

Piotr GENDARZ

Katedra Automatyzacji Procesów Technologicznych  
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Politechnika Śląska, Gliwice

## KONSTRUOWANIE ZORIENTOWANE NA SERYJNOŚĆ WYTWARZANIA

**Streszczenie.** Podstawowym problemem konstruowania ze względu na proces wytwarzania jest zapewnienie seryjności wytwarzania. Nowe wymagania stawiane procesom konstrukcyjnym są nie tylko zwrócone w kierunku stosowania najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych, ale także w kierunku ujmowania jak najszerszego spektrum zapotrzebowań na określoną klasę środków technicznych. Możliwe to jest przez stosowanie systemów modułowych konstrukcji. W pracy podjęto problem zapewnienia seryjności wytwarzania poprzez deagregację wartości wymiarów. Deagregacja wpływa na licznosc modułów konstrukcyjnych w systemie modułowym konstrukcji, a więc możliwość tworzenia jak największej liczby złożów ograniczoną liczbą modułów konstrukcyjnych.

## THE CONSTRUCTION BEING ORIENTED AT THE MANUFACTURING SERIALIZATION

**Summary.** The level of discretisation of dimensions values is the base problem of the creating the module system of constructions. This process is called the deaggregation of the dimensions values. Deaggregations affects the number of construction modules in a module system. In this way it affects also the production costs of technical means.

### 1. Wprowadzenie

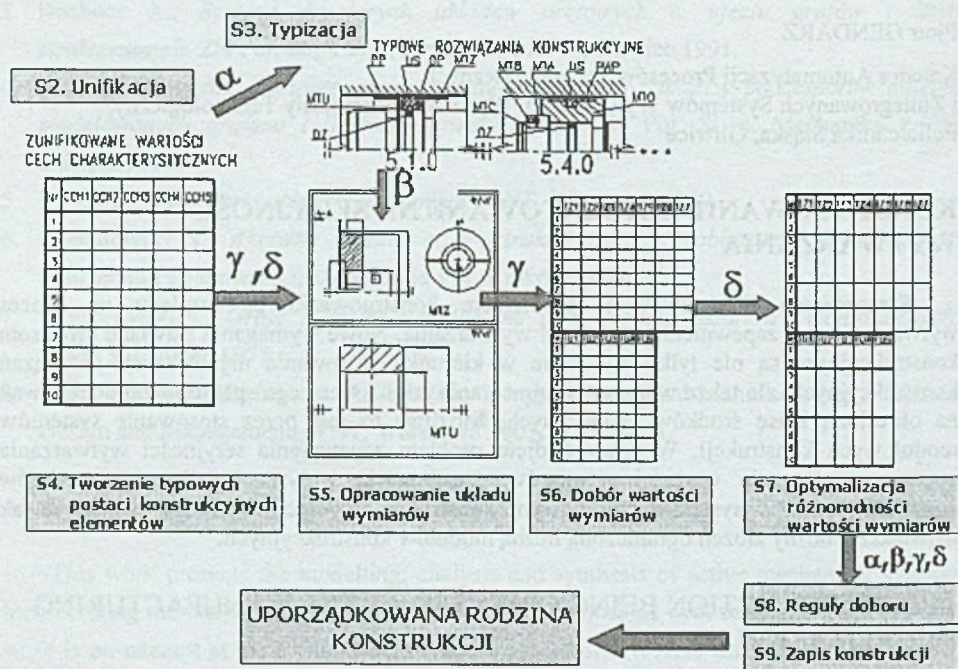
W procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji (np. typoszeregów konstrukcji, systemów modułowych konstrukcji) wyróżniono cztery podstawowe przyporządkowania między cechami, rys. 1.

Wyróżniono przyporządkowanie:

- $\alpha$  - między zunifikowanymi cechami charakterystycznymi a typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi,
- $\beta$  - między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi a typowymi postaciami konstrukcyjnymi elementów,

$\chi$  - między zunifikowanymi wartościami cech charakterystycznych a wartościami wymiarów wyróżnionych konstrukcji elementów,

$\delta$  - między zunifikowanymi wartościami cech charakterystycznych a modułami konstrukcyjnymi (typowielkościami).



Rys. 1. Uogólniony model tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji

Fig. 1. Model of the process of creation of a module system of constructions

Wymienione przyporządkowania są podstawą tworzenia reguł doboru uporządkowanych składników rodziny konstrukcji [2,3]. Najwyższą formą uporządkowania rodziny konstrukcji są systemy modułowe konstrukcji. Dają one możliwość jak najszerszego pokrycia spektrum zapotrzebowań na określoną klasę środków technicznych, zapewniając seryjność wytwarzania, a tym samym niskie koszty wytwarzania.

Z jednej strony zmierza się do jak najmniejszej liczby modułów konstrukcyjnych, co zwiększa seryjność wytwarzania, z drugiej strony do minimalizacji przewymiarowania (zawyzania wartości wymiarów), co skłania do tworzenia jak najliczniejszego zbioru modułów konstrukcyjnych. Dodatkowym zagadnieniem jest spełnianie kryterium tożsamości wymiarów sprzężonych między konstrukcjami współdziałających elementów. W celu rozwiązania powstałych antynomii opracowano metody deagregacji ilościowych cech konstrukcyjnych, z zastosowaniem teorii automatycznej klasyfikacji, związanych z tworzeniem przyporządkowania  $\delta$ . Podstawowymi metodami automatycznej klasyfikacji



dostosowanymi do potrzeb klasyfikacji konstrukcji elementów są metody hierarchicznej i iteracyjnej klasyfikacji zaczerpnięte z teorii *Cluster Analyse*.

## 2. Skrajne stany przyporządkowania $\delta$

W wielu pracach nad utworzeniem uporządkowanych rodzin konstrukcji zaprzestaje się na utworzeniu przyporządkowania  $\gamma$ , rys.1, rezygnując z deagregacji wartości wymiarów. Takie tworzenie uporządkowanych rodzin konstrukcji skazuje zakład wytwórczy na straty ekonomiczne [3], rezygnując z efektów ekonomicznych wynikających z seryjności wytwarzania, a także recyrkulacji uporządkowanych środków technicznych. Danymi wejściowymi w tym stadium są: macierz parametrów  $x_{ia}^*$ ; ( $i=1, iz, a=1, az$ ) oraz macierze zmiennych wartości wymiarów  $y_{ml}^i$ ; ( $m=i, l=1, lv_i$ ). Aby zilustrować problem deagregacji dla zunifikowanych wektorów potrzeb i typowej postaci konstrukcyjnej elementu  $\Pi_{im}^*$ , rozważa się jako wynik przyporządkowania  $\delta$  dwa następujące skrajne stany, (rys. 2):

S1 - wszystkim wektorom potrzeb odpowiada jedna uporządkowana konstrukcja,

S2 - każdemu wektorowi potrzeb odpowiada jedna uporządkowana konstrukcja.

Stan S1 jest korzystny głównie ze względu na seryjność wytwarzania oraz wymiennosc elementów, natomiast stan S2 jest korzystny ze względu na minimalizację przewymiarowania konstrukcji, a więc minimalizację masy i maksymalne wyłączenie materiału.

Wyróżniono trzy podstawowe metody tworzenia przyporządkowania  $\delta$ :

1. **Metoda selekcji wymiarów  $\delta_A$**  - polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{x}_i^u$ , takich konstrukcji, w których deagregację wartości wymiarów dokonuje się na podstawie istotnych wymiarów rodziny konstrukcji  $wl_i^{RK}$ .
2. **Metoda relacji sprzężeń  $\delta_B$**  - polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{x}_i^u$ , takich konstrukcji, których deagregację wartości wymiarów  $wv_i^{tcj}$ ; ( $l=1, lv_i$ ) przeprowadza się zgodnie z relacjami sprzężeń, według grafu  $G(\Pi_{im}^{tcj})$ .
3. **Metoda iteracyjnego doboru  $\delta_C$**  - polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{x}_i^u$ , takich konstrukcji, w których deagregację wartości wymiarów przeprowadza się w trakcie dobierania cech konstrukcyjnych według digrafu kolejności konstruowania  $GK(\Pi_{im}^{tcj})$ .

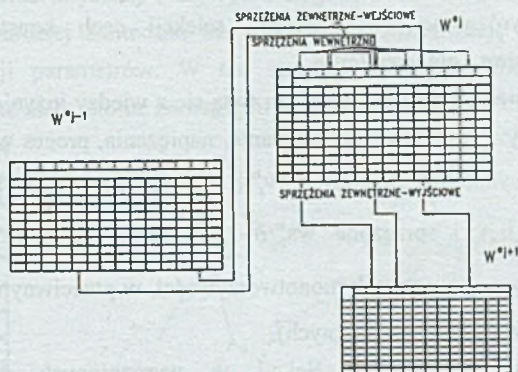
W pracy przedstawiona zostanie 1 i 2 metoda deagregacji. W celu racjonalnego utworzenia przyporządkowania  $\delta$  niezbędne jest określenie relacji sprzężeń oraz zastosowanie metod pozwalających na wybór istotnych wymiarów rodziny konstrukcji.





Ramionom grafu odpowiadają relacje między wymiarami sprzężonymi. Wśród relacji sprzężeń między wymiarami wyróżnia się sprzężenia zewnętrzne oraz wewnętrzne. *Sprzężenia zewnętrzne* ( $SPe_{j-1} - e_j$ ) to sprzężenia między wymiarami różnych współdziałających elementów. Wyróżniono sprzężenia zewnętrzne – wejściowe między wymiarami elementów  $W_1^{e_{j-1}} (l=1, l_{v_{j-1}}) \uparrow W_1^{e_j} (l=1, v_j)$  oraz sprzężenia zewnętrzne – wyjściowe między wymiarami elementów  $W_1^{e_j} (l=1, l_{v_j}) \downarrow W_1^{e_{j+1}} (l=1, l_{v_{j+1}})$ .

Natomiast *sprzężenia wewnętrzne* ( $SPe_j - e_j$ ) to sprzężenia między wymiarami zależnymi tej samej konstrukcji elementu  $e_j$ . Model relacji sprzężeń między wymiarami elementu  $e_j$ , których zmienne wartości wymiarów zapisane są tabelarycznie, przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Model relacji sprzężeń elementu  $e_j$

Fig. 4. Model of conjugation relation for the element  $e_j$

Sprzężenia zewnętrzne i wewnętrzne zapisywane są w formie trójkolumnowych macierzy. Dla sprzężeń zewnętrznych,

$$SPe_{j-1} - e_j \rightarrow [a(k), rel(k), b(k)],$$

gdzie:  $j-1, j$  – oznaczenia współdziałających ze sobą elementów,

$k$  – kolejny numer sprzężenia.

Natomiast dla sprzężeń wewnętrznych elementu  $e_j$ ,

$$SPe_j - e_j \rightarrow [a(k), rel(k), b(k)]$$

Oznaczeniom kolumn odpowiadają:

- $a(k)$  – numer wymiaru elementu sprzężonego,
- $rel(k)$  – relacja między wymiarami (przyjęto następujące oznaczenia: 1= $\rightarrow$ , 2= $\rightarrow$ , 3= $\rightarrow$ , 4= $\leftarrow$ , 5= $\leftarrow$ , 6= $\rightarrow$  (odpowiednio)),
- $b(k)$  – numer wymiaru elementu sprzężanego.

#### 4. Selekcja wymiarów

Reprezentatywne wymiary rodziny konstrukcji mają duży wpływ na określenie zmienności ilościowych cech konstrukcyjnych. Są niezbędne przy oszacowaniu różnorodności konstrukcyjnej, szczególnie przy tworzeniu przyporządkowania  $\delta_A$  i  $\delta_B$ . Do tej grupy wymiarów należą wymiary główne rodziny konstrukcji  $wG_i^{RK}$ , od których zależy działanie środka technicznego. Są bezpośrednio zależne od głównych cech charakterystycznych. Istotność wymiaru wynika z wpływu ilościowych cech charakterystycznych na dobór ilościowych cech konstrukcyjnych elementów. Selekcja wymiarów istotnych polega na wyeliminowaniu wymiarów powtarzających się i skorelowanych, aby uniknąć dominacji cech w stadium deagregacji ilościowych cech konstrukcyjnych. Wyróżniono dwie metody selekcji cech konstrukcyjnych rodziny konstrukcji: *heurystyczną i algorytmiczną*.

Selekcjonując cechy metodą heurystyczną, korzysta się z wiedzy inżynierskiej, na podstawie której określa się wpływ wymiarów na: działanie, naprężenia, proces wytwarzania i koszty. Podstawową grupę wymiarów zmiennych  $wI_i^{lcj}$  ( $i=1, l_{z_v}$ ), stanowią wymiary geometryczne: gabarytowe  $wG_i^{lcj}$  ( $i=1, l_{z_s}$ ) i sprzężone  $wS_i^{lcj}$  ( $i=1, l_{z_s}$ ) (przy założeniu stałości wymiarów tworzywowych,  $w_{(0)j}^{lcj} = \text{const}$  - warunek monotworzywości, w przeciwnym razie również będą uwzględniane w zbiorze wymiarów istotnych).

Przyjęto następujące kryteria selekcji w wyróżnionych zbiorach wymiarów gabarytowych i sprzężonych:

- 1) wymiary sprzężone związane z głównymi cechami charakterystycznymi  $CCH_j^E$  i głównymi wymiarami  $wG_i^{RK}$ ,

$$wI_i^{RK} = wI_i^{lcj} f(CCH_j^E), \quad (1)$$

- 2) wymiary gabarytowe elementów  $wG_i^{lcj}$  (jako wymiary istotne wpływające głównie na masę środka technicznego, naprężenia, proces wytwarzania i koszty)

$$wI_{l_2}^{RK} = \bigcup wG_i^{lcj}, \quad (2)$$

- 3) wyłączenie wymiarów powtarzających się należących jednocześnie do obu grup wymiarów istotnych  $wI_{l_1}^{RK}$  i  $wI_{l_2}^{RK}$

$$wI_{l_3}^{RK} = (wI_{l_1}^{RK} \cap wI_{l_2}^{RK}), \quad (3)$$

Ogólna zależność wyznaczenia wymiarów istotnych

$$wI_{l_1}^{RK} = wI_{l_1}^{RK} \cup wI_{l_2}^{RK} \cup wI_{l_3}^{RK} \quad (4)$$

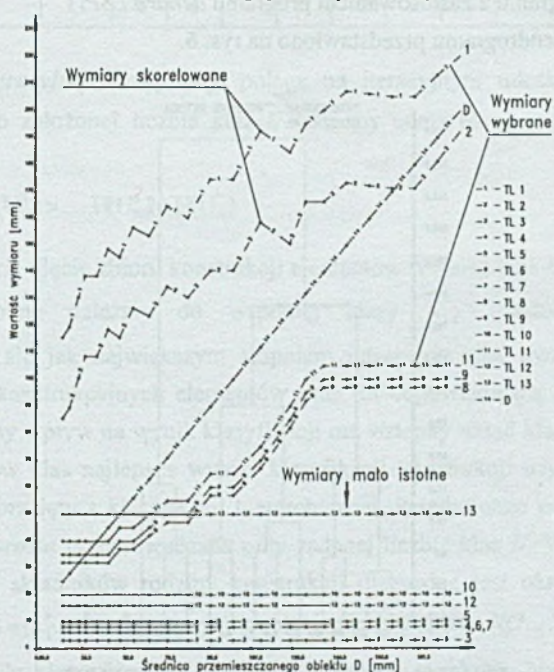
Kolejną metodą selekcji wymiarów jest metoda algorytmiczna, która polega na analizie zmienności wartości wymiarów elementów w zależności od wartości głównych cech



charakterystycznych zapisanych w postaci wykresów. Wyróżniono następujące stadia metody:

- 1) uporządkowanie wektorów konstrukcji  $\bar{Y}_m^c: (j-1, jz) \leftarrow (\bar{X}_i^u)$  według wzrastających wartości wektorów potrzeb,
- 2) utworzenie wykresów graficznych (rys. 5),
- 3) wyróżnienie grup wymiarów: zmiennych - zależnych od parametrów, zmiennych - ze sobą skorelowanych, mało istotnych (rys. 5),
- 4) wybór wymiarów istotnych dla poszczególnych elementów spośród wymiarów zmiennych - zależnych od parametrów, eliminacja wymiarów skorelowanych poprzez wybór wymiaru charakteryzującego się maksymalnymi wartościami.

Wyniki metody heurystycznej i algorytmicznej są podobne. Niemniej jednak metoda algorytmiczna jest bardziej skuteczna ze względu na wizualizację zmienności wartości wymiarów w funkcji parametrów. W ten sposób skuteczniej eliminuje się wymiary skorelowane, stałe oraz mało istotne ze względu na parametry rodziny konstrukcji.



Rys. 5. Zmienność wymiarów elementu MTL w zależności od D

Fig. 5. Variability of dimensions of the element MTL as a function of D

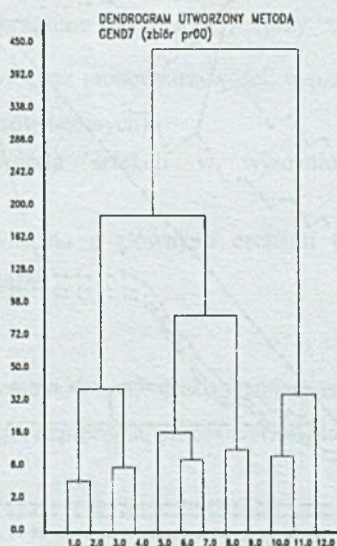
## 5. Metody hierarchicznej i iteracyjnej klasyfikacji

Na podstawie teorii Cluster Analysis wybrano metody hierarchicznej i iteracyjnej klasyfikacji oraz dostosowano do potrzeb klasyfikacji konstrukcji. Metody *hierarchicznej*

klasyfikacji to metody przedstawiające różnorodność cech obiektów (w niniejszej pracy zbiorów konstrukcji elementów  $ks_m^{iz}$  ( $m=1, iz$ ) w postaci dendrogramów. Wyróżniono następujące stadia hierarchicznej klasyfikacji konstrukcji, które algorytmizowano i ujęto w postaci programu GEN 323:

- 1) czytanie macierzy parametrów  $x_m^u$  i macierzy danych  $y_m^{v_j}$ ,
- 2) zapis cech w formie tablic,
- 3) obliczenie zróżnicowania między konstrukcjami z zastosowaniem miary euklidesowej pierwszego rzędu [1, 2, 3],
- 4) wybór konstrukcji o najmniejszym zróżnicowaniu (największym podobieństwie) i obliczenie miar zróżnicowania między nowo utworzoną klasą a pozostałymi konstrukcjami lub klasami aż do momentu uzyskania jednej klasy z wszystkimi konstrukcjami,
- 5) wygenerowanie plików do zapisu dendrogramów,
- 6) zapis dendrogramu z zastosowaniem programu *dendro.LSP*.

Przykładowy zapis dendrogramu przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Dendrogram hierarchicznej klasyfikacji utworzony metodą GEND7

Fig. 6. Dendrograms of hierarchical classification created using methods GEND7

W programie GEN 323 generowany jest również zapis układów klas  $UH_N^0(A_1^0, \dots, A_N^0)$  dla  $N=2-(M-1)$  w formie pliku (RK\_kla), tabl. 1.



Zapis układów klas dla  $N=2-(M-1)$   
 Notation of the class systems for  $N=2 - (M-1)$

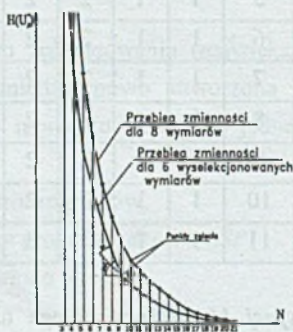
Nr konstrukcji		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Układ klas $U(N)$ dla $N=$	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3
	4	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
	5	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5
	6	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6
	7	1	1	2	2	3	4	4	5	5	6	6	7
	8	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7	7	8
	9	1	1	2	2	3	4	4	5	6	7	8	9
	10	1	1	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Metoda *iteracyjnej klasyfikacji* polega na iteracyjnym udoskonalaniu wstępnego układu klas  $U_N^0$  o założonej liczbie klas  $N$  tak, aby sumaryczne rozproszenie klas było minimalne [1]:

$$H(U_N^0) > H(U_N^1) > H(U_N^2) > \dots H(U_N^z) = H(U_N^*) \quad (5)$$

Pozwala to na takie ujęcie zbioru konstrukcji elementów w układ klas  $U_N = \{A_1, A_2, \dots, A_N\}$ , aby konstrukcje podobne należały do wspólnej klasy  $A_i$ , natomiast klasy  $A_i, A_j$  charakteryzowały się jak największym stopniem odseparowania, uwzględniając strukturę zmienności cech konstrukcyjnych elementów oraz im odpowiadającą strukturę zmienności parametrów. Istotny wpływ na wynik klasyfikacji ma wstępny układ klas. Spośród 5 różnych wstępnych układów klas najlepsze wyniki klasyfikacji konstrukcji uzyskano, gdy wstępny układ klas został przejęty z klasyfikacji hierarchicznej. Przedmiotem powyższych rozważań jest *klasyfikacja prosta* przeprowadzana przy zadanej liczbie klas  $N$ . W procesie tworzenia uporządkowanych składników rodziny konstrukcji niezbędne jest określenie optymalnego układu klas  $U_{N0}^* = \{A_1^*, A_2^*, \dots, A_{N_0}^*\}$  o optymalnej liczbie klas  $N_0$ . W celu osiągnięcia optymalnego układu klas  $U_{N0}^* = \{A_1^*, A_2^*, \dots, A_{N_0}^*\}$ , wybranego z zakresu  $N=2-(m-1)$ , (gdzie  $m$  – liczba klasyfikowanych konstrukcji), podjęte jest drugie stadium klasyfikacji konstrukcji, nazywane *klasyfikacją złożoną*. Wyboru optymalnego układu klas dokonuje się na podstawie miar oceny układów klas  $H(U_N^*)$  i  $D(U_N^*)$  [3]. Złożoność klasyfikacji wynika z monotoniczności (bez ekstremów) obu miar oceny wraz ze wzrostem liczby klas  $N$ . Funkcja wyznaczenia optymalnej liczby klas powinna być tak opracowana, aby pozwalała na wybór tych układów klas, które najlepiej odpowiadają strukturze zmienności cech konstrukcyjnych.

Podstawą oceny są zdefiniowane w pracy [3] funkcje celu FC1 – FC7. Najlepsze wyniki uzyskano dla funkcji celu FC5 – maksymalnego kąta zgięcia. Zmiennosc sumarycznego rozproszenia  $\square$  EMBED Equation.3  $H(U_N^*)$   $\square$  charakteryzuje się tym, że dla liczb klas najbardziej przyporządkowanych strukturze zmienności cech ma miejsce wyraźne zgięcie przebiegu funkcji. Punkt zgięcia charakteryzuje się największym kątem  $ga$ . Przykład przebiegu zmienności sumarycznego rozproszenia wraz z punktem zgięcia przedstawiono na rys. 7.



$\square$  EMBED AutoCAD.Drawing.15  $\square$

Rys. 7. Zmienność sumarycznego rozproszenia a kąt zgięcia

Fig. 7. Variability of the summary dissipation and the bend angle  $ga$

Wyróżniono następujące kąty, rys. 7:

$$\square$$
 EMBED Equation.3  $gaA = \arctg \frac{H(U_{N-1}^*) - H(U_N^*)}{dz}, \quad (6)$

$$gaB = \arctg \frac{H(U_N^*) - H(U_{N+1}^*)}{dz}, \quad (7)$$

$$ga = gaA - gaB, \quad (8)$$

gdzie:  $dz$  – dzielnik wrażliwości wartości sumarycznego rozproszenia, dla  $H(U_2^*) \leq 10000$  to  $dz=10$ , dla kolejnych większych wartości  $H(U_2^*) \leq 10^p$  to  $dz=10^{p-3}$ .

Dzielnik wrażliwości  $dz$  został wprowadzony ze względu na możliwość łatwego zidentyfikowania punktu zgięcia. Przy dużych wartościach  $H(U_N^*)$  uzyskiwano kąty  $gaA$  i  $gaB \sim 90^\circ$  i bardzo mały kąt  $ga$ .

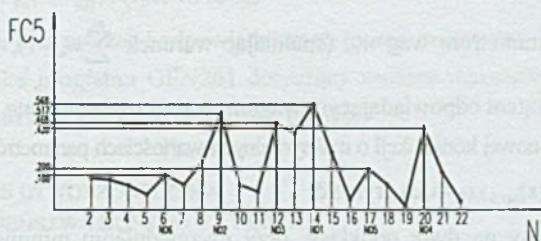
Aby wyróżnić pierwsze miejsce zgięcia, tworząc jak najmniej liczne typoszeregi (szeregomoduły) przy ostatecznym wyznaczaniu funkcji celu, kąt  $ga$  podzielono przez  $N$ -liczbę klas.

$$FCS(N) = \frac{ga}{N}, \quad (9)$$

$$N \xrightarrow{FCS(N) \rightarrow \text{ekst}(\max)} NO. \quad (10)$$



Wynikiem może być więcej punktów zgięcia. Przykład wraz z wynikami przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Zmienność wartości funkcji celu FC5 dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych  
Fig. 8. Variability of the values of the objective function FC5 for essential dimensions of tongs grippers

Dla tak utworzonego układu klas dokonuje się wyboru reprezentantów klas na podstawie maksymalnych wartości cech charakterystycznych, odpowiadających klasie. Metodę zalgorytmizowano i zestawiono w programie GEN 261.

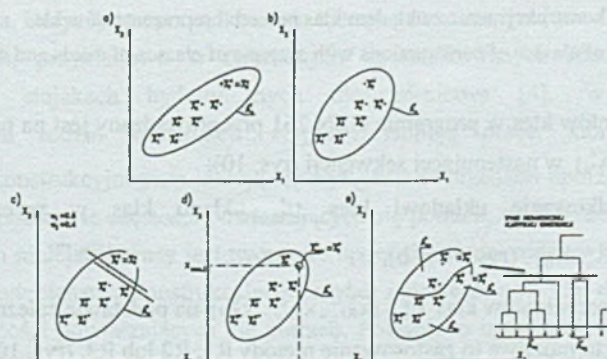
## 6. Wybór reprezentanta klasy na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego

Układowi klas konstrukcji  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$  odpowiada układ klas potrzeb  $U_N^u = \{A_1^u, \dots, A_n^u, \dots, A_N^u\}$ . Wynikiem ujednocnienia jest przyporządkowanie podzbiorowi potrzeb, jednej konstrukcji, co wiąże się z przewymiarowaniem. Podstawą wyboru reprezentanta klasy  $ks_R^n$  są maksymalne wartości parametrów  $x_{ia}^u (i \in A_n^u)$ , odpowiadające klasie  $A_n^u$ . Jeżeli spełniony zostanie warunek, rys. 9a,

$$\bigwedge_{x_i \in A_n} \bigvee_{x_k \in A_n} x_{ka}^u \geq x_{ia}^u; (a = 1, az), \quad (11)$$

to reprezentantem klasy  $A_n^*$  jest konstrukcja,

$$\overline{X_R^n} \rightarrow \overline{Y_R^n} \rightarrow ks_{Rn}^{lcj}. \quad (12)$$

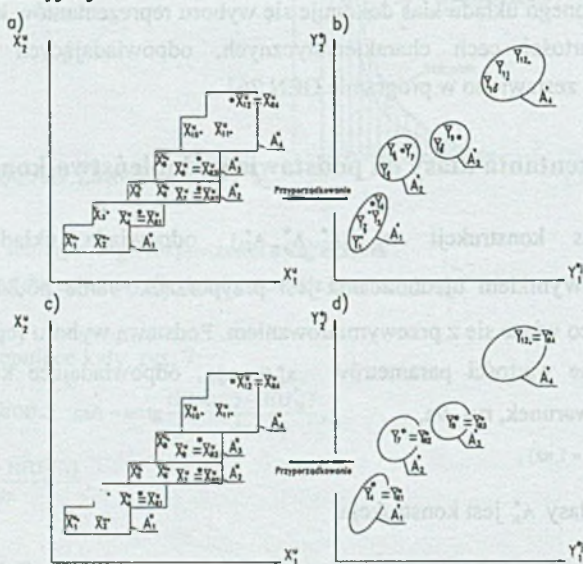


Rys. 9. Wybór reprezentantów klas

Fig. 9. Choosing the representatives of classes

Jeżeli nie jest spełniony warunek (11), czemu odpowiada rys. 9b, to zastosowane są następujące rozwiązania:

- R1 - nadanie parametrom wag  $w_a$ , (spełniając warunek  $\sum_{a=1}^{az} w_a = 1$ ), i na podstawie linii nachylonej pod kątem odpowiadającym wagom, wybór reprezentanta klasy, rys. 9c,
  - R2 - opracowanie nowej konstrukcji o maksymalnych wartościach parametrów odpowiadających klasie  $A_n^u$ , ( $\overline{X_{\max}^u}$  ( $X_{\max,a}^u$ ); ( $a = 1, az$ ), rys. 9d,
  - R3 - podział klasy na dwie podklasy, przy uwzględnieniu minimalnego rozproszenia układów klas wynikającego z zapisu w postaci dendrogramu, rys. 9e.
- W metodzie wyboru R1 i R2 klasie będzie odpowiadał jeden reprezentant klasy. Natomiast w metodzie R3 wynikiem mogą być dwa lub więcej reprezentantów klas, ale dostosowanych do zmienności konstrukcyjnej.



Rys. 10. Układ klas konstrukcji wraz z układem klas potrzeb i reprezentantów klas

Fig. 10. The system of classes of constructions with systems of classes of needs and representatives

Wybór reprezentantów klas w programie GEN 261 przeprowadzany jest na podstawie układu klas  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$  w następującej sekwencji (rys. 10):

1. przyporządkowanie układowi klas  $U_N^*$  układu klas w przestrzeni potrzeb  $U_N^u = \{A_1^u, \dots, A_n^u, \dots, A_N^u\}$ , (rys. 10 a, b),
2. wybór reprezentantów klas  $R_N^u = \{\overline{X}_{R1}^u, \dots, \overline{X}_{Rn}^u, \dots, \overline{X}_{RN}^u\}$  na podstawie zależności (11), jeżeli nie będzie to możliwe to zastosowanie metody R1, R2 lub R3, (rys. 10 c),



3. przyporządkowanie reprezentantom potrzeb, reprezentantów konstrukcji

$$R_y^c = \{\bar{Y}_{R1}^c, \bar{Y}_{R2}^c, \dots, \bar{Y}_{RN}^c\}, \text{ (rys. 10 c, d),}$$

4. zapis układu klas potrzeb i odpowiadających im reprezentantów konstrukcji.

Fragment wyniku programu GEN261 dotyczący wyboru reprezentantów klas elementu MDZ na podstawie układu klas, przedstawiono poniżej.

#### ZAPIS UKŁADU KLAS UTWORZONEGO NA PODSTAWIE PODOBIENSTWA KONSTRUKCYJNEGO

\*\* NO= 8

NR Ks: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21  
22 23

NR KL: 1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 7 7 7 7 7 7  
8 8

\*\*\* REPREZENTANCI KLAS \*\*\*

.. 2 4 7 10 14 15 21 23

Wynikiem jest zbiór reprezentantów klas  $R_y^c = \{\bar{Y}_{R1}^c, \bar{Y}_{R2}^c, \dots, \bar{Y}_{RN}^c\}$  odpowiadający liczbie klas  $N$ , wybrany na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego. Dla uporządkowania wyprzedzającego podstawą wyboru reprezentantów klas jest podobieństwo konstrukcyjne, natomiast w rodzinach konstrukcji, w których miał miejsce proces wytwarzania i użytkowania, należy uwzględnić dodatkowo częstości powtarzających się potrzeb aktualnych  $v_i$ .

### 7. Modyfikacja wyboru reprezentantów klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb

Częstości powtarzających się potrzeb  $v_i$  (związane z seryjnością wytwarzania) charakteryzują aktualne zapotrzebowanie  $\bar{x}_i^a$  w rodzinie konstrukcji  $RK_n$  przed podjęciem jej uporządkowania. Dotyczy to uporządkowania bieżącego z zastanym już zróżnicowaniem cech konstrukcyjnych, przykładowo w tworzonych uporządkowanych rodzinach konstrukcji siłowników i stojakach hydraulicznych dla górnictwa [4]. W uporządkowaniu wyprzedzającym rodzin konstrukcji  $v_{i=1,jz} = 0$ . Istnieją prace, które nie rozważają podobieństwa konstrukcyjnego, a kierują się wyłącznie tworzeniem uporządkowanej rodziny konstrukcji na podstawie częstości powtarzających się potrzeb, np. uszczelnień wałów turbin [3]. Założeniem niniejszej pracy jest tworzenie uporządkowanej rodziny konstrukcji głównie na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego, wybór reprezentantów klas dokonywany jest na podstawie częstości powtarzających się potrzeb. Pozwoli to optymalnie zróżnicować cechy konstrukcyjne i uwzględnić stan zastany w rodzinie konstrukcji  $RK_n$ . Przykład zapotrzebowania odnoszącego się do wektorów potrzeb aktualnych przedstawiono na rys. 11.

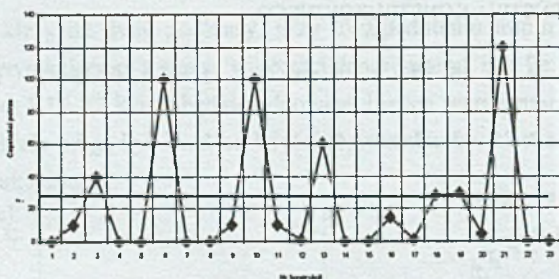
Podstawą dodatkowego wyboru reprezentanta klasy jest zależność,

$$\bigwedge_{X_i \in A_n} \bigvee_{X_R} v_R > v_{sr} + a, \quad (13)$$

gdzie:  $a$  - stała przyjęta w zależności od rodzaju rodziny konstrukcji [dr],

$v_{sr}$  - średnia częstość powtarzających się potrzeb rodziny konstrukcji,

$$v_{sr} = \frac{\sum_{i=1,12} v_i}{iz} \quad (14)$$



Rys. 11. Częstości powtarzających się potrzeb rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych  
Fig. 11. Frequency of repeating needs for the family of constructions of tongs grippers

Jeżeli reprezentant klasy wybrany na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego ponownie zostanie wybrany na podstawie częstości powtarzających się potrzeb, to wybór reprezentanta klasy pozostaje bez zmian. Przykład modyfikacji układu klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb (rys. 11), z zastosowaniem programu GEN 261 dla rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych, przedstawiono poniżej:

ZAPIS OPTYMALNEGO UKŁADU KLAS UTWORZONEGO NA  
PODSTAWIE PODOBIEŃSTWA KONSTRUKCYJNEGO

\*\* NO= 12

NR Ks: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18  
19 20 21 22 23

NR KL: 1 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 8 9 9 10  
10 11 11 12 12

\*\*\* REPREZENTANCI KLAS \*\*\*

.. 2 5 7 9 11 13 14 15 17 19 21 23

ZAPIS ZMODYFIKOWANEGO NA PODSTAWIE  
CZĘSTOŚCI POWTARZAJĄCYCH SIĘ POTRZEB UKŁADU KLAS

\*\* NO= 15

NR Ks: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18  
19 20 21 22 23

NR KL: 1 1 2 3 3 4 5 6 6 7 8 9 9 10 11 12 12 13  
13 14 14 15 15

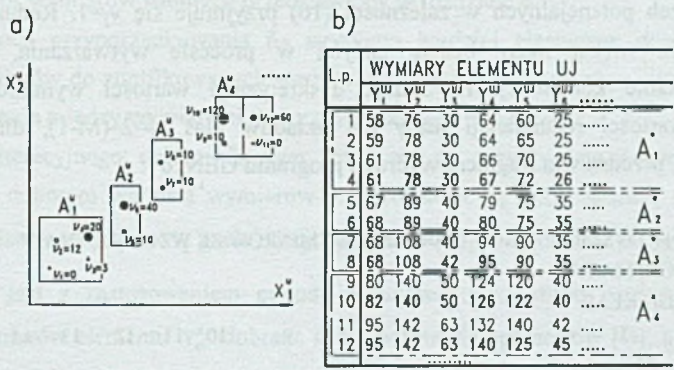


CZĘSTOŚĆ: 0.0 10.0 40.0 0.0 0.0 100.0 0.0 0.0 10.0 100.0 10.0 0.0 60.0 0.0 0.0 15.0 0.0 28.0  
 30.0 5.0 120.0 0.0 0.0

\*\*\*\*\* REPREZENTANCI KLAS \*\*\*\*\*

... 2 3 5 6 7 9 10 11 13 14 15 17 19 21 23

Model wyboru reprezentantów klas z uwzględnieniem częstości powtarzających się potrzeb przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Model wyboru reprezentantów klas  
 Fig. 12. Model of choosing the representative of classes

Przestrzeń potrzeb opisana jest przez dwa parametry  $\{X_1^*, X_2^*\}$ , (rys. 12), natomiast przestrzeń konstrukcji przez tabelaryczny zapis wartości wymiarów (rys. 12b). Układ klas konstrukcji  $U_N^* = \{A_1^*, A_2^*, A_3^*, A_4^*, \dots\}$  na podstawie odpowiedniości zostaje przeniesiony do przestrzeni potrzeb, tworząc układ klas  $U_N^u = \{A_1^u, A_2^u, A_3^u, A_4^u, \dots\}$ . Układ klas  $U_N^u$ , ze względu na częstości potrzeb, zgodnie z zależnościami (13) i (14), zostaje przekształcony w układ klas  $U_N^{**} = \{A_1^{**}, \dots, A_n^{**}, \dots, A_N^{**}\}$ . Korzystając z zasad wyboru reprezentantów klas tworzony jest zbiór  $R_{jv}^{c_j} = \{\bar{Y}_{R1}^{c_j}, \dots, \bar{Y}_{Rn}^{c_j}, \dots, \bar{Y}_{RN}^{c_j}\}$ , rys. 12b.

### 8. Ocena układów klas ze względu na redundancję masy

Na podstawie układów klas, po pierwszym stopniu optymalizacji (dla  $N=2-(M-1)$ ) i wyznaczonych reprezentantach klas, możliwe jest określenie stopnia przewymiarowania konstrukcji analizując masy elementów przed- i po ujednoczeniu. Tym wskaźnikiem może być masa obliczana teoretycznie (z zastosowaniem wzorów matematycznych, programów obliczeniowych lub programów graficznych), będąca odpowiednikiem rzeczywistej masy konkretnego elementu  $m_j^{c_j}$  lub środka technicznego  $m_j^{RK}$ . W celu oceny stopnia przewymiarowania układu klas konstrukcji zastosowano **redundancję masy układu klas**  $\Delta R_{MN}$ , obliczaną według zależności:

$$RM_N = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in A_n} (m_{R_n} - m_j) \quad (15)$$

Uwzględniając częstości powtarzających się potrzeb redundancja masy układu klas,

$$RM_N = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in A_n} v_j (m_{R_n} - m_j). \quad (16)$$

Dla potrzeb potencjalnych w zależności (16) przyjmuje się  $v_j=1$ . Redundancja masy określa, o ile więcej masy będzie zużytej w procesie wytwarzania, gdy nastąpi przewymiarowanie konstrukcji na skutek dyskretyzacji wartości wymiarów. Przykład zmienności wartości redundancji masy dla układów klas  $N=2-(M-1)$ , dla chwytaków kleszczowych, przedstawia fragment wydruku programu GEN261:

**\*\*MIARA OCENY DYSKRETYZACJI WARTOŚCI WYMIARÓW ZE WZGLĘDU NA \*\***

**\*\* REDUNDANCJĘ MASY \*\***

NUMER UKŁADU KLAS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21													

UKŁAD KLAS N=

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22													

REDUNDANCJA MASY

70.5	45.8	32.4	28.1	17.1	15.6	13.0	9.3	7.1	6.6	5.1	4.8	4.6	4.3	4.2	3.4	3.1
1.2	1.2	1.0	.4													

REDUNDANCJA MASY Z UWZGLĘDNIENIEM CZĘSTOŚCI

1215.0	1419.2	813.2	588.1	514.5	247.5	387.7	179.8	177.7	162.0	89.3	89.0	80.2	50.2	50.1	49.3	49.0
21.1	16.1	15.0	.4													

Zmienność redundancji mas w funkcji liczby klas charakteryzuje się ustopniowaną zmiennością wartości, która ze wzrostem liczby klas maleje. W celu wyboru układu klas na podstawie redundancji mas stosowano funkcję celu  $FC5(U_N^*)$  przedstawioną w rozdz. 5. W zależnościach (6) i (7) zastępuje się sumaryczną zawartość klas  $H(U_N^*)$  redundancją masy  $RM_N$ . Zaleceniem jest taki wybór układu klas, aby charakteryzował się jak największym spadkiem redundancji mas, małą liczbą klas i po której nastąpi ustabilizowanie zmienności redundancji mas.

## 9. Przyporządkowanie $\delta_A, \delta_B, \delta_C$

Przeprowadzone eksperymenty oraz praktyczne wyniki uporządkowania rodzin konstrukcji: sprzęgieł, siłowników hydraulicznych, chwytaków potwierdziły słuszność stosowania przyporządkowania  $\delta$ .



Za pomocą przyporządkowania  $\delta_A$  uzyskano mniej liczne szeregi modułowe (typoszeregi) elementów tworzących uporządkowaną rodzinę konstrukcji. Ale jej zastosowanie ograniczało się do rodzin konstrukcji, w których parametry nie są ściśle związane z cechami konstrukcyjnymi. W przeciwnym razie uzyskano selekcję konstrukcji składowych spełniając kryteria klasyfikacji. W tworzeniu przyporządkowania  $\delta_A$  decyduje właściwy dobór wymiarów istotnych przedstawiony w rozdziale 4.

Za pomocą przyporządkowania  $\delta_B$  uzyskano bardziej elastyczne dostosowanie się wartości wymiarów do zunifikowanych wartości parametrów, ale spełniając bardziej złożone relacje sprzężenia między wymiarami, które przedstawiono w rozdziale 3.

Metoda iteracyjnego doboru  $\delta_C$  tym różni się od metody relacji sprzężeń  $\delta_B$ , że równoległe z doбором wartości wymiarów przeprowadza się optymalizację różnorodności wartości wymiarów na podstawie grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{lc_j})$ . Tworzenie przyporządkowania  $\delta_C$  związane jest z zastosowaniem metody algorytmicznej doboru wartości wymiarów. Wartości wymiarów elementu  $Y_m^{c_j}$  dobrane są na podstawie operatorów [O], a następnie, po ujednoczeniu  $Y_m^{c_j}; (j=1, jz; m=i) \rightarrow Y_m^{lc_j}; (j=1, jz; m=1, mo_j)$ , weryfikowane konstrukcyjnie. Jeżeli zaistnieje taka konieczność, następuje iteracyjna modyfikacja wartości wymiarów dla wartości parametrów odpowiadających reprezentantowi klasy, których wybór opisany został w rozdz. 6 i 7.

Wynikiem przyporządkowania  $\delta$  są optymalnie zróżnicowane wartości wymiarów elementów, które mogą być podstawą parametrycznego zapisu konstrukcji przedstawionego w pracy [5].

## Literatura

1. Bock H. H., *Automatische Klassifikation*. Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen 1974.
2. Pahl G., Beitz W., *Nauka konstruowania*. WNT, Warszawa 1984.
3. Gendarz P., *Podobieństwo konstrukcyjne w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji*. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej CAE. Kudowa Zdrój, listopad 1998, s. 213 - 220.
4. Gendarz P., *Metodologia tworzenia uporządkowanych zbiorów konstrukcji maszyn*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Mechanika z. 141. Gliwice 2002.
5. Gendarz P., *Parametryzacja w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji*. Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej Komputerowe Wspomaganie Prac Inżynierskich. Polanica Zdrój 31.V-3 - VI.2000, s. 321, tom I.

## Abstract

Basic problem of construction in a way of production process is to assure serial manufacture. New requirements for construction process are oriented on using the newest solutions for construction and also on putting the widest spectrum needs for specified class of technical means. It is possible by using modulus systems of construction. In this written scientific issue you can find a trial of showing how to assure serial manufacture through aggregation of measurements values. Aggregation influences the amount of construction, it means production of the biggest number of composition limited by construction modulus.