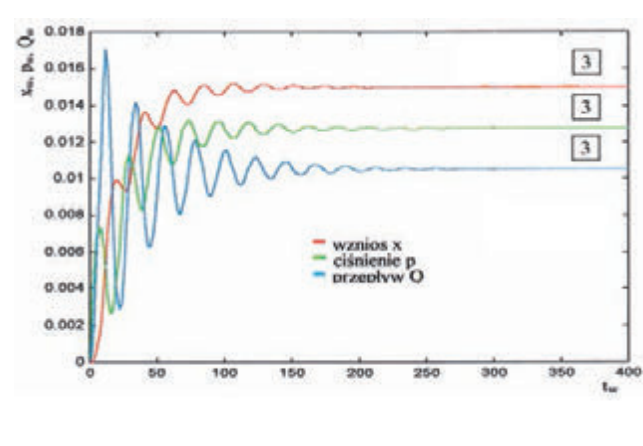
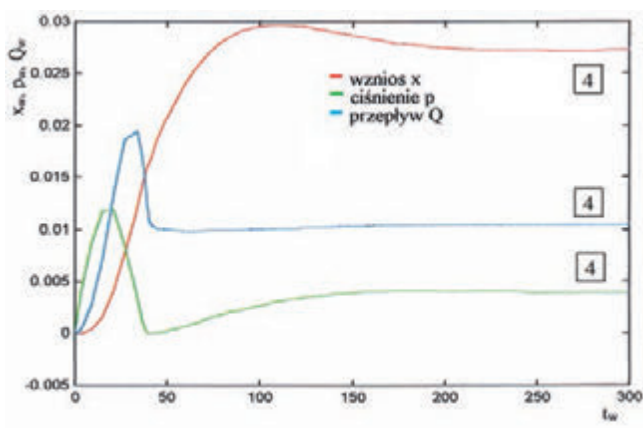
Rys. 7. Wielwartościowe drzewa logiczne dla odpowiednich wartości kompleksowych współczynników złożoności



Rys. 8. Przebiegi czasowe Q, p kodowych zmian parametrów F_m, K_{p1}, Q_{rz}



Rys. 9. Schemat układu siłownika z zaworem przelewowym



Rys. 10. Przebiegi czasowe funkcji x, Q, p dla kodowych zmian parametrów m, k i d : 101 i 031 oznaczających wytyczne projektowania

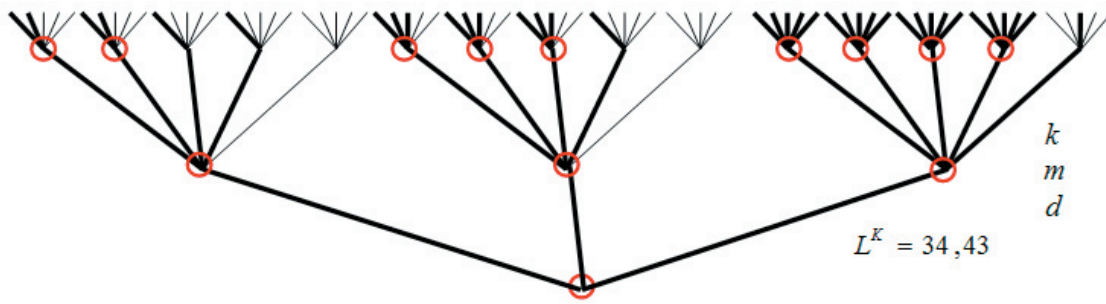
zenie, 1 – małe zmniejszenie, 2 – bez zmian, 3 – zwiększenie, 4 – duże zwiększenie (dla m i k) oraz : 0 – małe zmniejszenie, 1 – bez zmian, 2 – zwiększenie (dla d). Dla celów optymalizacji istnieje zależność wiążąca ograniczenia na parametry konstrukcyjne i eksploatacyjne:

Czas stabilizacji $t_w < 1000t_o$; Stosunek wartości maksymalnej funkcji do jej wartości po ustabilizowaniu: $w_{max}/w_{stab} < 3,6$, dla jednoczesnych przebiegów czasowych realizacji wzniosu x , ciśnienia p oraz natężenia przepływu Q .

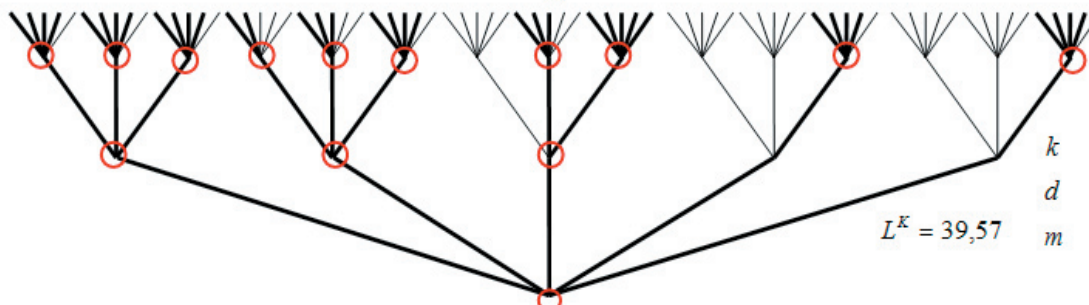
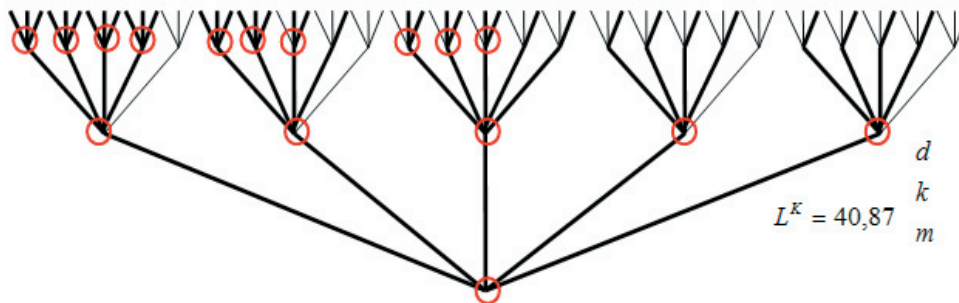
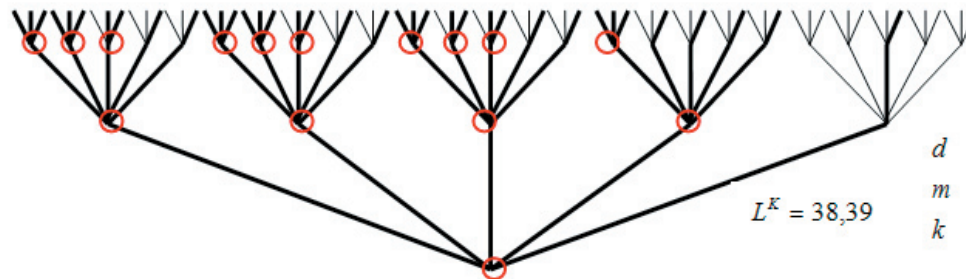
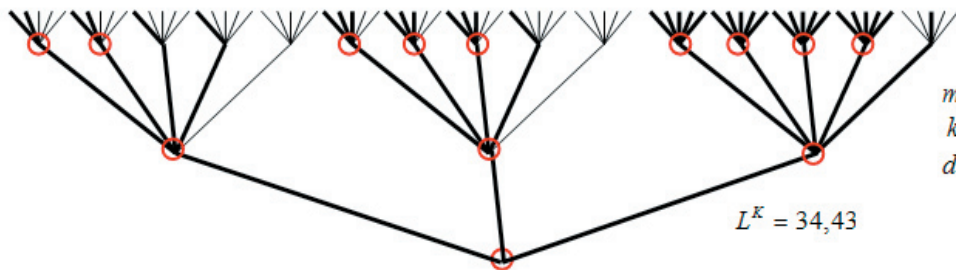
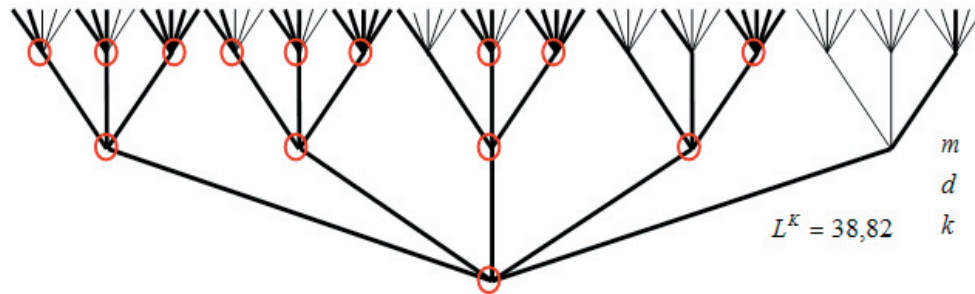
Selekcję przeszło 39 wykresów, dla których zmiany kodowe parametrów konstrukcyjnych m, k i d przedstawia tabela 2.

Tab. 2. KAPN danych w_i oraz zmian wartości parametrów m, k i d ($t_w < 1000 t_o, w_{max}/w_{stab} < 3,6$)

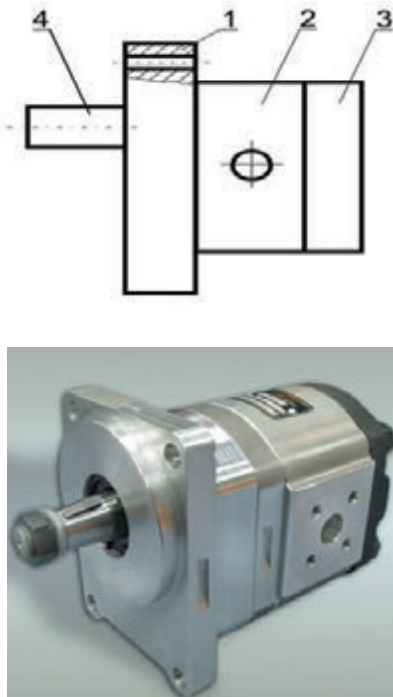
m	k	d	m	k	d	m	k	d
2	2	2	0	1	2	2	1	1
2	1	2	0	0	1	2	0	1
1	2	1	0	0	2	1	0	1
1	2	2	3	2	2	4	2	2
1	1	1	2	2	2	4	1	2
1	1	2	3	1	2	0	0	0
1	3	2	0	3	1	1	1	0
2	0	2	0	1	0	1	0	0
1	0	2	2	3	2	4	3	2
0	2	1	3	0	2	4	0	2
0	2	2	0	2	0	0	3	0
0	3	2	2	2	1	2	4	2
0	1	1	3	3	2	0	3	1



Rys. 11. Optymalne wielwartościowe drzewo logiczne *k*, *d*, *m* o odpowiedniej wartości kompleksowego współczynnika złożoności



Rys. 12. Wielwartościowe drzewa logiczne dla odpowiednich wartości kompleksowych współczynników złożoności



Rys. 13. Trójplytowa konstrukcja mikropompy zębatej o zazębieniu zewnętrznym: 1 – płyta przednia (mocująca), 2 – płyta środkowa (okularowa), 3 – płyta tylna, 4 – wałek napędowy

Na rysunku 10, przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe funkcji: x , Q , p

Na rysunku 11, przedstawiono optymalne wielowartościowe drzewo logiczne k , d , m od odpowiedniej wartości współczynnika kompleksowego $L^k = 38,82$.

Na rysunku 12 przedstawiono pozostałe wielowartościowe drzewa logiczne.

Kompleksowy współczynnik złożoności w badaniu rangi ważności parametrów konstrukcyjnych zaworu proporcjonalnego

Badana jednostka prototypowa jest projektem własnym, wyprodukowanym przez Wytwórnę Pomp Hydraulicznych Sp. z o.o., mieszczącą się we Wrocławiu. Pompę eksperymentalną

zaprojektowano z myślą o możliwościach technologicznych WPH S.A.[10].

Badania pompy przeprowadzono po uruchomieniu próbnym stanowiska tzn. sprawdzono działanie pompy, zaworu bezpieczeństwa oraz wskazania wszystkich przyrządów pomiarowych [10].

Na rysunku 14 przedstawiono wykresy sprawności całkowitej, wolumetrycznej i hydrauliczno-mechanicznej przy prędkości $n = 500$ i 800 obr./min

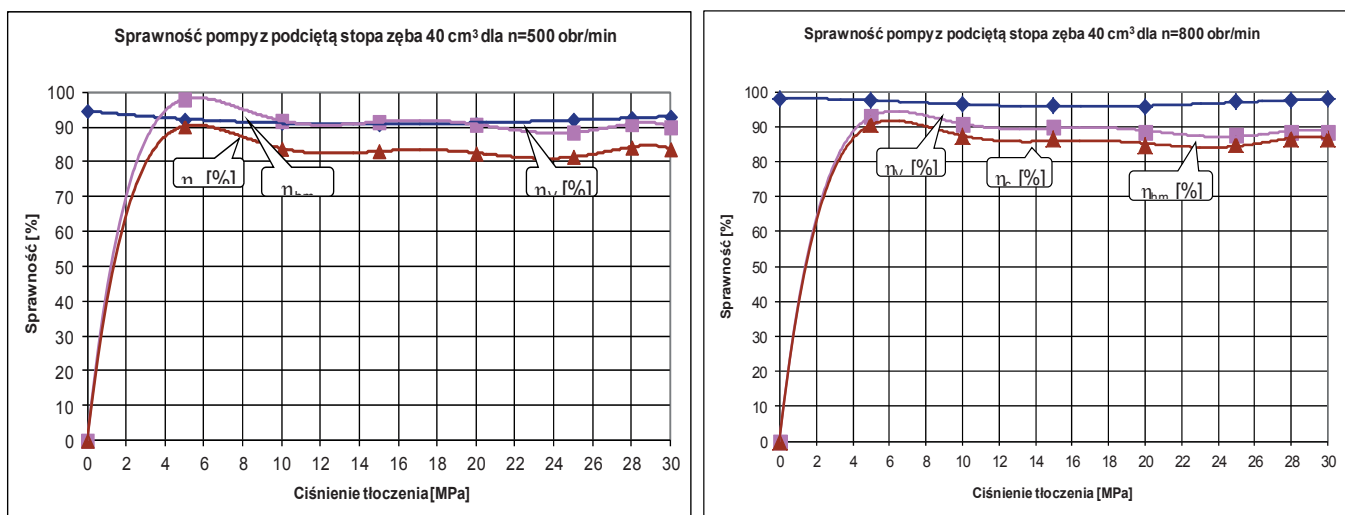
W optymalizacji pompy zębatej obliczono sprawność objętościową, hydrauliczno-mechaniczną oraz całkowitą.

Do analizy wybrano wartości arytmetyczne badanych parametrów, które zakodowano logicznymi zmiennymi decyzyjnymi w logicznych drzewach decyzyjnych:

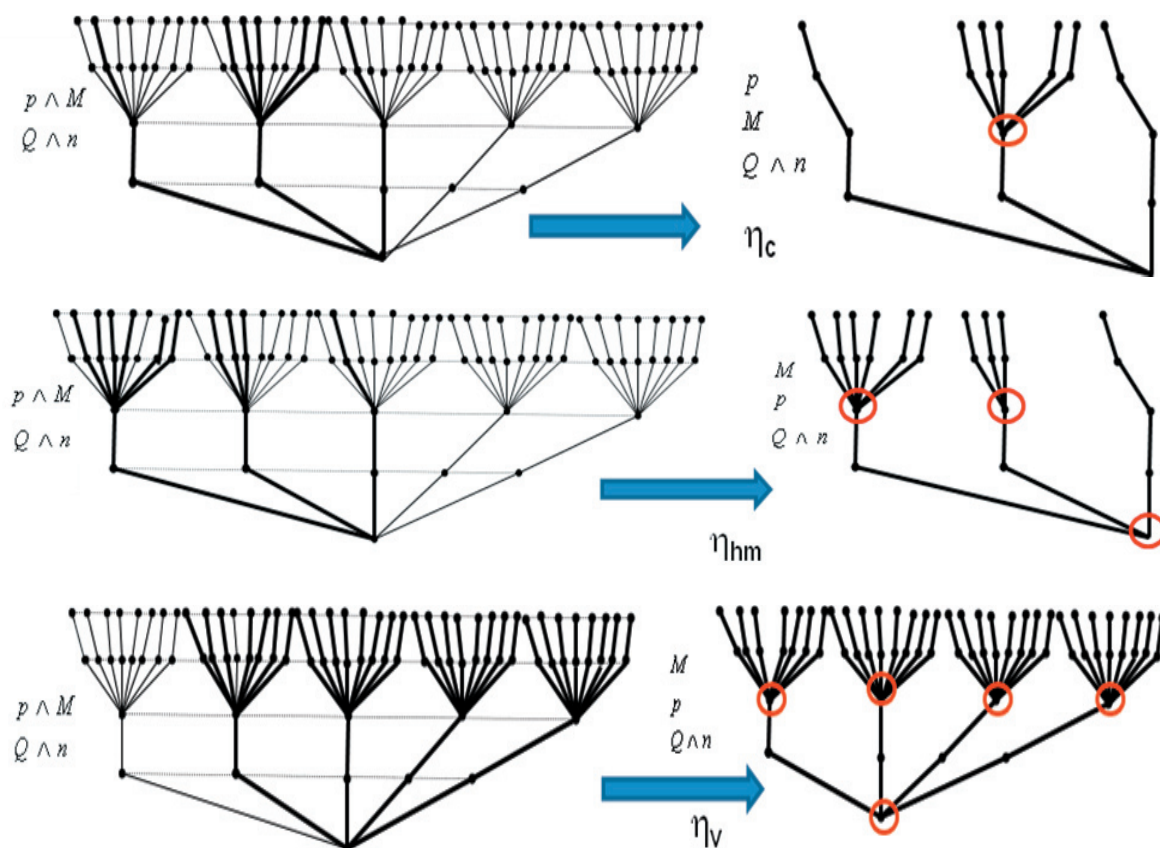
$n = 500$ [obr./min] ~ 0 ; $n = 800$ [obr./min] ~ 1 ; $n = 1000$ [obr./min] ~ 2 ; $n = 1500$ [obr./min] ~ 3 ; $n = 2000$ [obr./min] ~ 4 ;
 $p_t = 0$ [obr./min] ~ 0 ; $p_t = 5$ [obr./min] ~ 1 ; $p_t = 10$ [obr./min] ~ 2 ; $p_t = 15$ [MPa] ~ 3 ; $p_t = 20$ [MPa] ~ 4 ; $p_t = 25$ [MPa] ~ 5 ;
 $p_t = 28$ [MPa] ~ 6 ; $p_t = 30$ [MPa] ~ 7 ; $Q_{rz} \in (20,2; 21,1)$ [l/min] ~ 0 ; $Q_{rz} \in (34,2; 34,9)$ [l/min] ~ 1 ; $Q_{rz} \in (43,3; 44,5)$ [l/min] ~ 2 ; $Q_{rz} \in (65,5; 67,3)$ [l/min] ~ 3 ; $Q_{rz} \in (87,6; 89,3)$ [l/min] ~ 4 ;
 $M \in (2,0; 47,0)$ [Nm] ~ 0 ; $M \in (77,0; 125,0)$ [Nm] ~ 1 ;
 $M \in (138,0; 182,0)$ [Nm] ~ 2 ; $M \in (200,0; 259,0)$ [Nm] ~ 3 ;
gdzie $M \in (2,0; 259,0)$ [Nm] oraz $M_i \sim 0, 1, 2, 3$.

W optymalizacji pompy zębatej obliczono sprawność objętościową, hydrauliczno-mechaniczną oraz całkowitą. W pierwszym etapie badań zastosowano wielowartościowe drzewa logiczne decyzyjne do analizy rangi ważności parametrów konstrukcyjnych i/lub eksploatacyjnych pompy zębatej, następnie zastosowano kompleksowy współczynnik złożoności struktur rozgrywających parametrycznie.

Wykazano, że wśród optymalnych drzew logicznych, tzn. z najmniejszą liczbą gałęzi prawdziwych, istnieje wyróżnione drzewo optymalne, tzn. z najmniejszą wartością kompleksowego współczynnika złożoności. Za pomocą kompleksowego współczynnika złożoności struktur poszczególnych sprawności identycznie wyznaczono optymalne kompleksowe drzewa logiczne z $Q \wedge n$ przy połączonych i rozdzielnych parametrach p i M (rys. 15) [10].



Rys. 14. Charakterystyka sprawności eksperymentalnej pompy przy $n = 500$ i 800 obr./min



Rys. 15. Optymalne kompleksowe wielowartościowe drzewa decyzyjne i optymalne kompleksowe współczynniki złożoności struktur sprawności η_c , η_{hm} , η_v

Wnioski

Kompleksowy współczynnik złożoności struktur grafowych jest odpowiednikiem ilościowym i jakościowym dla decyzyjnych drzew logicznych. Wynika to z faktu, że wartość liczbową kompleksowego współczynnika złożoności koresponduje z liczbą gałęzi prawdziwych decyzyjnego drzewa logicznego. Dlatego, możliwe jest określenie rangi ważności zmiennych decyzyjnych jako odpowiedników parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych. W badanych układach najważniejsze parametry znajdują się w korzeniu drzewa z optymalną wartością kompleksowego współczynnika złożoności.

Współczynnik złożoności jest bardzo ważny z punktu widzenia zastosowania grafów i drzew rozgrywających parametrycznie jako alternatywnej metody optymalizacji dyskretnej i rangi ważności zmiennych decyzyjnych w stosunku do wielowartościowych logicznych drzew decyzyjnych. Właściwości te w ujęciu wielowartościowych optymalnych drzew logicznych, będą wykorzystywane w dalszych badaniach na opracowanie metody bezpośredniego wyznaczania optymalnego wielowartościowego drzewa logicznego z grafu zależności, opisującego dany układ maszynowy.

Literatura

- [1] Deptuła A., Analiza porównawcza optymalnych zmodyfikowanych drzew logicznych w ocenie odporności parametrów układu na zmiany warunków pracy. XXXVIII Konf. Zast. Mat., Zakopane 2009. Inst. Mat. PAN, Warszawa 2009
- [2] Deptuła A., Kompleksowy współczynnik złożoności dla struktur rozgrywających parametrycznie w optymalizacji dyskretnej pompy zębatej z podciętą stopą zęba, XLII Konf. Zast. Mat., Zakopane 2013, Inst. Mat. PAN, Warszawa 2013
- [3] Deptuła A., Partyka M. A., Application of game graphs in optimization of dynamic system structures. International Journal of Applied Mechanics and Engineering, 2010, vol.15, No.3, pp. 647-656
- [4] Deptuła A., Partyka M. A., Kompleksowy współczynnik złożoności dla struktur rozgrywających parametrycznie z grafu zależności przepływu sygnałów, XLII Konf. Zast. Mat., Zakopane 2013, Inst. Mat. PAN, Warszawa 2013
- [5] Deptuła A., Współczynnik złożoności struktury dla minimalizacji wielowartościowych funkcji logicznych, XLI Konf. Zast. Mat., Zakopane 2012, Inst. Mat. PAN, Warszawa 2012
- [6] Deptuła A., Współczynnik złożoności struktury dla wielowartościowych logicznych drzew decyzyjnych, XLI Konf. Zast. Mat., Zakopane 2012, Inst. Mat. PAN, Warszawa 2012
- [7] Francis J., Betts P. L., Modelling Incompressible Flow in a Pressure Relief Valve. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, Vol. 211, No. 2/1997, 83-93
- [8] Giergiel J., Identyfikacja układów mechanicznych. PWN, Warszawa, 1990
- [9] Kurowski W., Modelowanie obiektów technicznych, Rękopis opracowania, Płock 2001

- [10] Osiński P., Deptuła A., Partyka M. A., 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, December 2013, Pages 422- 431
- [11] Partyka M. A., The Quine- Mc Cluskey minimization algorithm of individual multiple- valued partial functions for digital control systems, 3rd Inter. Confer. Syst. Engin., Wright State University, Dayton 1984.
- [12] Stępniewski M., Pompy. WNT Warszawa 1994
- [13] Suzuki K, Urata E., Improvement of Cavitation Resistive Property of a Water Hydraulic Relief Valve. Proc. The Eighth SICFP, 1, 2003, pp. 265-276
- [14] Tomasiak E., Analiza dynamiki układu z proporcjonalnym zaworem przelewowym, Zeszyty Naukowe Politechnik Śląskiej, z. 94, Gliwice 1989
- [15] Żak J., Stefanowski J., Determining maintenance activities of motor vehicles using rough sets approach, w: Proc. of Euromaintenance'94 Conference, Amsterdam 1994

