

P. 3361/02

ZESZYTY  
NAUKOWE  
POLITECHNIKI  
ŚLĄSKIEJ

Piotr GENDARZ

METODOLOGIA TWORZENIA  
UPORZĄDKOWANYCH ZBIORÓW  
KONSTRUKCJI MASZYN

**MECHANIKA**

z. 141



GLIWICE  
2002



P. 3361/02

Piotr GENDARZ

**METODOLOGIA TWORZENIA  
UPORZĄDKOWANYCH ZBIORÓW  
KONSTRUKCJI MASZYN**

20/1288 9  
OPINIODAWCY



Prof. dr hab. inż. Edward Palczak  
Prof. dr hab. inż. Ryszard Rohatyński

#### KOLEGIUM REDAKCYJNE

REDAKTOR NACZELNY – Prof. dr hab. Zygmunt Kleszczewski  
REDAKTOR DZIAŁU – Prof. dr hab. inż. Andrzej Buchacz  
SEKRETARZ REDAKCJI – Mgr Elżbieta Leško

#### REDAKCJA

Mgr Aleksandra Kłobuszowska

#### REDAKCJA TECHNICZNA

Alicja Nowacka

Wydano za zgodą

Rektora Politechniki Śląskiej

PL ISSN 0434-0817

Wydawnictwo Politechniki Śląskiej

ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

tel./fax ( 0 prefix 32 ) 237-13-81

[www.polsl.gliwice.pl/alma.mater/wps.html](http://www.polsl.gliwice.pl/alma.mater/wps.html)

[wydawnictwo@polsl.gliwice.pl](mailto:wydawnictwo@polsl.gliwice.pl)

Nakład 100+50 Ark.wyd. 20 Ark.druk. 16,375 Papier offset. 70x100, 80 g  
Oddano do druku 24.06.2002 Podpis do druku 24.06.2002 Druk ukończono w lipcu 2002

## SPIS TREŚCI

<b>Wykaz ważniejszych oznaczeń</b>	<b>9</b>
<b>1. WPROWADZENIE</b>	<b>13</b>
1.1. Zagadnienia różnorodności konstrukcji .....	14
1.2. Analiza stanu badań w dziedzinie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji .....	17
<b>2. CEL I TEZY ROZPRAWY</b>	<b>21</b>
2.1. Cel .....	21
2.2. Tezy .....	21
2.3. Zakres rozprawy .....	22
<b>3. PODSTAWOWE POJĘCIA I ICH DEFINICJE</b>	<b>25</b>
3.1. Rodzina konstrukcji .....	26
3.1.1. Struktura systemowa .....	32
3.1.2. Struktura wariantowa .....	36
3.1.3. Rejestracja różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych .....	40
3.2. Cechy charakterystyczne i konstrukcyjne .....	42
3.3. Unifikacja i typizacja .....	45
<b>4. MODELE PROCESÓW TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI</b>	<b>47</b>
4.1. Proces selekcji konstrukcji .....	48
4.2. Proces tworzenia wzorcowych cech .....	50
4.3. Proces tworzenia typoszereregu konstrukcji .....	54
4.4. Proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji .....	56
<b>5. STADIA PROCESU TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI</b>	<b>68</b>
5.1. Wybór rodziny konstrukcji do uporządkowania .....	71
5.2. Analiza różnorodności cech w obrębie rodziny konstrukcji .....	74
5.2.1. Analiza struktur systemowych .....	75
5.2.2. Analiza i zapis struktur wariantowych .....	75
5.2.3. Wybór i zapis wartości cech charakterystycznych .....	77
5.2.4. Zapis zależności między cechami charakterystycznymi a konstrukcyjnymi .....	78
5.2.5. Ocena rozwiązań konstrukcyjnych .....	83
5.3. Ograniczanie i porządkowanie wartości cech charakterystycznych .....	83
5.3.1. Graniczne wartości cech charakterystycznych .....	85
5.3.2. Ograniczenia techniczne, wytwórcze i ekonomiczne .....	90

P. 128/02

5.3.3. Częstości powtarzających się potrzeb .....	91
5.3.4. Szeregi liczb normalnych i wartości znormalizowanych .....	92
5.3.5. Różnorodność półfabrykatów oraz elementów znormalizowanych i katalogowych w rodzinie konstrukcji .....	94
5.3.6. Wartości cech charakterystycznych współdziałających środków technicznych ..	95
5.4. Tworzenie typowych rozwiązań konstrukcyjnych .....	96
5.4.1. Uproszczony wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych .....	97
5.4.2. Relacje sprzężeń między rozwiązaniami konstrukcyjnymi .....	99
5.4.3. Złożona ocena rozwiązań konstrukcyjnych .....	104
5.4.4. Typowe postacie konstrukcyjne rodziny konstrukcji .....	104
5.5. Typowe postacie konstrukcyjne elementów .....	109
5.6. Układ ilościowych cech konstrukcyjnych dla typowych postaci konstrukcyjnych elementów .....	112
5.7. Dobór wartości wymiarów .....	117
5.7.1. Metoda tradycyjna doboru ilościowych cech konstrukcyjnych .....	124
5.7.2. Metoda podobieństwa konstrukcyjnego .....	125
5.7.3. Metoda algorytmiczna .....	137
5.7.3.1 Operatory geometryczne .....	138
5.7.3.2 Operatory wytrzymałościowe .....	140
5.7.3.3 Operatory elementów dobieranych .....	145
5.7.3.4 Operatory procesu wytwórczego .....	145
5.7.3.5 Operatory podobieństwa konstrukcyjnego .....	146
5.7.3.6 Operatory wymiarów sprzężonych .....	146
5.7.3.7 Algorytmizacja doboru ilościowych cech konstrukcyjnych .....	147
5.8. Optymalizacja różnorodności wartości wymiarów .....	152
5.8.1. Sprzężenia zewnętrzne i wewnętrzne między wymiarami elementów .....	154
5.8.2. Selekcja wymiarów .....	156
5.8.3. Dyskretyzacja wartości wymiarów z zastosowaniem automatycznej klasyfikacji .....	161
5.8.3.1 Metody hierarchicznej klasyfikacji .....	164
5.8.3.2 Klasyfikacja iteracyjna .....	173
5.8.3.2.1 Wstępny układ klas klasyfikacji iteracyjnej .....	174
5.8.3.2.2 Kryterialny wybór optymalnego układu klas .....	177
5.8.3.2.3 Wybór reprezentantów klas na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego .....	182
5.8.3.2.4 Modyfikacja wyboru reprezentantów klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb .....	185
5.8.4. Ocena układów klas ze względu na redundancję masy .....	187
5.8.5. Ocena układów klas ze względu na redundancję względnych kosztów .....	188
5.8.5.1 Koszty wytwarzania a układy klas konstrukcji .....	188
5.8.5.2 Metody wyznaczania relatywnych kosztów wytwarzania .....	192

5.8.6. Tworzenie przyporządkowania $\delta_A$ metodą selekcji wymiarów .....	199
5.8.7. Tworzenie przyporządkowania $\delta_B$ metodą relacji sprzężeń .....	206
5.8.8. Tworzenie przyporządkowania $\delta_C$ metodą iteracyjnego doboru .....	212
5.9. Reguły doboru konstrukcji uporządkowanych .....	217
5.10. Zapis konstrukcji w uporządkowanych rodzinach konstrukcji .....	219
5.10.1. Parametryczne formy zapisu konstrukcji .....	220
<b>6. UPORZĄDKOWANE KONSTRUKCJE A UPORZĄDKOWANE TECHNOLOGIE</b> .....	<b>222</b>
6.1. Integracja z zastosowaniem programów graficznych CAD .....	225
6.2. Integracja z zastosowaniem programów CAD i CAM .....	227
6.3. Integracja w zaawansowanych programach graficznych .....	229
<b>7. ASPEKTY RECYRKULACJI ŚRODKÓW TECHNICZNYCH W PROCESIE TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI</b> .....	<b>234</b>
7.1. Kryteria i zalecenia tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji ze względu na recykulację .....	236
7.2. Regeneracja w uporządkowanych rodzinach konstrukcji .....	241
<b>8. ELASTYCZNE SYSTEMY MODUŁOWE MASZYN</b> .....	<b>244</b>
<b>9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI</b> .....	<b>246</b>
<b>Literatura</b> .....	<b>252</b>
<b>Streszczenie</b> .....	<b>261</b>

## CONTENTS

<b>List of important symbols</b> .....	9
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	13
1.1. Problem of variety of constructions.....	14
1.2. Analysis of the state-of-art of creating the ordered construction families.....	17
<b>2. OBJECT AND THESIS OF WORK</b> .....	21
2.1. Object.....	21
2.2. Thesis.....	21
2.3. Domain.....	22
<b>3. BASE CONCEPTS AND THEIR DEFINITIONS</b> .....	25
3.1. Family of constructions.....	26
3.1.1. System structure.....	32
3.1.2. Variant structure.....	36
3.1.3. Registration of the variety of constructional designs.....	40
3.2. Characteristic and constructional features.....	42
3.3. Unification and typification.....	45
<b>4. MODELS OF THE PROCESSES OF CREATION THE ORDERED CONSTRUCTION FAMILIES</b> .....	47
4.1. Process of selection of constructions.....	48
4.2. Process of creation of the standard features.....	50
4.3. Process of creation of series of types of constructions.....	54
4.4. Process of creation of the system of modular construction.....	56
<b>5. STAGES OF THE PROCESS OF CREATION THE ORDERED CONSTRUCTION FAMILIES</b> .....	68
5.1. Selection of the construction family for ordering.....	71
5.2. Analysis of the variety of features within the construction family.....	74
5.2.1. Analysis of the system structures.....	75
5.2.2. Analysis and notation of variant structures.....	75
5.2.3. Selection and notation of values of characteristic features.....	77
5.2.4. Notation of dependencies between characteristic and constructional features.....	78
5.2.5. Evaluation of constructional solutions.....	83
5.3. Reduction and ordering of the values of characteristic features.....	83
5.3.1. Excessive values of characteristic features.....	85
5.3.2. Technical, manufacturing and economical limitations.....	90
5.3.3. Frequencies of repeating needs.....	91
5.3.4. Series of normal numbers and standard values.....	92
5.3.5. Variety of semi-finished products, standard and catalogue elements.....	94
5.3.6. Values of characteristic features of co-operating technical means.....	95
5.4. Creation of typical constructional solutions.....	96
5.4.1. Simplified evaluation of the constructional solutions.....	97
5.4.2. Conjugation relations between constructional solutions.....	99
5.4.3. Complex evaluation of the constructional solutions.....	104
5.4.4. Typical constructional forms of a construction family.....	104
5.5. Typical constructional forms of elements.....	109
5.6. Dimensions system for the typical constructional forms of elements.....	112
5.7. Selection of the dimension values.....	117
5.7.1. Traditional method.....	124
5.7.2. Method of the constructional similarity.....	125
5.7.3. Algorithmic method.....	137
5.7.3.1. Geometrical operators.....	138
5.7.3.2. Strength operators.....	140
5.7.3.3. Selected elements operators.....	145
5.7.3.4. Manufacturing operators.....	145
5.7.3.5. Constructional similarity operators.....	146
5.7.3.6. Conjugated dimensions operators.....	146
5.7.3.7. Application of operators in the creation of computer programs.....	147
5.8. Optimisation of the variety of dimension values.....	152
5.8.1. Internal and external conjugation between dimensions.....	154
5.8.2. Selection of dimensions.....	156
5.8.3. Discretisation of dimensions values using automatic classification.....	161
5.8.3.1. Methods of hierarchical classification.....	164
5.8.3.2. Iterative classification.....	173
5.8.3.2.1. Beginning system of classes in the iterative classification.....	174
5.8.3.2.2. Criterion selection of the optimal class system.....	177
5.8.3.2.3. Selection of the class representative basing on the constructional similarity.....	182
5.8.3.2.4. Modification of the selection of class representatives considering the frequency of repeating needs.....	185
5.8.4. Evaluation of the class system considering the mass redundancy.....	187
5.8.5. Evaluation of the class system considering the relative manufacturing costs redundancy.....	188
5.8.5.1. Manufacturing costs and class systems of constructions.....	188
5.8.5.2. Methods of determining the relative manufacturing costs.....	192
5.8.6. Creation of the $\delta_A$ assigning using the method of feature selection.....	199
5.8.7. Creation of the $\delta_B$ assigning using the method of conjugation relation.....	206
5.8.8. Creation of the $\delta_C$ assigning using the method of iterative selection.....	212
5.9. Rules of selection of ordered construction families.....	217
5.10. Construction notation in ordered construction families.....	219

5.10.1. Parametrical methods of construction notation .....	220
<b>6. ORDERED CONSTRUCTIONS AND ORDERED TECHNOLOGIES</b>	<b>222</b>
6.1. Integration using CAD programs.....	225
6.2. Integration using CAD / CAM programs.....	227
6.3. Integration using advanced CAD / CAM programs.....	229
<b>7. PROBLEMS OF RECYCLING OF TECHNICAL MEANS IN THE PROCESS OF CREATION THE ORDERED CONSTRUCTION FAMILIES</b>	<b>234</b>
7.1. Criteria and recommendations for creation of ordered construction families considering the process of recycling.....	236
7.2. Recycling in the ordered construction families.....	241
<b>8. FLEXIBLE MODULAR SYSTEMS OF MACHINES</b>	<b>244</b>
<b>9. RECAPITULATION AND CONCLUSIONS</b>	<b>246</b>
<b>Literature</b>	<b>252</b>
<b>Summary</b>	<b>261</b>

## WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

$A^0$	model kosztów
$C_c$	cecha
$CCH_n$	zbiór cech charakterystycznych rodziny konstrukcji
$CCH_c^{Ja}$	cecha charakterystyczna jakościowa
$CCH_c^{Ii}$	cecha charakterystyczna ilościowa
$cch_{ic}$	macierz wartości cech charakterystycznych
$CK_s$	cecha konstrukcyjna (s=g, t, m; g- geometryczna, t- tworzywowa, m- montażowa)
$G\langle tks_w^{zr} \rangle$	graf wariantów konstrukcyjnych
$G\langle \Pi_{rw}^{ej} \rangle$	graf relacji sprzężeń
$GK\langle \Pi_{rw}^{ej} \rangle$	digraf kolejności konstruowania
$ko_k$	koszty wytwarzania
$K_s$	zbiór konstrukcji
$ks_k$	konstrukcja
$ks_k^t$	konstrukcja o typowej postaci konstrukcyjnej
$ks_k^s$	konstrukcja wyselekcjonowana z istniejącego zbioru konstrukcji
$ks_k^{nej}$	konstrukcja elementu znormalizowanego lub katalogowego
$Ks_n^m$	zbiór konstrukcji modułowych
$MK_{rw}^{te_j}$	szereg modułów konstrukcyjnych
$mk_m^{rwe_j}$	moduł konstrukcyjny elementu należącego do r-tego zespołu oraz w-tego wariantu
$OP_i$	podprzestrzeń potrzeb
$Op_i^{ej}$	operacja – składnik planu wytwarzania j-tego elementu
$Pa_a$	parametr
$pa_{ia}$	macierz wartości parametrów
$Po_n$	zbiór potrzeb odpowiadający rodzinie konstrukcji
$po_i$	potrzeba
$po_i^a$	potrzeba aktualna
$po_i^p$	potrzeba potencjalna
$PR_n$	plan recykulacji
$PW_n$	plan wytwarzania
$rc_k^{ej}$	recykulacja j- tego elementu

$Rc_n$	zbiory recyrkulacji odpowiadające rodzinie konstrukcji
$Re^z$	relacja - składnik systemu, gdzie „z” indeks głównego składnika struktury hierarchicznej systemu
$Re_j^{zr}$	relacja izomorficzna
$RG_n$	reguły doboru
$RK_n$	rodzina konstrukcji
$RT_n$	rodzina technologii
$rks_w^{zr}$	rozwiązanie konstrukcyjne składnika struktury systemowej
$SM_n$	system modułowy konstrukcji
$SO_n$	system ogólny
$SS_n$	struktura systemowa rodziny konstrukcji
$SW_n$	struktura wariantowa rodziny konstrukcji
$T_n^{ej}$	parametry technologiczne
$te_k^{ej}$	technologia wytwarzania j-tego elementu
$Te_n$	zbiór technologii odpowiadający zbiorowi konstrukcji
$tk_s_w^{zr}$	typowe rozwiązanie konstrukcyjne składnika struktury systemowej
$Ts_n$	typoszereg konstrukcji rodziny konstrukcji
$Ts^{te_j}$	typoszereg elementu
$ts_m^{te_j}$	typowielkość - składnik typoszeregu elementu
$UK_n$	zbiór uszkodzeń występujący w n-tej rodzinie konstrukcji
$uk_u$	rodzaj uszkodzenia
$UW^{te_j}$	układ wymiarów odpowiadający typowej postaci konstrukcyjnej elementu
$WG_1^{te_j}$	wymiar gabarytowy
$WS_1^{te_j}$	wymiar sprzężony
$WD_1^{te_j}$	wymiar dodatkowy
$WV_1^{te_j}$	wymiar zmienny
$WC_1^{te_j}$	wymiar stały
$w_m^{ej}$	macierz wartości wymiarów elementu
$W_g$	wymiar geometryczny
$W_t$	wymiar tworzywowy
$W_1$	wymiar
$wks_w^{zr}$	wariant konstrukcyjny izomorficznego składnika struktury systemowej
$Zb_m^{te_j}$	zabieg – składnik operacji

$zks_e^{ej}$	zapis konstrukcji elementu
$zks_k$	zapis konstrukcji środka technicznego
$\bar{X}_i$	wektor potrzeby
$x_{ia}$	macierz wartości parametrów jako zmienne niezależne
$\bar{Y}_m^{te_j}$	wektor konstrukcji elementu
$y_m^{ej}$	macierz wartości wymiarów elementu jako zmienne zależne
$\alpha$	przyporządkowanie między potrzebami a rozwiązaniami konstrukcyjnymi
$\beta$	przyporządkowanie między rozwiązaniami konstrukcyjnymi a postaciami konstrukcyjnymi elementów
$\gamma$	przyporządkowanie między potrzebami a wartościami wymiarów elementu
$\delta$	przyporządkowanie między potrzebami a numerami uporządkowanych składników rodziny konstrukcji
$\Gamma^{ej}$	struktura technologii wytwarzania elementu
$\Pi$	postać konstrukcyjna
$\Pi_g$	geometryczna postać konstrukcyjna
$\Pi_t$	tworzywowa postać konstrukcyjna
$\Pi^t$	typowa postać konstrukcyjna typoszeregu
$\Pi^{tp}$	typowa postać konstrukcyjna konstrukcji modułowej
$\Pi_{rw}^{te_j}$	typowa postać konstrukcyjna elementu należącego do r-tego zespołu oraz w-tego wariantu
$\Pi_{rw}^{ne_j}$	postać konstrukcyjna elementu znormalizowanego lub katalogowego
$\Pi^{pf_j}$	postać konstrukcyjna półfabrykatu
$\Omega_w$	układ kryteriów wynikający z racji możliwości wytwórczych

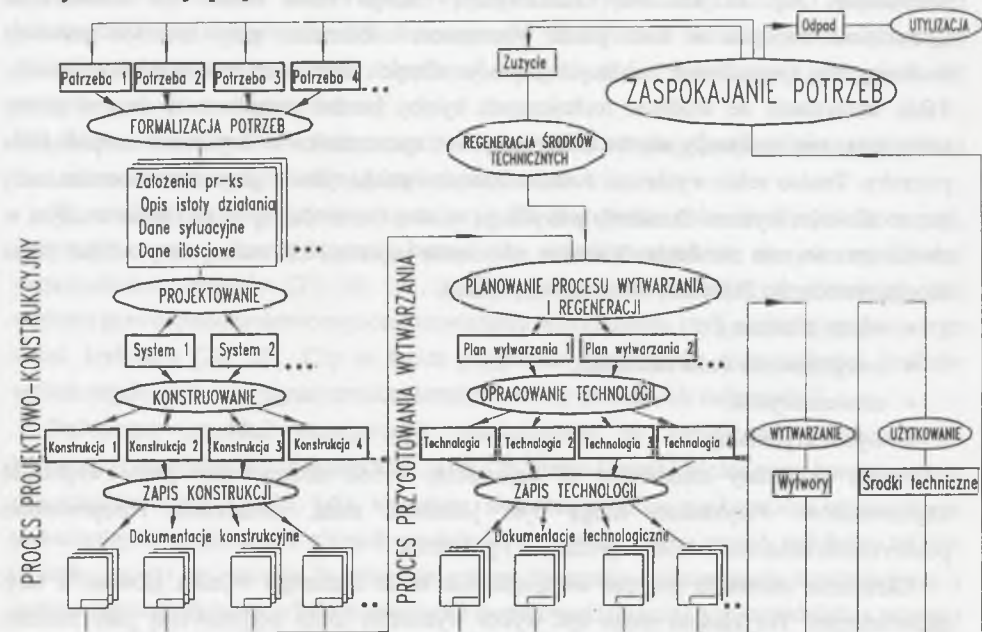
#### Najczęściej stosowane indeksy

c	porządkowy numer cechy charakterystycznej
$e_j$	indeks cech konstrukcyjnych elementu
i	porządkowy numer potrzeby
j	porządkowy numer składnika struktury systemowej
k	porządkowy numer konstrukcji
l	porządkowy numer wymiaru
m	porządkowy numer modułu konstrukcyjnego (typowielkości)
n	porządkowy numer rodziny konstrukcji
o.z.p.e.c	oznaczenie składnika struktury hierarchicznej środka technicznego, gdzie: o - porządkowy numer ogólnego rozwiązania konstrukcyjnego środka technicznego, z - porządkowy numer zespołu, p - porządkowy numer podzespołu, e - porządkowy numer elementu, c - porządkowy numer części
p	porządkowy numer postaci konstrukcyjnej w zbiorze konstrukcji

r           porządkowy numer składnika struktury systemowej rodziny konstrukcji  
 t, u        indeksy oznaczeń określające stan po uporządkowaniu  
 w           porządkowy numer wariantu (lub typowego) rozwiązania konstrukcyjnego  
 z           uzupełnienie indeksu stosowane do określenia ostatniego elementu zbioru

## 1. WPROWADZENIE

Proces od potrzeby do jej zaspokojenia podejmowany jest najczęściej z powodu *jednej, niejednokrotnie powtarzającej się potrzeby*. Zaspokojone potrzeby są źródłem nowych potrzeb, tworząc zbiory licznych konstrukcji, rys. 1.1. Podobnym założeniom projektowo-konstrukcyjnym (pr - ks) [27, 28, 29], którym odpowiada identyczna istota działania, lecz zmienne dane sytuacyjne i ilościowe, powinny odpowiadać zbiory podobnych konstrukcji. Jednak nie zawsze tak jest, często występuje nieuzasadnione zróżnicowanie konstrukcji, co dokumentują prace [13, 14, 30, 51, 55, 64, 79, 107, 110, 158, 170]. W zależności od systemu ogólnego [28, 82], zbiory konstrukcji powstałe w biurze konstrukcyjnym można podzielić na *rodziny konstrukcji* [54].



Rys. 1. 1. Proces od potrzeby do zaspokojenia potrzeby tworzący zbiory konstrukcji i technologii

Fig. 1. 1. Process of creation the sets of constructions and technologies from the need till its satisfying

Przykładem takich rodzin konstrukcji są: zbiór konstrukcji sprężel przeciążeniowych, zbiór konstrukcji suwnic stryperowych, zbiór konstrukcji robotów spawalniczych, zbiór konstrukcji wozów żużlowych. Proces pr - ks podejmowany dla identycznych lub podobnych założeń pr - ks, przez różnych projektantów i konstruktorów w różnym czasie, jest przyczyną tworzenia zróżnicowanych konstrukcji w obrębie rodziny konstrukcji. Na zwiększenie różnorodności konstrukcji wpływa głównie subiektywizm konstruktorów, brak wzajemnego informowania się o rozwiązaniach konstrukcyjnych, zakup obcych licencji, konieczność



rozszerzenia rynków zbytu, indywidualizacja wymagań użytkowników, małe zainteresowanie lub niewiedza decydentów o możliwości przeprowadzenia innowacji przez redukcję różnorodności wytworów. Często konstruktorzy są skazani wyłącznie na własne doświadczenia. To indywidualne rozpatrywanie potrzeb jest jedną z przyczyn nadmiernego i nieuzasadnionego zróżnicowania konstrukcji. Brak możliwości kumulowania i wyboru najlepszych oraz sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych w obrębie rodzin konstrukcji powoduje często, że nie ma oczekiwanych efektów ekonomicznych.

### 1.1. Zagadnienia różnorodności konstrukcji

Zróżnicowanie w zakresie konstrukcji można rozpatrywać w dwóch aspektach. Z jednej strony nadmierna różnorodność stoi w sprzeczności z kryterium powtarzalności i kryterium powiązania [30]. Przykładową konsekwencją takiego stanu może być konieczność sprawdzania napięcia w sieci przed włączeniem odbiornika, przy budowie instalacji wodociągowej gromadzenie znacznych zapasów różnych złączy o zróżnicowanym przekroju. Takie korzystanie ze środków technicznych byłoby bardzo uciążliwe. Z drugiej strony nadmierna minimalizacja różnorodności jest w sprzeczności z kryterium zaspokojenia potrzeby. Trudno sobie wyobrazić świat, w którym istnieją tylko z góry narzucone standardy bez możliwości wyboru. Standardy petryfikują wiedzę (technologię) na poziomie znanym w chwili opracowania standardu. Wszelkie późniejsze usprawnienia muszą się przebijają przez skorupę standardu. Standardy tworzone są poprzez:

- wybór arbitralny,
- uwzględnienie stanu zastanego,
- ustalenia rynku,
- wybór kryterialny.

Wybór arbitralny standardów to najczęściej wybór akceptowany przez większość użytkowników. Przykładem mogą być: jednostki miar, oznaczenia chropowatości powierzchni, oznaczenia tolerancji kształtu i położenia.

Określenie standardu poprzez uwzględnienie stanu zastanego wynika głównie z racji ekonomicznej. Przykładem może być wybór wymiarów karty perforowanej jako nośnika informacji w dawnych programach komputerowych. Odpowiada on wymiarom banknotów dolarowych. Stan zastany dotyczył istniejących już pudełek i szaf do przechowywania takich materiałów.

Ustalenie standardu przez rynek związane jest najczęściej ze znacznymi kosztami. Wybór może być wymuszony przez fakt, że jeden z producentów pierwszy wprowadził określony wytwór na rynek. Często jednak inni producenci zaczynają oferować odmienne wytwory i dopiero rynek określa, który wytwór jest najchętniej kupowany. Tak wyselekcjonowany wytwór staje się standardem przejmowanym przez pozostałych producentów zgodnie z zasadą: „jeżeli przeciwnika nie mogę pokonać, to się do niego przyłączam”. Przykładem mogą być dyskiety, które w pierwszym okresie istnienia na rynku miały średnice: 3, 3.25 i 3.5 cala. Osiągnięcie określonej „masy krytycznej” popytu i podaży powoduje, że jako

standardowe przyjęto dyskiety o średnicy 3.5 cala. Trzeba dużej „siły finansowej” i dużej skali produkcji, aby próbować tą drogą narzucać standardy.

W niniejszej publikacji proponuje się kryterialny sposób tworzenia standardów. Tworzenie uporządkowanych rodzin konstrukcji to tworzenie standardów w obrębie określonej klasy konstrukcji z uwzględnieniem układów kryteriów.

Przenosząc zagadnienia różnorodności na grunt teorii ewolucji, można stwierdzić, że w określonych warunkach środowiskowych liczba gatunków jest ustalona. Na skutek zmiany, chociażby warunków klimatycznych, przetrwają tylko te gatunki, które posiadają zróżnicowane cechy umożliwiające dostosowanie. Ten paradygmat różnorodności można przenieść na grunt istnienia środków technicznych. Gatunkom niech odpowiadają środki techniczne, które charakteryzują się identyczną zasadą działania, natomiast zmieniające się warunki środowiskowe odpowiadają wymaganiom rynku. Im bardziej projektanci i konstruktorzy są elastyczni wobec dokonujących się zmian w technice, tym większe jest prawdopodobieństwo utrzymania określonej klasy środków technicznych na rynku. W związku z powyższym stwierdza się:

*W1 Różnorodność środków technicznych nie jest wolna od specyficznych wymagań rynku i nie można jej rozpatrywać w kategoriach absolutu.*

W stadiach innowacyjnych procesu pr - ks (tworzenia pola możliwych koncepcji, nadawania postaci konstrukcyjnej) bazuje się przede wszystkim na jak największej różnorodności pomysłów [27, 96, 101, 152]. Im szersze pole możliwych rozwiązań, tym większe prawdopodobieństwo wyboru rozwiązania optymalnego, czyli najlepiej spełniającego układ kryteriów [28, 29]. Czy w takim przypadku ograniczanie różnorodności środków technicznych nie będzie ograniczeniem kreatywności w działaniach twórczych?

Praktyczny przykład negatywnego oddziaływania na ograniczanie różnorodności konstrukcji przedstawia publikacja [191, 148]. W firmie General Motor, przy konstruowaniu samochodów klasy GM10, jako kryterium naczelne ustalono maksymalne zastosowanie powtarzalnych elementów z różnych modeli. Po wprowadzeniu w sposób radykalny tej idei okazało się, że spowolniło to znacznie proces tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. Przyczyną była konieczność przeprowadzania ciągłych uzgodnień, a przez to modyfikacji nowo opracowanych konstrukcji do konstrukcji istniejących już elementów i zespołów. Takie postępowanie ogólnie słuszne (szczególnie, jeżeli zmierza się do minimalizacji elementów wymiennalnych), jest raczej poszukiwaniem uniwersalnego rozwiązania, a nie optymalizacją różnorodności konstrukcji.

Na podstawie prac K. Clarka i T. Fujimoto [23, 24], stwierdza się, że japońscy producenci samochodów przeciętnie 18% elementów przejmują z poprzednich modeli, amerykańscy 30%, a europejscy 28%. Ta znaczna zmienność konstrukcji potwierdza, że stosowanie powtarzalności w dynamicznie rozwijających się środkach technicznych jest mało efektywne. Na podstawie analizy literaturowej oraz prac własnych określono w związku z powyższym następujące wnioski:

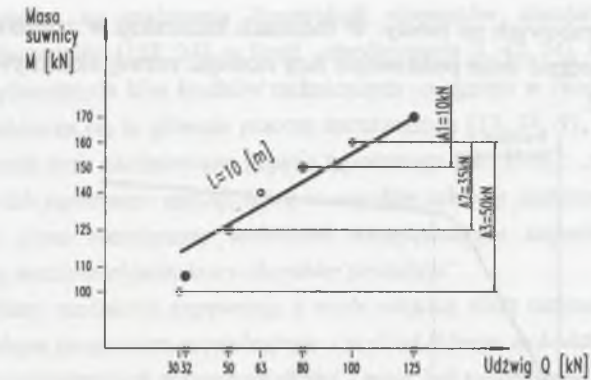
W2 *Uporządkowane zbiory konstrukcji powinny stanowić bazę najlepszych i sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych, ale nie powinny być barierą w ograniczaniu kreatywności i postępu.*

W3 *Ze względów strategicznych uzasadnione jest uporządkowanie konstrukcji w tych zbiorach konstrukcji, które ustabilizowały swój poziom techniczny. Wówczas można nurt kreatywności (jak również środków finansowych) zorientować na strategicznie ważne rozwiązania konstrukcyjne.*

W4 *Przesadne uporządkowanie zbiorów konstrukcji udaremnia osiągnięcie pozytywnych efektów optymalizacji różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych.*

W literaturze [36, 105, 124, 133, 134, 137, 142, 143, 170, 174] często porusza się zagadnienia różnorodności konstrukcji w związku z kosztami. Ogólnie stwierdza się, że zwiększanie różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych podwyższa koszty wytwarzania. Jednocześnie uniemożliwia specjalizację wytwarzania, wydłuża czas przygotowania do procesu wytwórczego, powoduje wzrost biur konstrukcyjnych oraz działów przygotowania produkcji, zmniejsza środki na proces wytwórczy [116]. Wielkość tych kosztów zależy od liczby rozwiązań konstrukcyjnych oraz stopnia różnorodności. Dlatego uzasadnione jest podjęcie procesu optymalizacji różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na obniżenie kosztów, a tym samym osiągnięcie sukcesu na rynku. Konsekwencją takiego postępowania w praktyce mogą być przykładowo rozmiary ubrań, wśród których rozróżniamy: S, M, L, LX, LXX .... Mimo że każdy człowiek ma własne rozmiary ciała (niepowtarzalne), dobiera ubranie z proponowanego typoszeregu. Ze względów ekonomicznych rezygnuje się z uszycia przez krawca ubrania dopasowanego dokładnie do rozmiarów własnego ciała.

Problem różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych w obrębie rodziny konstrukcji należy również rozpatrywać w kategoriach przewymiarowania (czyli zawyżenia wartości wymiarów), a liczności typowości - dla określonego obszaru potrzeb. Problem ilustruje następujący przykład, który dotyczy rodziny konstrukcji suwnic bramowych hakowych [107]. W pierwszym okresie rozwoju tej rodziny konstrukcji stosowana była tylko jedna konstrukcja suwnicy bramowej o parametrach: udźwig  $Q=100$ [kN], rozpiętość  $L=10$ [m], wysokość podnoszenia  $H=3$ [m] oraz III grupa natężenia pracy. Konstrukcję suwnicy stosowano również dla założeń pr - ks, w których udźwig wynosił 30, 50 i 80[kN]. Z jednej strony uzyskano seryjność wytwarzania, ale z drugiej strony znaczne marnotrawstwo materiału i energii w procesie wytwarzania oraz użytkowania suwnicy (konieczność przemieszczania dodatkowych mas suwnicy), rys. 1.2. Marnotrawstwo to wynikało z przewymiarowania konstrukcji szczególnie dla suwnic o udźwigu 30[kN] i 50[kN], co odpowiadało wzrostowi masy suwnicy o:  $A_3=50$ [kN],  $A_2=35$ [kN]. W kolejnym stadium rozwoju tej rodziny konstrukcji opracowano optymalnie zróżnicowany typoszereg suwnic bramowych o udźwigu: 32, 50, 80 i 125[kN], który odpowiada zapotrzebowaniu krajowemu na ten środek techniczny [141].



Rys. 1. 2. Zależność masy suwnicy bramowej od udźwigu

Fig. 1. 2. Relationship between the mass of a gantry crane and its hoisting capacity

Zagadnienie optymalizacji różnorodności w obrębie rodziny konstrukcji dotyczy nie tylko zmiany podstawowych danych ilościowych, ale związane jest również z poziomem techniki. Przykładem może być rodzina konstrukcji wozów żużlowych. W pierwszym okresie istnienia tej rodziny konstrukcji powszechnym sposobem wywozu żużla z pieców stalowniczych i wielkich pieców były wanny żużlowe o pojemności  $1 \text{ m}^3$ . Wanny te umieszczane były na platformach wagonowych i przewożone na tzw. wały granulacyjne. Za pomocą dźwigu usuwano żużel z wanny. Na skutek rozwoju tej rodziny konstrukcji zastosowano rozwiązanie konstrukcyjne z kładzią i wagonem kolejowym specjalnie wyposażonym w obejmy na kładzie żużlowe. W kolejnym stadium rozwoju zastosowano tzw. wozy żużlowe, czyli poprzednie rozwiązanie konstrukcyjne rozszerzone o specjalny układ wypadu i obrotu kładzi znajdującej się na wagonie. To ostatnie rozwiązanie konstrukcyjne stało się podstawą opracowania uporządkowanej rodziny konstrukcji wozów żużlowych [50].

W związku z powyższym stwierdza się:

W5 *Duża różnorodność pozwala zaspokajać specyficzne wymagania klientów, ale także rozprasza środki, które przy koncentracji wytwarzania można racjonalnie wykorzystać.*

W6 *Celowe jest stosowanie uporządkowanych rodzin konstrukcji, aby obniżyć koszty wytwarzania i użytkowania środków technicznych.*

W7 *Uporządkowaną rodzinę konstrukcji powinno się tworzyć ze względu na określony kryterialnie zakres potrzeb.*

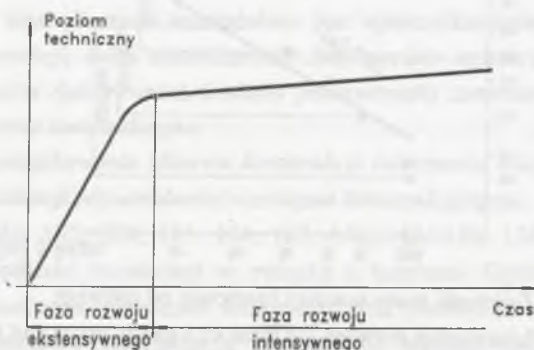
W8 *Poziom techniczny uporządkowanej rodziny konstrukcji powinien się zmieniać w sposób ustopniowany, stabilizując przez to proces wytwarzania.*

Powyższe wnioski (W1-W8) stały się wytycznymi do opracowania tej pracy.

## 1.2. Analiza stanu badań w dziedzinie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji

Zbiór istniejących, uporządkowanych rodzin konstrukcji, szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych, jest bardzo liczny, o czym świadczą powszechnie stosowane normy oraz katalogi konstrukcyjne producentów. Tworzą go konstrukcje o różnym stopniu złożoności, od

konstrukcji złącz śrubowych po roboty. W rodzinach konstrukcji w zależności od poziomu techniki można wyróżnić dwie podstawowe fazy rozwoju: rozwój ekstensywny oraz rozwój intensywny, rys. 1.3.



Rys. 1. 3. Model faz rozwoju rodziny konstrukcji

Fig. 1. 3. Model of phases of development of a construction family

W fazie rozwoju ekstensywnego rodziny konstrukcji występuje niestabilizowany poziom techniczny środków technicznych, wywołany realizacją indywidualnych założeń pr - ks w sposób nieuporządkowany, co objawia się nadmierną różnorodnością konstrukcji i technologii wykonania. Cechą tego rozwoju jest powstawanie ciągle nowych rozwiązań konstrukcyjnych (przy nieuzasadnionym eliminowaniu mankamentów powstałych podczas użytkowania już istniejących środków technicznych), wprowadzanie nowych tworzyw, opracowanie nowych technologii. Taki rozwój prowadzi niejednokrotnie do nadmiernego wysiłku ludzkiego (np. na 100 wynalazków przeciętnie 15 znajduje praktyczną realizację [116]), zużycia energii, materiału i środków finansowych. Jego zaletą jest zdobywanie doświadczeń. Ponadto cechuje go również to, że wytwarzana jest znaczna liczba środków technicznych nie zaspokajająca w pełni wymaganych potrzeb (ryzyko wdrożenia nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologii). Takie stadium rozwoju towarzyszy każdej rodzinie konstrukcji, szczególnie w pierwszej fazie jej istnienia.

W drugiej fazie następuje rozwój intensywny. Ujmuje on w sposób integralny rozwój rodziny konstrukcji, poczynając od uporządkowania sfery potrzeb, optymalizacji różnorodności konstrukcji i technologii, obserwacji prawidłowości działania środków technicznych, a kończąc na ich recyrkulacji i minimalizacji negatywnych skutków likwidacji określonej klasy środków technicznych. Rozwój ten zapewnia sukces ekonomiczny, tworzy nowe miejsca pracy, umożliwia zatrudnienie wysoko kwalifikowanej kadry inżynierskiej i zapewnia rynki zbytu.

W wielu krajach prowadzone są liczne prace, których celem jest zapewnienie jak najszybszego przejścia z rozwoju ekstensywnego na rozwój intensywny. Możliwe to jest poprzez tworzenie, a następnie wytwarzanie środków technicznych w formie uporządkowanej. W Niemczech są to prace związane z tworzeniem „Baukastensysteme” [10, 14, 91, 93, 98, 116, 135], w Stanach Zjednoczonych i Japonii prace tworzące logikę

wytwarzania zespołów na podstawie konstrukcji elementów standardowych lub o zdefiniowanej wariantowości [158, 24], w Rosji - standaryzacja [1, 42, 74]. Najlepsze wyniki w rozwoju uporządkowanych klas środków technicznych osiągnięto w Niemczech w latach 1960 - 1985. Zawdzięcza się to głównie pracom teoretycznym [10, 14, 91, 93, 96, 98, 116, 135, 136]. W pracach tych zdefiniowano pojęcie typoszeregu jako [136]: „twory techniczne (maszyny, zespoły lub pojedyncze części), które w szerokim zakresie zastosowań realizują: tę samą funkcję, to samo rozwiązanie techniczne uwzględniające stopniowane wielkości urządzeń i w miarę możliwości jednakowy charakter produkcji”.

Natomiast systemy modułowe zapewniają o wiele większy efekt racjonalizacji [136], to znaczy: „Jeżeli jednym programem produkcyjnym - w skład którego wchodzi jeden lub więcej stopni jednostek konstrukcyjnych różnych wielkości - mają być realizowane różne funkcje, to w przypadku konstrukcji pojedynczych otrzymuje się wielką liczbę różniących się między sobą wytworów. Oznacza to duże nakłady konstrukcyjne i ekonomiczne. Efekt racjonalizacji polega na tym, że żądany wariant funkcji technicznej jest tworzony przez kombinację przygotowanych wcześniej części pojedynczych i/lub zespołów (segmentów funkcjonalnych). Kombinacja taka jest realizowana zgodnie z zasadą budowy segmentowej. Przez pojęcie budowy segmentowej rozumie się maszyny, zespoły i elementy, które jako segmenty, często o różniących się między sobą rozwiązaniach, realizują drogą kombinacji różne funkcje układu.”

Największe osiągnięcia, uznawane przez wielu autorów z zakresu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, to prace Beitz'a i Pahla. Podstawowym zagadnieniem przedstawionym w tych pracach jest zastosowanie teorii podobieństwa geometrycznego do wyznaczania ilościowo zmiennych cech konstrukcyjnych oraz ich dyskretyzacji na podstawie szeregów liczb normalnych i relacji do wielkości fizycznych. Podkreśla się, że przy projektowaniu typoszeregów stosowanie prawa podobieństwa jest nakazem, natomiast uwzględnianie szeregów liczb normalnych jest zaleceniem [30, 136].

W pracach autorów rosyjskich tworzone głównie naukowo-teoretyczne koncepcje standaryzacji, bazując na złożonych modelach matematycznych o wysokim stopniu ogólności [1, 102, 166]. Przykładem jest praca [102], gdzie podstawą optymalizacji są szeregi liczbowe dwóch parametrów. Optymalizację przeprowadzano na podstawie następującej funkcji celu:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^0 \xi_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{k=1}^l B_{ik} \xi_{ij}^k \rightarrow \min_{(\xi_{ij}^k)} \quad (1.1)$$

gdzie:  $B_{ij}$  - funkcja popytu,

$C_{ij}^0$  - poniesione nakłady na rozwój i inwestycje,

$C_{ij}$  - koszty wytwarzania i użytkowania pojedynczego wytworu,

$\xi_{ij}$  - nomenklaturowy wskaźnik szeregu ( $> 0$  - jeżeli wytwór z parametrami (i,j) wykorzystuje się do zaspokojenia popytu,  $= 0$  - w przypadku przeciwnym),

$\xi_{ij}^k$  - wskaźnik zastosowania jako składnika ( $> 0$  - jeżeli wytwór o wskaźnikach (i,j) jest składnikiem wytworu o wskaźnikach (l,k) i wykorzystuje się go do zaspokojenia popytu,  $= 0$  w przypadku przeciwnym).

Przedstawiono trzy etapy dojścia do rozwiązania, spełniając założoną funkcję celu.

Również w kraju podejmowane są liczne prace, których wynikiem są normy zalecanych wartości cech, katalogi wytwarzanych środków technicznych, znormalizowane konstrukcje elementów, podzespołów i środków technicznych, znormalizowane technologie itd. W celu przyspieszenia intensywnego rozwoju środków technicznych opracowano podstawowe zabiegi i wytyczne tworzenia uporządkowanych konstrukcji.

W pracach Janusza Dietrycha [28, 30, 31] przedstawione są podstawy metodologiczne procesu normalizacji. Wyróżniono zabiegi podstawowe oraz teoretyczne. W zabiegach podstawowych występuje porządkowanie i ograniczanie, w zabiegach teoretycznych: ujednoznacznianie, ujednocianie, upraszczanie i ustanawianie. Wynikiem formalnym są normy, natomiast wynikiem praktycznym są wielkości zunifikowane oraz własności stypizowane. Autor zwrócił szczególną uwagę w działaniach technicznych na prawo ograniczonego zróżnicowania [30]. W pracy [31] określił zarysy metodologii unifikacji i typizacji, traktując unifikację i typizację jako twórcze zabiegi w działaniach normalizacyjnych.

W pracach Ryszarda Knosali [16, 111] podjęto zagadnienia związane z oceną rozwiązań konstrukcyjnych, których wyniki są podstawą wyboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Ocena przeprowadzana jest ze względu na kryteria wynikające z procesu konstrukcyjnego, wytwórczego, użytkownika oraz remontowego, ustalone wstępnie przez głównego eksperta. Szczegółowej oceny kryteriów, a następnie rozwiązań konstrukcyjnych, dokonują eksperci wybrani spośród czterech wyżej wymienionych sfer działań inżynierskich. Dokonano podziału kryteriów na kryteria: zdeterminowane, stochastyczne oraz lingwistyczne. Podstawowym narzędziem w procesie oceny jest klasyfikacja z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych.

W pracach Krzysztofa Urbańca [170, 171, 172] przedstawione są problemy tworzenia typoszeregów wymienników ciepła. Podstawą ustanowienia optymalnej liczności typowości „ $n$ ” była ekonomiczna funkcja celu obejmująca koszty stałe oraz zmienne. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla wymiennika ciepła stwierdzono, że przy niewielkiej liczbie typowości straty niedopasowania wyraźnie wzrastają, natomiast przy liczbie typowości 18, 20 i 22 straty niedopasowania maleją bardzo wolno. Ostateczny wybór był realizowany intuicyjnie, co w procesie podejmowania decyzji miało znaczenie porządkujące.

Wymienione prace stanowią niewielki procent prac związanych z problematyką uporządkowania rodzin konstrukcji, ale są podstawą realizacji zamierzeń podjętych przez autora niniejszej publikacji.

## 2. CEL I TEZY ROZPRAWY

### 2.1. Cel

Celem rozprawy jest opracowanie kompleksowej metodologii tworzenia uporządkowanych zbiorów konstrukcji ze względu na kryterialne różnicowanie cech konstrukcyjnych. Podstawą realizacji celu jest podział procesu tworzenia uporządkowanych zbiorów konstrukcji na stadia oraz opracowanie metod wspomagających te stadia poprzez określenie przyporządkowań między grupami porządkowanych cech. Ponadto rozważana będzie relacja między uporządkowanymi cechami konstrukcyjnymi a cechami technologicznymi. Zamierzeniem pracy jest opracowanie metod z zastosowaniem wspomagania komputerowego, które na podstawie zweryfikowanej konstrukcji (konstrukcji wzorcowej) oraz zunifikowanych wartości cech charakterystycznych pozwolą utworzyć zbiory uporządkowanych konstrukcji. Tę formę uporządkowania nazwano **uporządkowaniem wyprzedzającym**. To nowe ujęcie tworzenia rodzin konstrukcji ma minimalizować czas rozwoju ekstensywnego konstrukcji (z nieuzasadnionym zróżnicowaniem cech), a przyspieszyć rozwój intensywny.

Celem pracy jest również rozwój projektowania współbieżnego z zastosowaniem uporządkowanych rodzin konstrukcji. W zależności od założeń projektowo-konstrukcyjnych, za pomocą graficznych programów doradczych (integrujących algorytmiczny dobór cech konstrukcyjnych z zapisem konstrukcji), można będzie równocześnie przygotować ofertę, oszacować z dużą dokładnością koszty wytwarzania, a jeżeli zlecenie zostanie przyjęte, opracować w krótkim czasie dokumentację konstrukcyjną i technologiczną. Takie ujęcie w zakresie systemów modułowych wyznacza nową jakość tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcyjnych, nazwanych w tej pracy **elastycznymi systemami modułowymi**. Elastyczne systemy modułowe konstrukcji pozwolą eliminować dotychczasowe wady uporządkowanych rodzin konstrukcji, do których zalicza się: ograniczony wybór rozwiązań konstrukcyjnych, zbytnie przewymiarowanie (czyli zawyżanie wartości wymiarów), mało elastyczne dostosowanie się do potrzeb przyszłych użytkowników środków technicznych.

### 2.2. Tezy

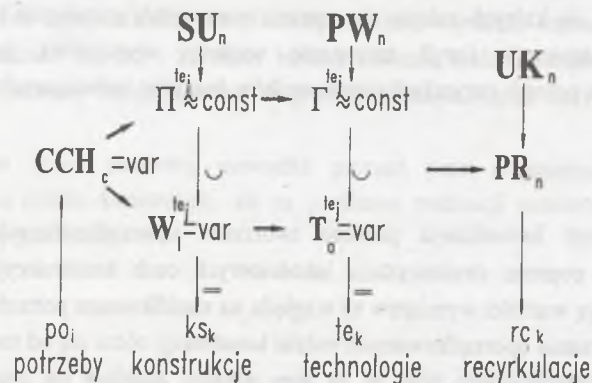
1. Możliwa jest formalizacja procesu tworzenia uporządkowanych zbiorów konstrukcji poprzez strukturyzację jakościowych cech konstrukcyjnych oraz dyskretyzację wartości wymiarów ze względu na zunifikowane potrzeby.
2. Proces tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji różni się od tradycyjnego procesu konstrukcyjnego tym, że na jego wejściu znajduje się zbiór założeń projektowo-konstrukcyjnych, któremu powinien odpowiadać optymalny pod względem różnorodności ilościowych cech zbiór konstrukcji. Podstawą

optymalizacji może być dostosowany do potrzeb klasyfikacji konstrukcji model automatycznej klasyfikacji.

3. Uporządkowanym rodzinom konstrukcji możliwe jest przyporządkowanie uporządkowanych technologii i recyrkulacji poprzez tworzenie aplikacji programów graficznych klasy CAD, CAM.

### 2.3. Zakres rozprawy

Podstawowym założeniem metod jest integralne rozważanie zbioru potrzeb oraz kryterialne różnicowanie cech konstrukcyjnych, technologicznych i recyrkulacji, rys. 2.1. W realizacji tych zamierzeń tworzone będą, dla zmieniających się potrzeb  $po_i$ , konstrukcje  $ks_k$  poprzez dobór uporządkowanych konstrukcji elementów  $ks_m^{te_j}$ ; ( $j=1, jz$ ), charakteryzujących się stałymi (lub nieznacznie zróżnicowanymi) jakościowymi cechami konstrukcyjnymi elementów  $\Pi^{te_j}$  i optymalnie zróżnicowanymi wartościami wymiarów  $W_i^{te_j}$ . Pozwala to rozważać optymalizację różnorodności cech konstrukcyjnych, będącą zagadnieniem jakościowo-ilościowym, jako zagadnienie ilościowe i tworzyć przy tym konstrukcje kongruentne  $ks_k$ . W tym ujęciu zmiennymi niezależnymi będą dane z założeń projektowo-konstrukcyjnych nazywane cechami charakterystycznymi  $CCH_c$ , natomiast zmiennymi zależnymi ilościowe cechy konstrukcyjne  $W_i^{te_j}$ . Relacje te rozszerzone zostaną o tworzenie uporządkowanych technologii  $te_k$ , opisane przez stałą (lub nieznacznie zróżnicowaną) strukturę technologiczną wytwarzania elementu  $\Gamma^{te_j}$  oraz optymalnie zróżnicowane parametry technologiczne  $T_a^{te_j}$ . Zamierzeniem pracy jest również uwzględnienie w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji recyrkulacji  $rc_k$  określonych przez koncepcje (gdy występuje uporządkowanie wyprzedzające) lub praktyczne realizacje planów recyrkulacji  $PR_n$ , uwzględniające rodzaje zużycia lub uszkodzenia  $UK_n$ , rys. 2.1.



Rys. 2.1. Wzajemne zależności między rozważanymi w pracy modelami

Fig. 2.1. Interdependencies between models considered in work

Do określania zmienności jakościowych cech konstrukcyjnych  $\Pi^{te_j}$  służą uszczegółowione systemy  $SU_n$ , będące podstawą działania przyszłych środków technicznych.

Natomiast podstawą określenia struktury technologicznej  $\Gamma^{te_j}$  są plany wytwarzania  $PW_n$  zorientowane na określony zakład wytwórczy. Wynikiem tych przekształceń będą uporządkowane rodziny konstrukcji, które mogą występować w formie: zbioru konstrukcji powtarzalnych, konstrukcji uporządkowanych pod względem wybranych cech, typoszeregu konstrukcji, systemu modułowego konstrukcji, konstrukcji katalogowych i znormalizowanych. W zależności od stopnia przekształcania cech rozważane będą następujące procesy tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji:

- 1) proces selekcji konstrukcji,
- 2) proces tworzenia wzorcowych cech,
- 3) proces tworzenia typoszeregu konstrukcji,
- 4) proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji.

Ze względu na pełny i najbardziej złożony przebieg przekształceń cech jako reprezentatywny wybrany zostanie proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji.

Treść pracy ujęto w sześciu rozdziałach.

W rozdziale trzecim podano podstawowe pojęcia dotyczące porządkowanych cech, zbiorów konstrukcji oraz ich definicje. Podstawowymi pojęciami są: rodzina konstrukcji, system, cechy charakterystyczne, cechy konstrukcyjne. Poddano analizie definicje unifikacji i typizacji, proponując własne definicje i podmioty porządkowania.

Rozdział czwarty ujmuje modele procesów tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Podstawą usystematyzowania procesów jest stopień dokonanych przekształceń w zakresie cech charakterystycznych i konstrukcyjnych. Wyróżniono cztery przyporządkowania między cechami:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , które powinny być opracowane w procesach tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. W rozdziale zestawiono procesy tworzenia uporządkowania rodzin konstrukcji oraz wyróżniono w nich rodzaje występujących przyporządkowań. Najpełniejszy przebieg przekształceń cech występuje w systemach modułowych konstrukcji, dla którego określono jego odmiany ze względu na przyporządkowanie  $\alpha$ .

W rozdziale piątym przedstawiono metodologię i główne stadia procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji na podstawie systemów modułowych konstrukcji. Charakteryzują się one pełnym przebiegiem uporządkowania, zarówno w sferze cech jakościowych, jak i ilościowych. W wyróżnionych stadiach procesu określono przekształcenia cech, jakie w nich występują, oraz opracowano metody ich wspomagania. Określono zasady tworzenia zunifikowanych wartości cech charakterystycznych, wyznaczania typowych rozwiązań konstrukcyjnych, algorytmicznego wyznaczania wartości wymiarów, optymalizacji różnorodności cech konstrukcyjnych z zastosowaniem automatycznej klasyfikacji, generowania dokumentacji konstrukcyjnej. W rozdziale przedstawiono trzy metody doboru wartości wymiarów, które zweryfikowano w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Przedstawiono możliwość zastosowania teorii podobieństwa konstrukcyjnego

oraz analizę wariantową z użyciem MES. Na potrzeby optymalnej dyskretyzacji wartości wymiarów konstrukcji elementów opracowano nowy model automatycznej klasyfikacji z oceną układów klas za pomocą funkcji celu oraz redundancji masy i redundancji relatywnych kosztów wytwarzania w układach klas. Wynikiem opisanych stadiów są uporządkowane konstrukcje elementów oraz reguły ich doboru. Przedstawiono możliwości różnych form zapisu uporządkowanych konstrukcji, wyróżniając szczególnie formy parametrycznego zapisu konstrukcji.

W rozdziale szóstym przedstawiono możliwości tworzenia uporządkowanych technologii na podstawie uporządkowanych konstrukcji i wyróżniono trzy metody integracji z zastosowaniem wspomagania komputerowego. Podstawą integracji jest parametryzacja zapisu konstrukcji i składników zapisu technologii oraz asocjatywność między uporządkowanymi modelami elementów a technologiami ich wytwarzania.

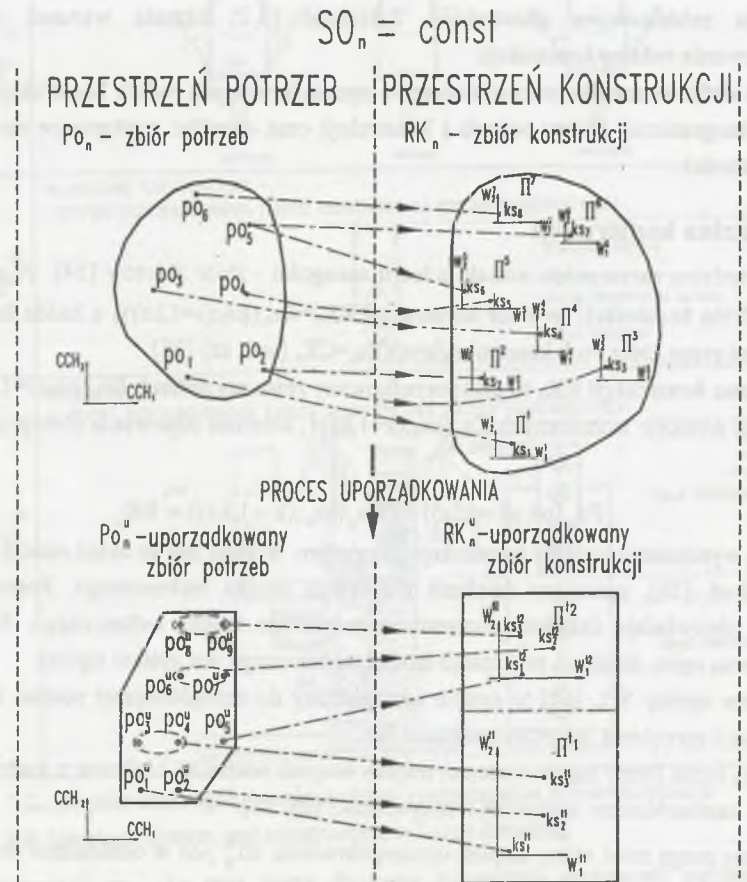
Rozdział siódmy ujmuje zagadnienia recyrkulacji, które w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji są szczególnie istotne. Przedstawiono zbiór kryteriów (K1 – K17) oraz zaleceń (Z1 – Z20), który powinien uwzględniać twórca uporządkowanej rodziny konstrukcji. Podstawową formą zapisu planu recyrkulacji jest graf recyrkulacji, umożliwiający graficzne ujęcie zależności między rodzajem uszkodzenia a wyborem elementów do regeneracji lub utylizacji. Procesy regeneracji elementów w zależności od parametrów uszkodzenia mogą być automatycznie generowane w postaci dokumentacji regeneracyjnej.

W rozdziale ósmym przedstawiono zasady tworzenia elastycznych systemów modułowych konstrukcji. Wyróżniono stadia i metody, które prowadzą do tworzenia elastycznych systemów modułowych konstrukcji i modułów technologicznych.

Wyniki pracy zostały zweryfikowane praktycznie na takich przykładach tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji jak: pokrywy przekładni zębatach, sprzęgła podatno-przeciążeniowe, wozy żużlowe, suwnice pomostowe, mechanizmy podnoszenia wózków jezdnych, siłowniki hydrauliczne, stojaki hydrauliczne, chwytaki robotów, stanowiska badawcze do badań uszczelnień oraz stanowiska badawcze do badań szybkoobrotowych wirników.

### 3. PODSTAWOWE POJĘCIA I ICH DEFINICJE

Proces przejścia z nieuporządkowanej rodziny konstrukcji w uporządkowaną związany jest z przeprowadzeniem przekształceń w dwóch przestrzeniach [54, 62]: przestrzeni potrzeb oraz przestrzeni konstrukcji. Są to przestrzenie wielowymiarowe, będące wynikiem iloczynu kartezjańskiego cech. W przypadku przestrzeni potrzeb jest to iloczyn kartezjański cech charakterystycznych,  $CCH_1 * CCH_2 * \dots$ . Natomiast przestrzeń konstrukcji tworzy iloczyn kartezjański cech konstrukcyjnych,  $CK_1 * CK_2 * \dots$ . Na rys. 3.1 przedstawiono za pomocą modelu graficznego ilościową reprezentację potrzeb  $Po_n$  oraz zmienność cech rodziny konstrukcji  $RK_n$ , zapisaną poprzez cechy konstrukcyjne: jakościowe (postać konstrukcyjną  $\Pi^P$ ) oraz ilościowe (wymiaru konstrukcyjne  $W_i^P$ ). Oba zbiorom cech odpowiada stały system ogólny  $SO_n$ .



Rys. 3.1. Model uporządkowania zbioru potrzeb i konstrukcji

Fig. 3.1. Model of ordering of the set of needs and constructions

Górna część rysunku przedstawia stan rodziny konstrukcji przed uporządkowaniem. Występuje tutaj przyporządkowanie zbiorowi potrzeb  $Po_n\{po_i;(i=1,iz)\}$  zbioru konstrukcji  $Ks_n\{ks_k;(k=1,kz)\}$ , gdzie przykładowo, jednej potrzebie  $po_2$  odpowiada podzbiór konstrukcji  $\{ks_2, ks_3\}$  oraz  $po_5$  podzbiór konstrukcji  $\{ks_6, ks_7\}$ . Takie przyporządkowanie

$$Po_n\{po_i;(i=1,iz)\} \Rightarrow Ks_n\{ks_k;(k=1,kz)\}, \quad iz \leq kz, \quad (3.1)$$

gdzie:  $iz$  - liczba potrzeb (pomijając ich powtarzalność),

$kz$  - liczba konstrukcji

jest warunkiem nieuzasadnionego zróżnicowania konstrukcji.

W dolnej części rys. 3.1 przedstawiono wynik procesu uporządkowania w postaci zbioru uporządkowanych potrzeb  $Po_n^u\{po_i^u;(i=1,iz)\}$  oraz zbioru optymalnie zróżnicowanych konstrukcji  $Ks_n^u\{ks_k^u;(k=1,kz)\}$

$$Po_n^u\{po_i^u;(i=1,iz)\} \Rightarrow Ks_n^u\{ks_k^u;(k=1,kz)\}, \quad iz \geq kz, \quad (3.2)$$

gdzie jednej potrzebie lub zbiorowi uporządkowanych potrzeb odpowiada wyłącznie jedna optymalnie zróżnicowana konstrukcja. Zależność (3.2) określa warunek konieczny uporządkowania rodziny konstrukcji.

Pojęcia definiowane dla procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji powinny wyraźnie rozgraniczać zbiory potrzeb i konstrukcji oraz określać występujące między nimi współzależności.

### 3.1. Rodzina konstrukcji

Pojęcie rodzina zaczerpnięte zostało z teorii mnogości - zbiór zbiorów [54]. W niniejszym ujęciu rodzina konstrukcji to zbiór konstrukcji  $RK_n=Ks_n\{ks_k;(i=1,kz)\}$ , a każda konstrukcja opisana jest przez zbiór cech konstrukcyjnych  $ks_k=CK_s$  ( $s=1, sz$ ) [28].

**Rodzina konstrukcji**  $RK_n$  to przyporządkowany zbiorowi potrzeb  $Po_n\{po_i;(i=1,iz)\}$  zbiór konstrukcji środków technicznych  $Ks_n\{ks_k;(k=1,kz)\}$ , któremu odpowiada identyczny system ogólny  $SO_n$

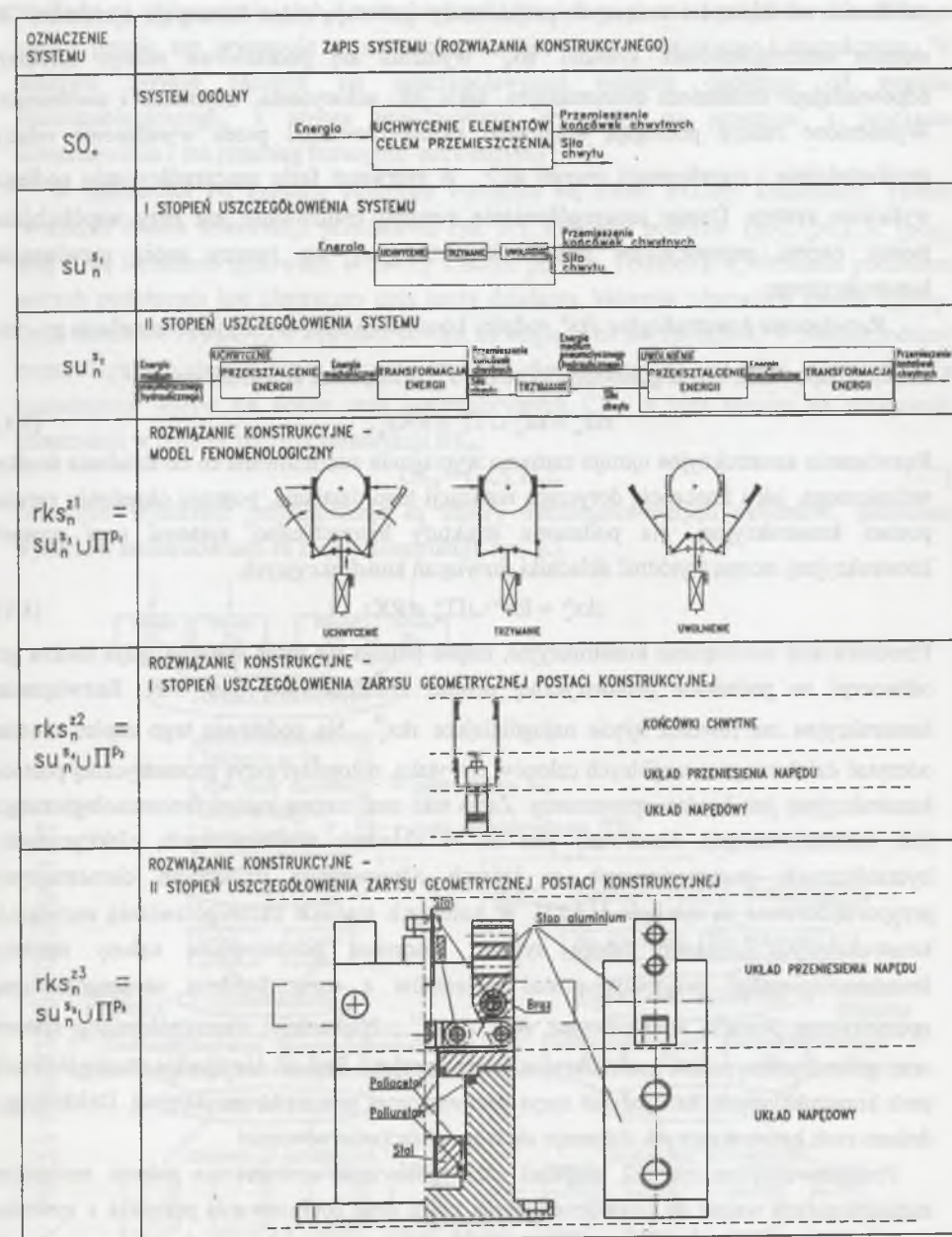
$$Po_n\{po_i;(i=1,iz)\} \Rightarrow Ks_n\{ks_k;(k=1,kz)\} \stackrel{SO_n}{=} RK_n. \quad (3.3)$$

Podstawą wyróżnienia rodziny konstrukcji jest system. System jest to układ relacji sprzężeń i przekształceń [28], opisujący działanie przyszłego środka technicznego. Poszczególnym relacjom odpowiadają działania elementarne przyszłego środka technicznego. Najbardziej zwartą formą opisu działania przyszłego środka technicznego jest system ogólny.

**System ogólny**  $SO_n$  [54] to system sprowadzony do najogólniejszej postaci najczęściej jednej relacji sprzężenia lub przekształcenia  $Re^2$ .

Istnieją różne formy zapisu systemu, między innymi: werbalna, blokowa, z zastosowaniem grafów, z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości [28, 82].

Systemy mogą mieć różny stopień uszczegółowienia  $SU_n^{s_i}$ , co w odniesieniu do chwytaka dźwigniowego - kleszczowego (w skrócie nazywanego kleszczowego) przedstawiono na rys. 3.2. W procesie projektowania, uwzględniając chronologiczne tworzenie projektu, zaczyna się od założeń  $pr - ks$ .



Rys. 3.2. Stopnie uszczegółowienia systemu i rozwiązania konstrukcyjnego

Fig. 3.2. Levels of system and construction solution detailing

W założeniach  $pr - ks$  opis istoty działania odpowiada systemowi ogólnemu  $SO_n$ . Przykładowo, system ogólny chwytaka dla robotów polega na uchwyceniu elementu celem jego przemieszczenia. W wyniku działań twórczych system ten podlega uszczegółowieniu. W

zależności od zdolności twórczych projektantów powstają różne koncepcje systemów. W stopniu uszczegółowienia systemu  $su_n^{s_1}$  wyróżnia się podstawowe relacje sprzężeń odpowiadające działaniom elementarnym, takie jak: uchwycenie, trzymanie i uwolnienie. Wymienione relacje podlegają kolejnemu uszczegółowieniu przez wyróżnienie relacji przekształcenia i transformacji energii  $su_n^{s_2}$ . W pierwszej fazie uszczegółowieniu podlega wyłącznie system. Dalsze uszczegółowienie systemu realizowane jest przy współdziałaniu zapisu zarysu geometrycznej postaci konstrukcyjnej, co tworzy zapis rozwiązania konstrukcyjnego.

**Rozwiązanie konstrukcyjne**  $rks_n^z$  rodziny konstrukcji  $RK_n$  to rozwiązanie zadania pr - ks, któremu odpowiada uszczegółowiony system  $su_n^{s_1}$  oraz postać konstrukcyjna  $\Pi^P$

$$rks_n^z = su_n^{s_1} \cup \Pi^P \in RKs_n \quad (3.4)$$

Rozwiązanie konstrukcyjne ujmuje zarówno wymagania zdefiniowane co do działania środka technicznego, jak i koncepcję dotyczącą realizacji tego działania, poprzez określenie zarysu postaci konstrukcyjnej. Na podstawie struktury hierarchicznej systemu oraz postaci konstrukcyjnej można wyróżnić składniki rozwiązań konstrukcyjnych

$$rks_n^z = Re^z \cup \Pi^z \in RKs_n \quad (3.5)$$

Przedstawiając rozwiązanie konstrukcyjne, często pomija się zapis systemu, gdyż można go odtworzyć na podstawie geometrycznej postaci konstrukcyjnej (rys. 3.2). Rozwiązanie konstrukcyjne ma również ujęcie najogólniejsze  $rks_n^z$ . Na podstawie tego zapisu można odczytać działania poszczególnych członów chwytaka, natomiast zarys geometrycznej postaci konstrukcyjnej jest bardzo uproszczony. Zapis taki nosi nazwę zapisu fenomenologicznego (lub schematycznego). Stosowany jest on w układach mechanicznych, elektrycznych, hydraulicznych, pneumatycznych, w których odpowiednim działaniom elementarnym przyporządkowane są symbole [17,27]. W kolejnych stadiach uszczegóławiania rozwiązań konstrukcyjnych zmianom ulega system, natomiast poszczególne człony modelu fenomenologicznego przyjmują postać elementów z coraz bardziej uszczegółowioną geometryczną postacią konstrukcyjną  $rks_n^{z2}$ ,  $rks_n^{z3}$ . Najbardziej uszczegółowiony system oraz geometryczna postać konstrukcyjna tworzą projekt. Projekt nie ujmuje szczegółowych cech konstrukcyjnych, lecz jedynie zarys geometrycznej postaci konstrukcyjnej. Dokładnego doboru cech konstrukcyjnych dokonuje się w procesie konstruowania.

Przedstawiony na rys. 3.2 przykład uszczegóławiania systemu ma jedynie znaczenie metodologiczne ważne do ujednoznacznienia pojęć oraz zobrazowania przejścia z systemu ogólnego do takiego stopnia uszczegółowienia, że jest on podstawą do zapisu struktury przyszłego środka technicznego (postaci konstrukcyjnej  $\Pi^P$ ) [27, 28]

$$\Pi^P = f(su_n^{s_2}) \quad (3.6)$$

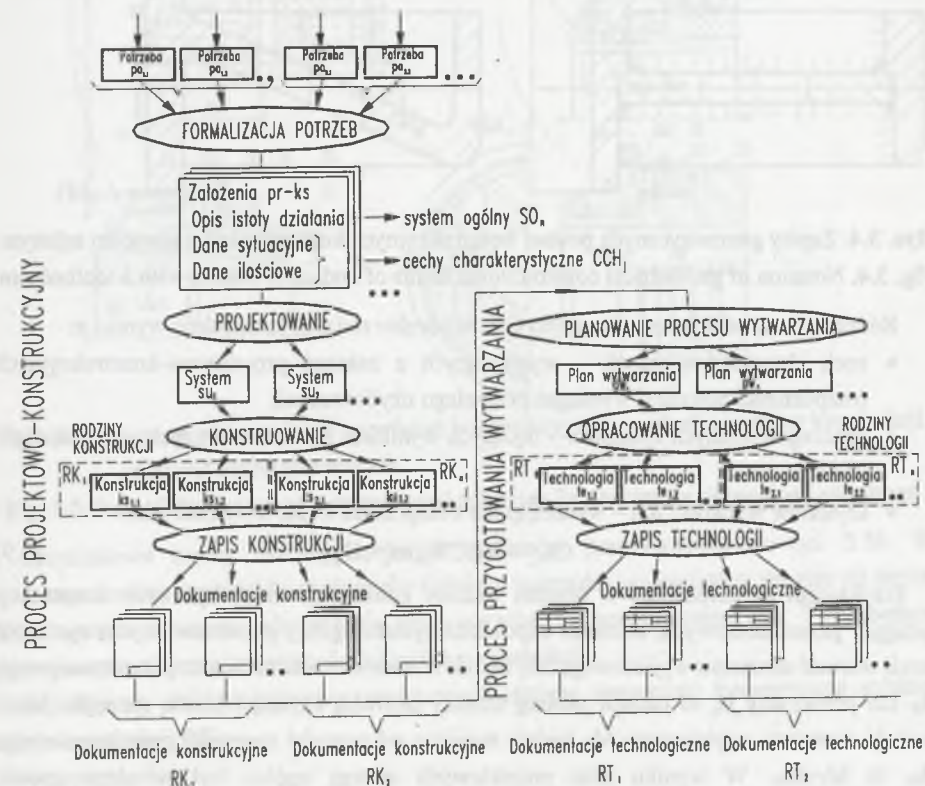
Na różnorodność konstrukcyjną w obrębie rodziny konstrukcji mają głównie wpływ uszczegółowione systemy, będące wynikiem działań heurystycznych projektantów. Przejście z procesu projektowania do konstruowania jest przejściem często nieostrym, szczególnie ze

względem na wyznaczanie cech konstrukcyjnych również w procesie projektowania. Dlatego często proces ten występuje w nazewnictwie jako proces projektowo-konstrukcyjny. W praktyce zwykle zaczyna się uszczegóławianie systemu ogólnego od modelu fenomenologicznego, a proces projektowania występuje na przemian z procesem konstruowania i ma przebieg iteracyjno-sekwencyjny [27].

W zależności od systemu ogólnego wyróżnia się różne rodziny konstrukcji. Proces tworzenia rodzin konstrukcji przedstawia rys. 3.3. Potrzeby podobne  $\{po_{11}, po_{12}, \dots\}$ ,  $\{po_{21}, po_{22}, \dots\}$  są formalnie ujmowane w zbiory założeń pr - ks. Podstawą wyróżnienia podzbioru potrzeb podobnych jest identyczny opis istoty działania, któremu odpowiada system ogólny. Dane ilościowe i sytuacyjne z założeń pr - ks, ze względu na ich zmienność w obrębie rodziny konstrukcji, w niniejszej pracy nazwano **cechami charakterystycznymi**  $CCH_c$ . Cechy te mają uzasadniony wpływ na dobór cech konstrukcyjnych  $CK_s$ , a tym samym na zmienność konstrukcji w obrębie rodziny konstrukcji  $RK_n$

$$CK_s = f(CCH_c) \quad (3.7)$$

Głównym wynikiem projektowania są zbiory uszczegółowionych systemów, natomiast wynikiem konstruowania są zbiory konstrukcji, rys. 3.3.



Rys. 3.3. Proces tworzenia rodzin konstrukcji i technologii

Fig. 3.3. The process of creation the construction and technologie families

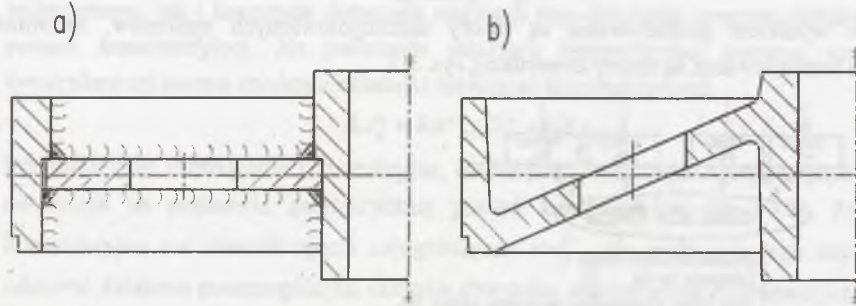


Zbiory konstrukcji ze względu na system ogólny można podzielić na rodziny konstrukcji  $RK_n$ ; ( $n = 1, n_z$ ), które zapisane są w formie dokumentacji konstrukcyjnych. Tak jak wyróżnione zostały podzbiory dokumentacji konstrukcyjnych, tak samo mogą być wyróżnione podzbiory dokumentacji technologicznych, gdyż każdej dokumentacji konstrukcyjnej powinna odpowiadać dokumentacja technologiczna.

Cechy konstrukcyjne w procesie konstrukcyjnym podlegają zróżnicowaniu ze względu na kryteria wynikające z racji możliwości wytwórczych [28]

$$CK_s = f(\Omega_w). \quad (3.8)$$

Przykładem mogą być zapisy geometrycznych postaci konstrukcyjnych korpusów kół zębatych przedstawionych na rysunku 3.4. Rysunek 3.4a odpowiada postaci konstrukcyjnej korpusu dla procesu technologicznego – spawanie, natomiast 3.4b odpowiada postaci konstrukcyjnej dla procesu technologicznego - odlewanie. W obu przykładach są stosowane różne kryteria wytwórcze  $\Omega_w$ .



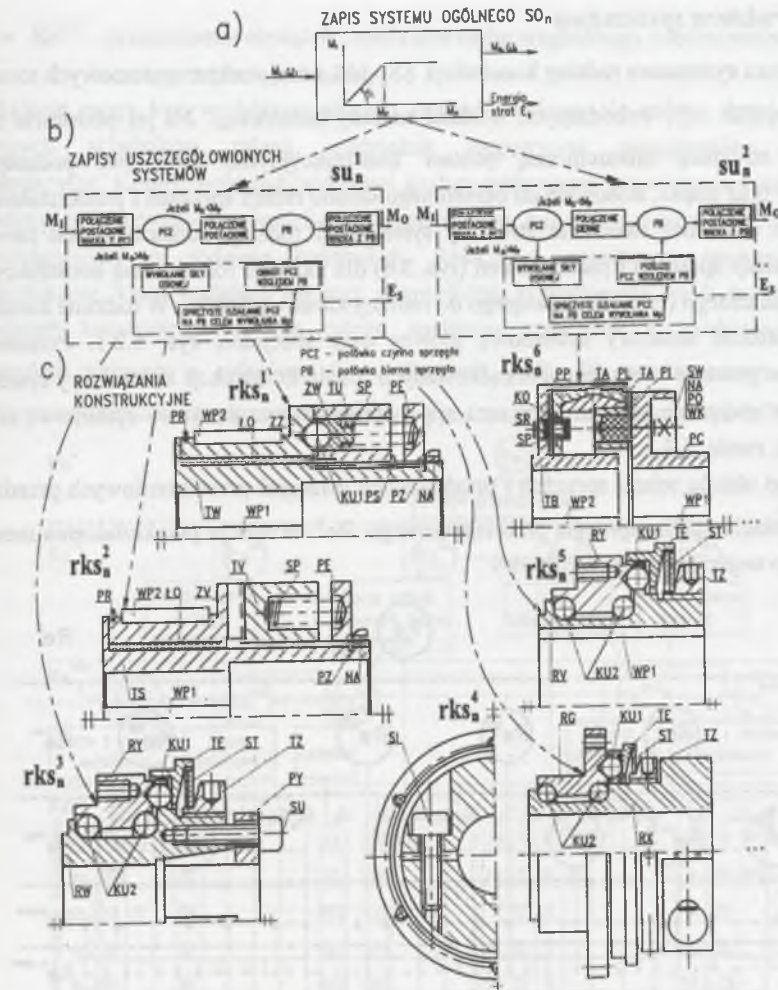
Rys. 3.4. Zapisy geometrycznych postaci konstrukcyjnych korpusów kół z wieńcem zębatym  
Fig. 3.4. Notation of geometrical constructional forms of bodies of wheels with a toothed rim

Różnorodność cech konstrukcyjnych  $CK_s$  w obrębie rodziny konstrukcji wynika z:

- cech charakterystycznych – wynikających z założeń projektowo-konstrukcyjnych (rozpoznanej potrzeby, wymagań przyszłego użytkownika),
- uszczegółowionych systemów - będących wynikiem działań twórczych projektantów i konstruktorów,
- kryteriów wytwórczych – wynikających z racji możliwości wytwórczych

$$CK_s = f(CCH_s, su_n^{12}, \Omega_w). \quad (3.9)$$

Przykładem różnorodności w obrębie rodziny konstrukcji może być zbiór konstrukcji sprzęgieł przeciążeniowych, któremu odpowiada system ogólny przedstawiony na rys. 3.5a. Jeżeli wartość momentu wyjściowego  $M_0$  będzie równa wartości momentu przeciążeniowego  $M_p$  lub przekroczy ją, to nastąpi poślizg między połówką czynną i bierną sprzęgła. Jeżeli wartość momentu wyjściowego  $M_0$  będzie mniejsza od wartości momentu przeciążeniowego  $M_p$ , to  $M_1 = M_0$ . W wyniku prac projektowych system ogólny był w różny sposób uszczegóławiany, zachowując podstawową relację przekształcenia momentu obrotowego.



Rys. 3.5. Fragment różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych w obrębie rodziny konstrukcji – sprzęgieł przeciążeniowych  
– sprzęgieł przeciążeniowych

Fig. 3.5. Part of the variety of constructional solutions for the family of overload couplings

Przykładowe zapisy uszczegółowionych systemów przedstawiono na rys. 3.5b. W pierwszym rozwiązaniu wykorzystuje się zjawisko zatrasku, natomiast w drugim sił tarcia. Wyróżnionym systemom odpowiadają różne rozwiązania konstrukcyjne (rys. 3.5c), będące głównym czynnikiem różnorodności tej rodziny konstrukcji.

Wyróżniono dwie podstawowe struktury określające zmienność hierarchiczną struktur rodzin konstrukcji  $RK_n$ :

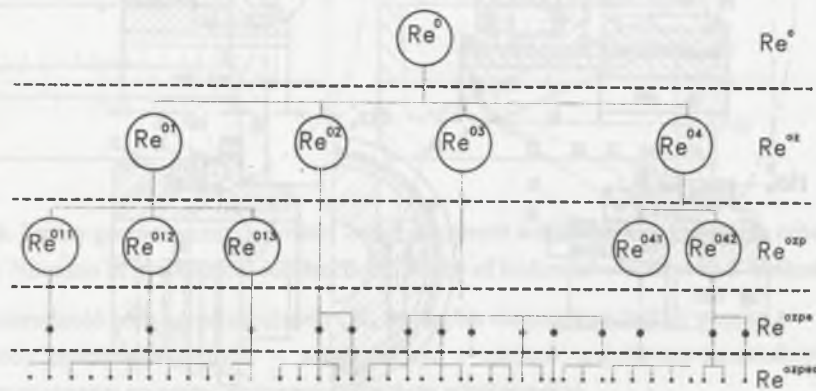
- systemowa,
- wariantowa.

Powyższe struktury przedstawione zostaną na przykładzie takich rodzin konstrukcji, jak: sprzęgła przeciążeniowe i wozy żużlowe.

### 3.1.1. Struktura systemowa

Struktura systemowa rodziny konstrukcji  $SS_n$  jest sumą struktur systemowych rozwiązań konstrukcyjnych  $ss_n^*$ , wchodzących w skład rodziny konstrukcji. Na jej podstawie można wyróżnić strukturę hierarchiczną postaci konstrukcyjnych: zespołów, podzespołów, elementów oraz części, stosownie do określonego układu relacji sprzężeń i przekształceń (rys. 3.6 – 3.9). Podstawą tworzenia struktury systemowej rodziny konstrukcji jest tworzenie układów relacji sprzężeń i przekształceń (rys. 3.6) dla każdego rozwiązania konstrukcyjnego środka technicznego (rys. 3.5) należącego do rodziny konstrukcji  $RK_n$ . W rodzinie konstrukcji można wyróżnić struktury systemowe główne oraz specjalne, rys. 5.2.1. Przedmiotem rozważań w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji są struktury systemowe główne, na podstawie których wyznacza się reprezentatywną strukturę systemową rodziny konstrukcji, rozdz. 5.2.1.

Przykład układu relacji sprzężeń i przekształceń sprzęgieł przeciążeniowych przedstawia rys. 3.6. Relacja ogólna sprzęgła przeciążeniowego  $Re^0$  to relacja przekształcenia momentu obrotowego wejściowego na wyjściowy.



Rys. 3.6. Układ relacji sprzęgła przeciążeniowego

Fig. 3.6. System of relations of the overload coupling

Relacja ogólna może być podzielona na relacje stopnia niższego, takie jak:

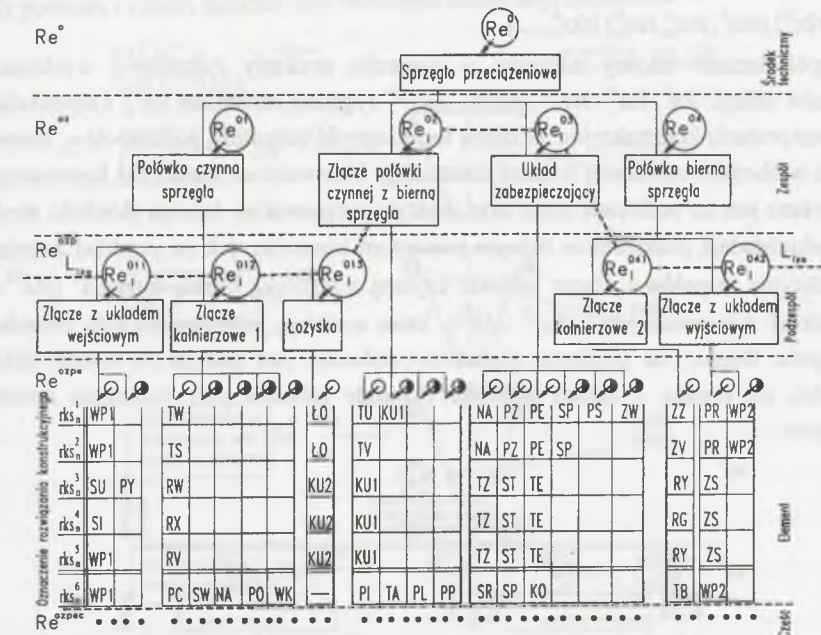
- $Re^{01}$  - połączenie układu wejściowego z półówką czynną sprzęgła,
- $Re^{02}$  - połączenie półowki czynnej z półówką bierną sprzęgła,
- $Re^{03}$  - zabezpieczenie,
- $Re^{04}$  - połączenie półowki biernej sprzęgła z układem wyjściowym.

Każdą z wymienionych relacji można podzielić na kolejne relacje składowe. Przykładowo relację sprzężenia  $Re^{01}$  można podzielić na relację:

- $Re^{011}$  - połączenia elementu układu wejściowego z piastą półowki czynnej sprzęgła,
- $Re^{012}$  - transformacji momentu obrotowego ze średnicy wejściowej na średnicę współdziałania półowki czynnej z półówką bierną sprzęgła,

- $Re^{013}$  - przenoszenia obciążeń i realizację ruchu względnego między półówką czynną a bierną sprzęgła, gdy  $M_0 \geq M_p$ .

Relacje mogą być w dalszym stopniu uszczegóławiane, ale należy, przy wyróżnianiu kolejnych składników relacji, oddzielnie rozpatrywać poszczególne rozwiązania konstrukcyjne. Konieczność indywidualnej analizy systemowej rozwiązania konstrukcyjnego świadczy o przerwaniu izomorfizmu systemowego między cząstkowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi w rodzinie konstrukcji. Relacje o najniższym poziomie struktury hierarchicznej, które spełniają warunek izomorfizmu systemowego, czyli porównywalności rozwiązań konstrukcyjnych, dla całego spektrum rozwiązań konstrukcyjnych rodziny konstrukcji nazwano - *relacjami izomorficznymi*  $Re_i^{zr}$ . W rozpatrywanym przykładzie relacjom izomorficznym odpowiadają zespoły i podzespoły oznaczone na rys. 3.7.



Rys. 3.7. Fragment struktury systemowej rodziny konstrukcji - sprzęgieł przeciążeniowych (oznaczenia elementów podano na rys. 3.5c)

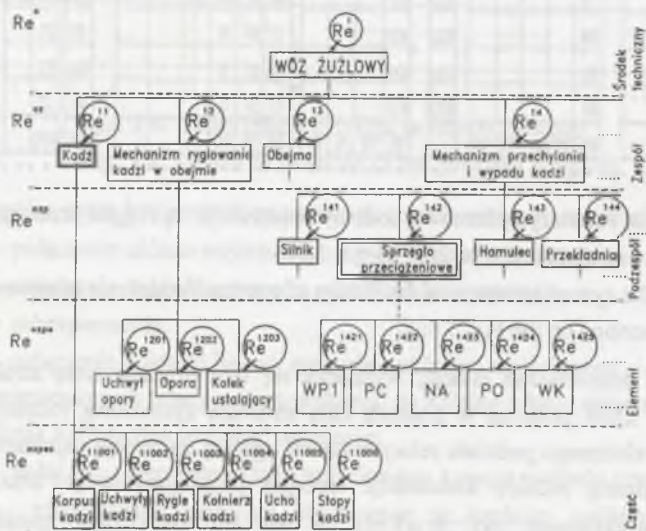
Fig. 3.7. Part of the system structure of the family of overload couplings (elements symbols are described on the Fig. 3.5c)

Łącząc linią izomorficzne relacje, wyznacza się izomorficzną linię struktury rodziny konstrukcji  $L_{izo}$ , która przecina w poprzek całą strukturę systemową rodziny konstrukcji. Wynikiem hierarchicznego podziału relacji z relacji ogólnej na relację najniższego rzędu jest podział hierarchiczny rodziny konstrukcji sprzęgła przeciążeniowego oraz wyróżnienie rozwiązań konstrukcyjnych  $rks_i^{zr}$ ; ( $r=1, rz$ ), w których zachowany został izomorfizm systemowy. Poszczególnym składnikom rozwiązań konstrukcyjnych, ze względu na

realizowaną relacją  $Re^z$  lub charakterystyczną postacią konstrukcyjną, przyporządkowane są umowne nazwy lub oznaczenia.

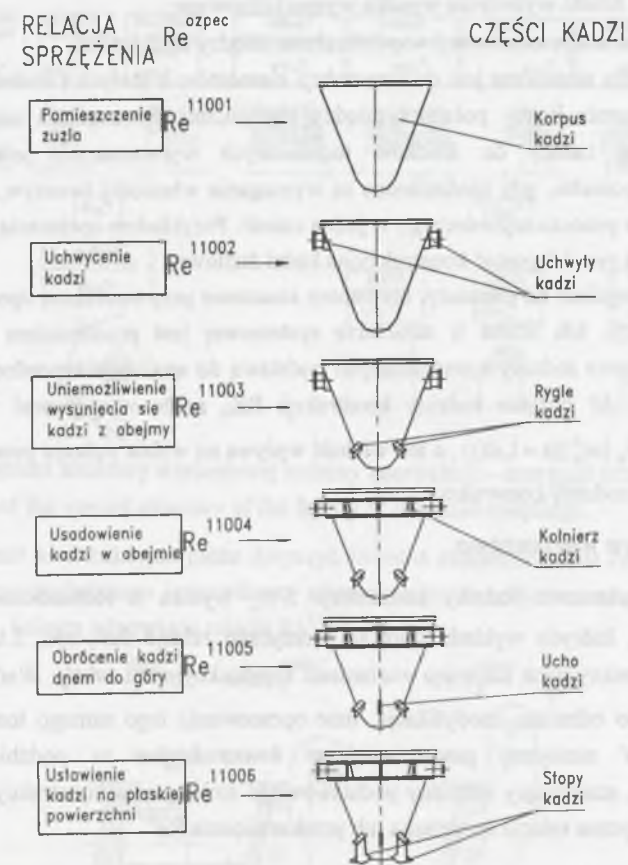
Rozwiązania konstrukcyjne elementów oraz części nie spełniające izomorfizmu systemowego charakteryzują się brakiem możliwości porównywania rozwiązań konstrukcyjnych. Niezbędne jest więc oddzielne rozpatrywanie struktury systemowej dla każdego rozwiązania konstrukcyjnego środka technicznego. Można stwierdzić jedynie identyczność lub brak składnika struktury systemowej rozważając rozwiązania konstrukcyjne niższego poziomu i na tej podstawie określić podobieństwo między rozwiązaniami konstrukcyjnymi wyższego poziomu (zastosowanie sieci semantycznych). W powyższym przykładzie (rys. 3.5c, rys. 3.7) wyróżniono na podstawie identyczności rozwiązań konstrukcyjnych elementów trzy klasy rozwiązań konstrukcyjnych  $\{rks_n^1, rks_n^2\}$ ,  $\{rks_n^3, rks_n^4, rks_n^5\}$ ,  $\{rks_n^6, \dots\}$ .

Współzależność między relacjami w hierarchii struktury systemowej wyróżnia pięć poziomów relacji:  $Re^0$ ,  $Re^{0z}$ ,  $Re^{0zp}$ ,  $Re^{0zpe}$ ,  $Re^{0zpec}$  (ogólnie oznaczane  $Re^z$ ). Odpowiadają im określone postacie konstrukcyjne: środków technicznych, zespołów, podzespołów, elementów i części w obrębie rozważanej rodziny konstrukcji. Nazewnictwo rozwiązań konstrukcyjnych ustanawiane jest na podstawie norm oraz praktyki inżynierskiej. Istnieją składniki struktury, które odpowiadają jednocześnie różnym poziomom hierarchii, jak na przykład rozwiązania konstrukcyjne zespołów: „złącze połowki czynnej z połówką bierną sprzęgła” ( $Re^{0z} \cup \Pi^{0z}$ ) oraz „układ zabezpieczający” ( $Re^{0z} \cup \Pi^{0z}$ ), które spełniają jednocześnie rolę zespołu oraz podzespołu. Dopiero na poziomie elementów widoczny jest podział na kolejne składniki hierarchii, co wynika z zasady podziału i zasady łączenia przy tworzeniu konstrukcji elementów.



Rys. 3.8. Fragment struktury systemowej rodziny konstrukcji – wozów żuźlowych  
Fig. 3.8. Part of the system structure of the family of slag cars

W zależności od złożoności środka technicznego istnieje również złożoność struktury systemowej. Przykładem może być struktura systemowa rodziny konstrukcji wozów żuźlowych, rys. 3.8. Widoczny jest tutaj podział na pięć poziomów struktury systemowej. W tej strukturze sprzęgło przeciążeniowe stanowi podzespół mechanizmu przechylenia i wypadu kadzi. Porównywalne poziomy struktury systemowej wozu żuźlowego i sprzęgła przeciążeniowego to poziomy zespołu ( $Re^{1zp} \rightarrow Re^0$ ) oraz poziomy elementów ( $Re^{1zpe} \rightarrow Re^{0zpe}$ ). W konstrukcji wozów żuźlowych zastosowano rozwiązanie konstrukcyjne sprzęgła przeciążeniowego  $rks_n^6$ , (rys. 3.5). Na rys. 3.8 widoczne są również składniki struktury, które odpowiadają jednocześnie różnym poziomom hierarchii. Rozwiązanie konstrukcyjne kadzi ( $Re^{11} \cup \Pi^{11}$ ) spełnia jednocześnie rolę zespołu, podzespołu i elementu. Dopiero na podstawie relacji  $Re^{0zpec}$  określa się części składowe kadzi przedstawione na rys. 3.9, co wynika również z zasady podziału i zasady łączenia przy tworzeniu konstrukcji elementów.



Rys. 3.9. Przyporządkowane relacjom postacie konstrukcyjne części kadzi żuźlowej  
Fig. 3.9. Relations assigned to the constructional forms of the part of slag ladles

**Zasada podziału i zasada łączenia** określa strukturę systemową środka technicznego głównie ze względu na proces wytwarzania. Obie zasady ułatwiają proces wytwarzania, przy czym pierwsza służy zmniejszaniu złożoności wytwarzanych elementów, natomiast druga - uproszczeniu montażu.

Zasada podziału stosowana jest do konstrukcji elementów o dużych rozmiarach i o złożonej postaci konstrukcyjnej oraz wtedy, gdy jest konieczne zastosowanie tworzyw o zróżnicowanych własnościach w określonych fragmentach konstrukcji. Przykładem stosowania tej zasady jest koło zębate z wieńcem zębatym, składające się z korpusu koła zębatego (rys. 3.4) oraz wieńca zębatego wykonanego z tworzywa o podwyższonych własnościach. W uporządkowanych rodzinach konstrukcji ta zasada pozwala:

- stosować elementy katalogowe i znormalizowane w szerszym zakresie,
- stosować standardowe półfabrykaty w procesie wytwarzania,
- stosować środki wytwórcze wysoko wyspecjalizowane,
- zwiększyć liczbę kombinacji współdziałania między elementami.

Zasada łączenia stosowana jest do konstrukcji elementów o małych i średnich rozmiarach w celu zmniejszenia liczby połączeń między elementami. Szczególnie uzasadnione jest zastosowanie tej zasady do środków technicznych wytwarzanych jednostkowo lub małoseryjnie, a ponadto, gdy ujednoczone są wymagania własności tworzyw, co umożliwia wtedy połączenie procesu wytwórczego w jedną całość. Przykładem spełniania tej zasady jest przedstawiona na rys. 3.9 postać konstrukcyjna kadzi żużlowej.

Podział, szczególnie na elementy, ma istotne znaczenie przy tworzeniu uporządkowanych rodzin konstrukcji. Ich liczba w strukturze systemowej jest przedmiotem optymalizacji. Struktura systemowa rodziny konstrukcji jest podstawą do analizy różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych. W obrębie rodziny konstrukcji  $RK_n$  może występować wiele struktur systemowych  $SS_n \{ss_n^s; (s=1, sz)\}$ , a ich wielość wpływa na wybór rodzaju procesu tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji.

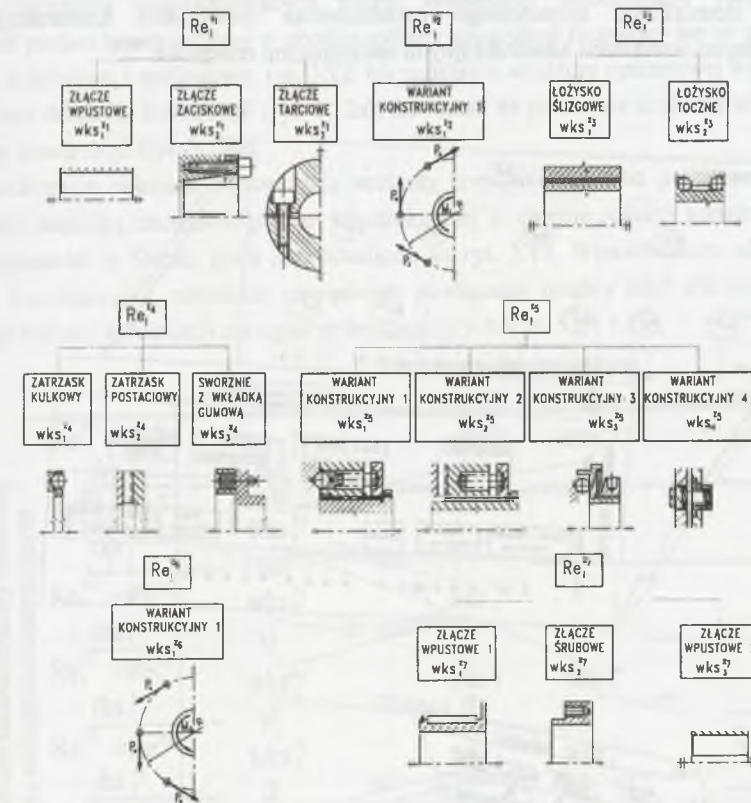
### 3.1.2. Struktura wariantowa

Struktura wariantowa rodziny konstrukcji  $SW_n$  wynika z różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych, których wykładnikiem są identyczne relacje  $Re^z$ , rys. 3.10. Taki zbiór rozwiązań konstrukcyjnych nazwano wariantami konstrukcyjnymi  $wks_z^z$ . Według leksykonu PWN „wariant to odmiana, modyfikacja, inne opracowanie tego samego tematu, projektu, planu itp.”. W niniejszej pracy **warianty konstrukcyjne** to podzbiór rozwiązań konstrukcyjnych, stanowiący odmiany podstawowego rozwiązania konstrukcyjnego, którym odpowiada identyczna relacja sprzężenia lub przekształcenia  $Re^z$

$$WKs_n \{wks_z^z; (w=1, wz_z)\} \subset RKs_n \quad (3.10)$$

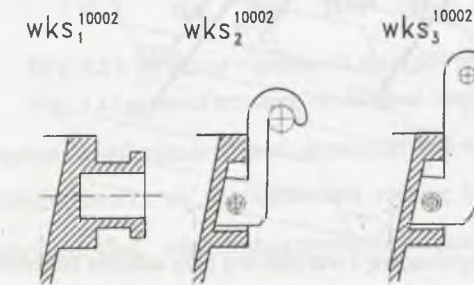
Szczególnie istotne ze względu na analizę różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych jest określanie wariantów rozwiązań konstrukcyjnych dla izomorficznych relacji  $Re^z_r$ , które oznaczano  $wks_z^z_r; (r=1, rz)(w=1, wz_r)$ . Przykładowo, dla rodziny konstrukcji sprzęgieł

przeciążeniowych (rys. 3.5c) określono wobec izomorficznych relacji  $Re^z_r (r=1, rz)$  następujące warianty konstrukcyjne  $wks_z^z_r (w=1, wz_r)$ , rys. 3.10.



Rys. 3.10. Fragment struktury wariantowej rodziny konstrukcji – sprzęgieł przeciążeniowych  
Fig. 3.10. Part of the variant structure of the family of overload couplings

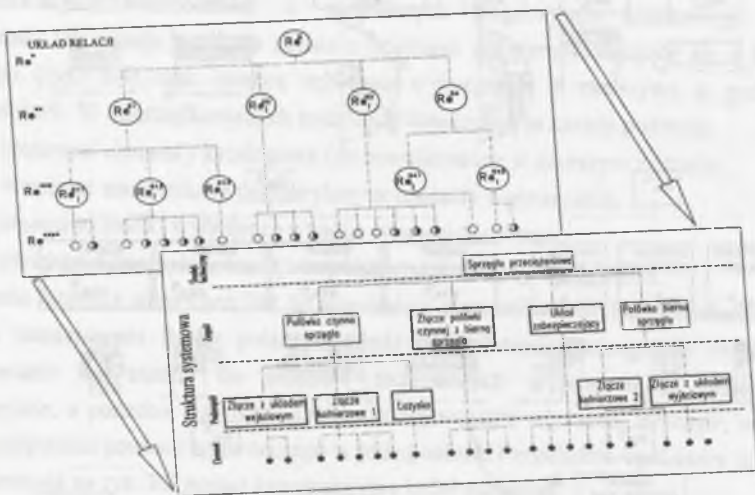
Wariantowość konstrukcyjna może dotyczyć również elementów oraz części, co zależy od poziomu spełnianego izomorfizmu systemowego. Przykładem mogą być uchwyty kadzi, rys. 3.11, którym odpowiada relacja  $Re^{10002}$ , rys. 3.9.



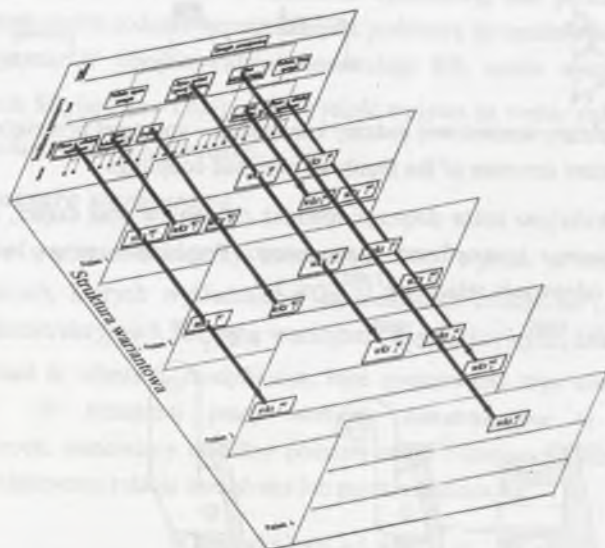
Rys. 3.11. Warianty konstrukcyjne ucha kadzi  
Fig. 3.11. Constructional variants of a ladle lug

Na rys. 3.11 widoczna jest zmiana struktury systemowej kadzi. Zgodnie z zasadą podziału wyróżniono w wariacie konstrukcyjnym  $wks_2^{11002}$  i  $wks_3^{11002}$  elementy ucha kadzi. Na podstawie izomorfizmu systemowego przedstawione rozwiązania konstrukcyjne są porównywalnymi wariantami konstrukcyjnymi realizującymi relację  $Re^{11002}$ .

a)



b)

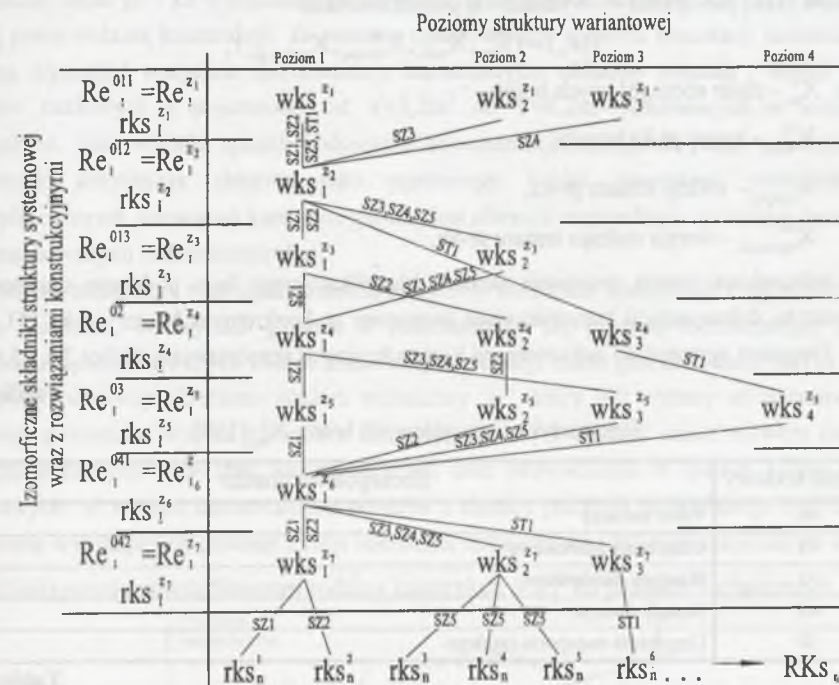


Rys. 3.12. Model struktury systemowej i wariantowej przy analizie zmienności postaci konstrukcyjnej sprzęgieł przeciążeniowych

Fig. 3.12. Model of the system and variant structure in the analysis of the variation of constructional forms of overload couplings

Liczność wariantów konstrukcyjnych zależy jest od zakresu zmienności jakościowych cech charakterystycznych oraz zdolności twórczych projektantów i konstruktorów. Jest ona w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji przedmiotem optymalizacji. Zmienność postaci konstrukcyjnej w obrębie rodziny konstrukcji rozpatruje się ze względu na strukturę systemową i wariantową, rys. 3.12. Na podstawie struktury systemowej wyróżnia się podstawowe składniki konstrukcji (rys. 3.12a), natomiast na podstawie struktury wariantowej - odmiany konstrukcji (rys. 3.12b).

Izomorficznym relacjom odpowiadają warianty konstrukcyjne oraz powiązania między nimi, które określają zmienność postaci konstrukcyjnej w obrębie rodziny konstrukcji  $RK_n$ . Zapis zmienności w formie grafu przedstawiono na rys. 3.13. Wierzchołkom odpowiadają warianty konstrukcyjne, natomiast krawędziom powiązania między nimi dla rozważanego fragmentu rodziny konstrukcji sprzęgieł przeciążeniowych (rys. 3.5 i 3.10),



Rys. 3.13. Struktura wariantowa sprzęgieł przeciążeniowych

Fig. 3.13. Variant structure of overload couplings

Na podstawie optymalizacji różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych (a tym samym postaci konstrukcyjnych), tworzy się uporządkowaną rodzinę konstrukcji  $RK_n^u$ , w której wariantom konstrukcyjnym  $wks_w^z$  odpowiadają typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tks_w^z$ .

### 3.1.3. Rejestracja różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych

Racjonalny sposób kumulowania różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych w obrębie rodzin konstrukcji, oparty na numeracji dokumentacji pr – ks, przedstawiono w pracach [144]. Opracowano sposób tworzenia numeru dokumentu składającego się z dwóch ciągów kodowych. Pierwszy z nich jest numerem identyfikacyjnym, a drugi klasyfikacyjnym. Numer identyfikacyjny składa się z numeru projektu oraz numeru porządkowego dokumentów występujących w danym projekcie. Numer klasyfikacyjny w sposób zwarty określa zawartość treściową dokumentu, a więc cechy wynikające z założeń pr - ks oraz istotne cechy konstrukcyjne (również wariantowość rozwiązań konstrukcyjnych). Zastosowanie hierarchicznego numeru klasyfikacyjnego pozwala uzyskać ciąg podziałów zbioru dokumentacji konstrukcyjnych, w którym każdy dokument  $d_k$  może być traktowany na przykład [110] jako punkt 4 - wymiarowej przestrzeni cech

$$f(d_k) = (X_{\alpha_1}^I, X_{\alpha_1, \alpha_2}^{II}, X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^{III}, X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4}^{VI}), \quad (3.11)$$

gdzie:  $X_{\alpha_1}^I$  - zbiór szczegółowych branż,

$X_{\alpha_1, \alpha_2}^{II}$  - temat pr-ks branży,

$X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^{III}$  - rodzaj tematu pr-ks,

$X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4}^{IV}$  - wersja rodzaju tematu pr-ks.

Przedstawiona zasada tworzenia numeru klasyfikacyjnego była podstawą opracowania systematyki dokumentacji konstrukcyjnej tworzonej w konkretnym biurze pr-ks [51, 110, 112]. Fragment systematyki dokumentacji konstrukcyjnych przedstawiają tablice 3.1 - 3.4.

Tablica 3.1

Systematyka szczegółowych branż  $X_{\alpha_1}^I$  [110]

Symbol kodowy	Szczegółowa branża
46	Tabor hutniczy
47	Urządzenia przetokowe
48	Maszyny rozlewnicze
49	Napędy maszyn
50	Urządzenia transportu ciągłego

Tablica 3.2

Systematyka tematów pr-ks  $X_{\alpha_1, \alpha_2}^{II}$  branży szczegółowej  $X_{\alpha_1}^I$  [110]

Symbol kodowy	Temat pr-ks
01	Wozy surówkowe
02	Wozy żuźłowe
03	Wozy odlewnicze
04	Wozy wsadowe

Tablica 3.3

Systematyka rodzajów  $X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^{III}$  tematu pr-ks  $X_{\alpha_1, \alpha_2}^{II}$  branży szczegółowej  $X_{\alpha_1}^I$  [110]

Symbol kodowy	Rodzaj tematu pr-ks
1	Przeznaczone dla żuźłu stalowniczego
2	Przeznaczone dla żuźłu wielkopieczowego

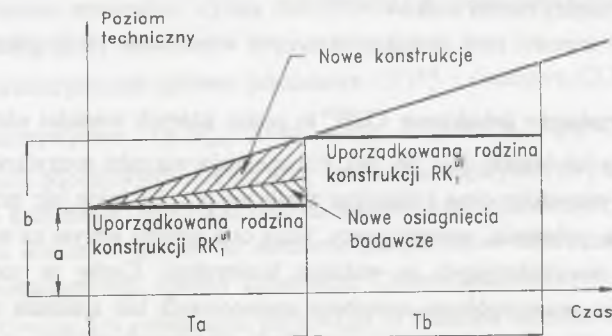
Tablica 3.4

Systematyka wersji  $X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4}^{IV}$  rodzaju  $X_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3}^{III}$  tematu pr-ks  $X_{\alpha_1, \alpha_2}^{II}$  branży szczegółowej  $X_{\alpha_1}^I$  [110]

Symbol kodowy	Wersja tematu pr-ks
01	Pojemność kadzi $V=3,6 \text{ m}^3$
02	Pojemność kadzi $V=4,5 \text{ m}^3$
03	Pojemność kadzi $V=8,2 \text{ m}^3$

Każdy temat pr – ks wyróżniony na poziomie III reprezentuje zbiór konstrukcji nazywany w tej pracy rodziną konstrukcji. Za pomocą opracowanego sposobu numeracji dokumentacji można wyszukać wszystkie dokumentacje konstrukcyjne układów wypadu i obrotu kadzi wozów żuźłowych o pojemności od  $V=3,2 \text{ m}^3$  do  $V=8,2 \text{ m}^3$  stosowanych w krajowym hutnictwie. Taki właśnie sposób kodowania dokumentacji umożliwia pełne wykorzystanie martwych dotychczas zbiorów jako ogromnego banku pomysłów, przykładów i zweryfikowanych rozwiązań konstrukcyjnych. Jest również racjonalnym sposobem tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji.

Poziom techniczny rozwiązań konstrukcyjnych w rodzinach konstrukcji z upływem czasu ulega zmianom, co wynika głównie z dokonującego się postępu technicznego. Model tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji w funkcji czasu przedstawiono na rys. 3.14. W sposób umowny określono poziom techniczny „b”, który jest wyższy od poziomu „a”. Różnica poziomów wynika głównie z dokonującego się w funkcji czasu rozwoju poprzez tworzenie nowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz prowadzenie w sposób ciągły badań naukowych. W wyniku odczuwalnych skutków z różnicy poziomu technicznego oraz układu kryteriów wynikających głównie z racji celowości technicznych [28] podejmuje się po okresie  $T_a$  aktualizowanie uporządkowanej rodziny konstrukcji  $RK_{\alpha_1}^{ul}$  do poziomu technicznego „b”.



Rys. 3.14. Model tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji w funkcji czasu  
Fig. 3.14. Model of creation an ordered family of constructions as a function of time

Wynikiem aktualizacji jest na nowo uporządkowana rodzina konstrukcji  $RK_1^{u1}$ , której czas istnienia zależny jest od dynamiki dokonującego się rozwoju technicznego.

### 3.2. Cechy charakterystyczne i konstrukcyjne

W odróżnieniu od tradycyjnego procesu od potrzeby do jej zaspokojenia (rys. 3.4), w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji na wejściu rozpatrywany jest zbiór potrzeb, który powinien być zaspokojony przez zbiór środków technicznych, określony przez optymalnie zróżnicowany zbiór konstrukcji. Zbiór potrzeb, ze względu na ich zmienność identyfikowany jest przez cechy charakterystyczne, natomiast zbiór konstrukcji opisywany jest przez cechy konstrukcyjne.

**Cechy charakterystyczne**  $CCH_c$  to właściwości, którymi powinien się charakteryzować przyszły środek techniczny ze względu na sprzężenie z otoczeniem. Odpowiadają danym sytuacyjnym oraz ilościowym w założeniach pr – ks i ściśle związane są z określoną rodziną konstrukcji. W procesie korzystania z uporządkowanej rodziny konstrukcji są podstawą wyboru konstrukcji na podstawie wymaganych wartości cech charakterystycznych. Przykładowo, w rodzinie konstrukcji przekładni zębatych wyróżniono, między innymi, następujące jakościowe cechy charakterystyczne:

- sposób zamocowania przekładni,
- sposób połączenia przekładni z układem napędowym,
- sposób połączenia przekładni z układem napędzanym,
- położenie wektora momentu wejściowego,
- położenie wektora momentu wyjściowego.

Cechy te wpływają głównie na różnorodność geometrycznej postaci konstrukcyjnej.

Cechy charakterystyczne ilościowe tej rodziny konstrukcji to między innymi:

- moc wyjściowa,
- prędkość obrotowa wyjściowa,
- przełożenie,
- liczba przeciążenia,
- odległość między osiami wałków.

W zależności od wartości cech charakterystycznych wyróżniono cechy jakościowe oraz ilościowe.

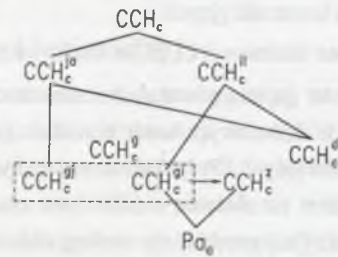
**Cechy charakterystyczne jakościowe**  $CCH_c^a$  to cechy, których wartości określane są w sposób ustopniowany lub binarny [12, 34, 54]. Nie spełniają warunku metryczności [12, 34, 54]. Ujmują przede wszystkim dane sytuacyjne z założeń pr - ks, takie jak: przeznaczenie, sposób zamocowania, położenie, warunki pracy. Mają one główny wpływ na wariantowość jakościowych cech konstrukcyjnych w rodzinie konstrukcji. Cechy te można opisać symbolicznie, nadając poszczególnym sposobom zamocowania lub zasilania odpowiednie oznaczenie liczbowe (literowe lub literowo-liczbowe). Wyselekcjonowane ze zbioru cech charakterystycznych jakościowych, ze względu na istotność w doborze cech konstrukcyjnych,

cechy nazwano głównymi  $CCH_c^g$ , w odróżnieniu od cech dodatkowych  $CCH_c^d$ , które są funkcją dobranych już cech konstrukcyjnych.

**Cechy charakterystyczne ilościowe**  $CCH_c^i$  to cechy określane w sposób ilościowy przez liczby rzeczywiste. Cechy te spełniają warunek metryczności [12, 34, 54]. Wpływają one przede wszystkim na dobór ilościowych cech konstrukcyjnych, a także na ustopniowanie jakościowych cech konstrukcyjnych. Przykładem może być rodzina konstrukcji przekładni zębatych walcowych, w której przełożenie  $u$  (ilościowa cecha charakterystyczna przekładni) wpływa na postać konstrukcyjną przekładni, według zaleceń [35] dla:  $u \leq 6$  - przekładnia jednostopniowa,  $6 < u \leq 35$  - przekładnia dwustopniowa,  $35 < u \leq 150$  - przekładnia trójstopniowa. W zależności od wpływu ilościowych cech charakterystycznych na dobór cech konstrukcyjnych wyróżniono cechy charakterystyczne ilościowe główne i dodatkowe. Ilościowe cechy charakterystyczne główne  $CCH_c^g$  wpływają przede wszystkim na ilościowe cechy konstrukcyjne [54]. Natomiast cechy charakterystyczne dodatkowe  $CCH_c^d$  są wynikiem dobranych cech konstrukcyjnych i mają wpływ na ocenę rozwiązań konstrukcyjnych. Do takich cech charakterystycznych zalicza się masę, masowe momenty bezwładności, wymiary gabarytowe, wymiary sprzężone środka technicznego. Z cech charakterystycznych głównych  $CCH_c^g$  wyróżnia się cechy charakterystyczne zależne  $CCH_c^z$ , które zastępują ilościowe cechy główne cechami bardziej związanymi z cechami konstrukcyjnymi. Przykładowo w rodzinie konstrukcji siłowników hydraulicznych odpowiednikiem siły rozpychającej, siły ściąągającej oraz ciśnienia nominalnego są takie cechy zależne, jak średnica tłoka, średnica tłoczyska oraz ciśnienie nominalne. Wyselekcjonowane spośród ilościowych cech charakterystycznych głównych  $CCH_c^g$  i zależnych  $CCH_c^z$  cechy, istotne ze względu na dobór ilościowych cech konstrukcyjnych, nazwano **parametrami**  $Pa_a$  rodziny konstrukcji. Parametry reprezentują w sposób ilościowy i jednoznaczny potrzeby  $po_i$ . Mają znaczenie operacyjne w procesie tworzenia i korzystania z uporządkowanych rodzin konstrukcji. Dla rodziny konstrukcji siłowników hydraulicznych wyróżniono następujące parametry: średnica tłoka, średnica tłoczyska, ciśnienie nominalne, wysięg maksymalny. Wartości parametrów ujmowane są w formie macierzy  $pa_{ia}$ .

Cechy charakterystyczne główne: jakościowe  $CCH_c^g$  i ilościowe  $CCH_c^i$  tworzą główne cechy charakterystyczne  $CCH_c^g$ , które mają decydujący wpływ na dobór cech konstrukcyjnych. Model wyróżnionych grup cech charakterystycznych przedstawiono na rys. 3.15. Iloczyn kartezyjski uporządkowanych wartości cech charakterystycznych odpowiada rozpoznawanemu obszarowi potrzeb na określoną klasę środków technicznych i jest podstawą tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji. Cechy charakterystyczne opisują potrzeby aktualne  $po_i^a$  ( $i = 1, ia_n$ ) i potencjalne  $po_i^p$  ( $i = 1, ip_n$ ). Potrzeba aktualna to taka potrzeba, dla której była już opracowana konstrukcja  $ks_k^a$ , technologia  $te_k^a$  oraz został wytworzony środek techniczny, który zaspokaja lub zaspokajał określoną potrzebę. Potrzeba potencjalna to taka

potrzeba, dla której w przyszłości może być realizowany proces konstrukcyjny, technologiczny i może występować w formie oferty.



Rys. 3.15. Model wyróżnionych grup cech charakterystycznych

Fig. 3.15. Model of distinguished groups of characterised features

Punktowi w przestrzeni potrzeb powinien odpowiadać punkt w przestrzeni cech konstrukcyjnych, rys. 3.1. Konstrukcja opisana jest poprzez cechy konstrukcyjne  $CK_s$  ( $s=g, t, m$ ), wśród których wyróżnia się cechy [28, 82]: geometryczne, tworzywowe, montażowe.

Podstawą metodyczną w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji jest rozgraniczenie cech konstrukcyjnych jakościowych od cech konstrukcyjnych ilościowych. Przedmiotem głównych rozważań są: geometryczna postać konstrukcyjna  $\Pi_g$  i tworzywowa postać konstrukcyjna  $\Pi_t$ , tworzące jakościowe cechy konstrukcyjne  $\Pi^p$

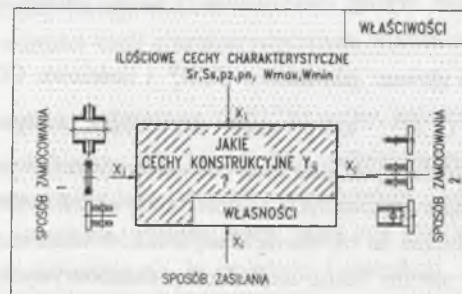
$$\Pi^p = \Pi_g \cup \Pi_t \quad (3.12)$$

oraz wymiary geometryczne  $W_g$  i wymiary tworzywowe  $W_t$  nazywane ilościowymi cechami konstrukcyjnymi  $W$

$$W = W_g \cup W_t \quad (3.13)$$

Konstrukcję opisują głównie wyżej opisane cechy  $\Pi$  i  $W$  odnoszące się do struktury zewnętrznej i wewnętrznej przyszłego środka technicznego. Cechy montażowe opisujące stany wytworu rozpatrywane są przy doborze cech geometrycznych i tworzywowych.

Problem tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji można sprowadzić do zagadnienia przyczynowo-skutkowego, rys. 3.16 i wynikającego stąd pytania: jakie powinny być cechy



Rys. 3.16. Model relacji między właściwościami a własnościami na przykładzie słowników hydraulicznych

Fig. 3.16. Model of relations between properties and peculiarities for the family of hydraulic cylinders

konstrukcyjne  $CK_s$  (własności przyszłego środka technicznego [27, 28]) dobrane ze względu na wartości cech charakterystycznych  $CCH_c$  (właściwości przyszłego środka technicznego [27, 28])? W ujęciu matematycznym cechy charakterystyczne stanowią zmienne niezależne  $X_i$ , natomiast cechy konstrukcyjne - zmienne zależne  $Y_{ij}$ .

### 3.3. Unifikacja i typizacja

Zagadnienie uporządkowania rodziny konstrukcji związane jest z unifikacją oraz typizacją. Do tej pory brak jest jednoznaczności w określaniu tych pojęć, co prowadzi do nieporozumień polegających na tym, że używa ich się zamiennie. Nawet Polski Komitet Normalizacji nie wypowiedział się jednoznacznie w normie PN/N-02000 dotyczącej terminologii o pojmowaniu unifikacji i typizacji. Określono jedynie definicję normalizacji jako: „działalność mającą na celu uzyskanie optymalnego stopnia uporządkowania w określonej dziedzinie, poprzez ustalenie postanowień przeznaczonych do powszechnego i wielokrotnego stosowania, dotyczących istniejących lub możliwych do zaistnienia problemów technicznych”.

Można spotkać w literaturze pojmowanie typizacji jako unifikacji i odwrotnie. Szczególnie charakterystyczna jest interpretacja unifikacji i typizacji w budownictwie, gdzie pojęcie unifikacji odniesiono jedynie do elementów, zaś pojęcie typizacji do całych układów technicznych [31]. W pracy [58] zebrano liczny zbiór definicji krajowych i zagranicznych (w liczbie 25), który uzupełniono o dodatkowe definicje z okresu 1983 - 2001. Zbiór ten poddano syntezie, a następnie analizie, wyróżniając w definicjach podmiot zabiegu, istotę zabiegu oraz kryteria. Wyniki uporządkowano według daty publikacji i przedstawiono na rys. 3.17.

Widoczny jest znaczny stopień rozmycia w określeniu tych pojęć zarówno w publikacjach krajowych, jak zagranicznych. Najbardziej jednoznaczne w tych definicjach jest to, że podmiotem typizacji jest wytwór, a istotą unifikacji jest ujednoczenie.

Uwzględniając słowotwórstwo - unifikacja to, w wolnym tłumaczeniu, sprowadzanie do jedności, typizacja to wyróżnienie ze zbioru. Proponuje się rozróżnienie tych pojęć ze względu na podmiot zabiegu. Mianowicie unifikacja będzie dotyczyć cech charakterystycznych, natomiast typizacja cech konstrukcyjnych.

**Unifikacja** - to kryterialne ograniczanie i porządkowanie wartości cech charakterystycznych tworzących jeden układ wartości obowiązujący dla określonej rodziny konstrukcji. Wynikiem unifikacji są zunifikowane wartości cech charakterystycznych  $cch_{ij}^u$ .

**Typizacja** - to kryterialny wybór spośród wariantów konstrukcyjnych  $wks_w^z$  typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $tk_s_w^z$  obowiązujących jako wzorcowe w obrębie określonej rodziny konstrukcji.

**Typ** logicznie związany będzie z wzorcową geometryczną postacią konstrukcyjną [31] lub wzorcowym procesem technologicznym reprezentującym zbiór podobnych konstrukcji lub technologii i może odnosić się do środka technicznego, zespołu, podzespołu, elementu i części.



Definicja	Nr definicji uporządkowanej z upływem lat	Podmiot zabiegu		Istota zabiegu		Kryteria																	
		Unifikacja	Typizacja	Unifikacja	Typizacja	Unifikacja	Typizacja																
		Składniki wytworów niższego rzędu	Cechy charakterystyczne wytworów i abstrakty	Wybrane własności	Wytwory i cechy charakterystyczne	Wybór lub ujednolicenie	Redukcja	Onagrodę wymienności elementów	Wybór	Paradoksy	Ujednolicenie na określone cechy	Opłacanie rozwiązań typowych	Wymierność składników wytworu	Najbardziej pożądana odmiana	Funkcjonalność	Przyspieszenie tempa rozwoju	Upraszczanie do jednego	Kaskadnie aktualnych potrzeb	Wyeliminowanie zbędnych odmian	Przedział czasu	Funkcjonalność, koszty wytworzenia	Upraszczanie, poprawa ekonomiki	
Krajowe	1/69	X																					
	2/69	X																					
	3/71	X																					
	4/71	X																					
	5/72	X																					
	6/73	X																					
	7/76	X																					
	8/76	X																					
	9/81	X																					
	10/82	X																					
	11/92	X																					
Zagraniczne	1/79	X																					
	2/82	X																					
	3/83	X																					
	4/83	X																					
	5/83	X																					
	6/95	X																					

Rys. 3.17. Wynik analizy dotyczący pojęcia unifikacji i typizacji  
 Fig. 3.17. The result of analysis of terms unification and typification

Jeżeli ze wszystkich wariantów konstrukcyjnych rodziny konstrukcji wyznaczy się po jednym typie konstrukcji, tzn. będzie jedna (typowa) postać konstrukcyjna odpowiadająca rodzinie konstrukcji  $RK_n$ , to wynikiem uporządkowania jest typoszereg. Natomiast gdy wyznaczone będą ze zbiorów wariantów konstrukcyjnych podzbiory typów konstrukcyjnych, to wynikiem uporządkowania będzie system modułowy tworzący konstrukcje modułowe.

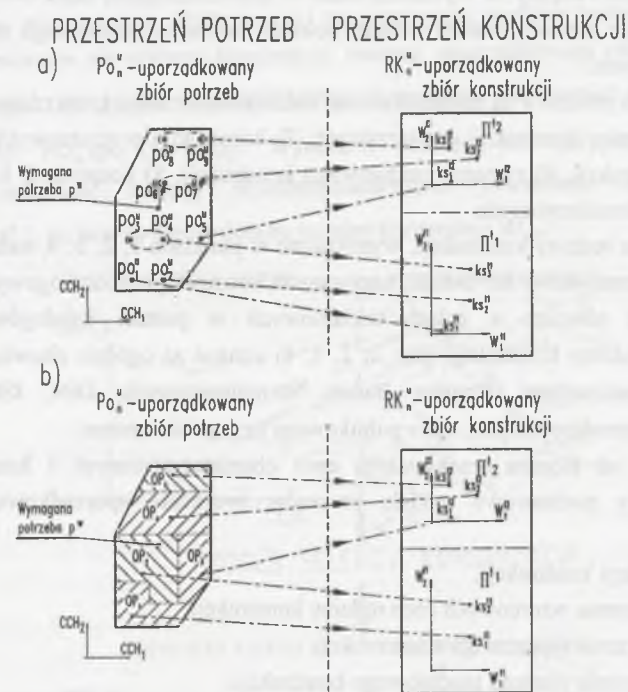
W procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji dla zunifikowanych wartości cech charakterystycznych dobierane są ilościowe cechy konstrukcyjne. Cechy te poddane **dykretyzacji** wraz z typową postacią konstrukcyjną tworzą typoszeregi konstrukcji środka technicznego lub typoszeregi ich składników.

**Typoszereg** środka technicznego, któremu odpowiada uporządkowana rodzina konstrukcji, to zbiór konstrukcji  $Ts_n \{ks_k^i; (k=1, kz)\}$  o stałej postaci konstrukcyjnej ( $\Pi^i = const$ ) oraz zmiennych wartościach wymiarów ( $w_{ki}^i = var$ ). Własności typoszeregów, a szczególnie typoszeregów elementów  $ts_m^i; (m=1, mz)$ , mają istotne znaczenie w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji.

#### 4. MODELE PROCESÓW TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI

Uporządkowanie rodzin konstrukcji to tworzenie optymalnie zróżnicowanych cech konstrukcyjnych, ze względu na ograniczone i uporządkowane wartości cech charakterystycznych, które powinny zachować niezmiennosc w określonym czasie. Wyróżniono dwa podstawowe sposoby przyporządkowania potrzeb uporządkowanych konstrukcji: dyskretne i ciągłe, rys. 4.1.

**Przyporządkowanie dyskretne** występuje wówczas, gdy jednej uporządkowanej potrzebie  $po_i^u$  lub zbiorowi potrzeb  $Po_n^u$  przyporządkowana jest jedna uporządkowana konstrukcja  $ks_k^i$ , rys. 4.1a.



Rys. 4.1. Dyskretne i ciągłe przyporządkowanie uporządkowanym potrzebom, uporządkowanych konstrukcji

Fig. 4.1. Discrete and continuous assignation of ordered needs and constructions

**Przyporządkowanie ciągłe** to przyporządkowanie podprzestrzeniom potrzeb  $OP_i$  uporządkowanej konstrukcji  $ks_k^i$ , rys. 4.1 b. Taki sposób przyporządkowania pojawia się w takich rodzinach konstrukcji, gdzie występują **cechy charakterystyczne ciągłe**, tzn. takie, których wartości są trudne do dykretyzacji ze względu na konieczność ich elastycznego

dostosowania do wymagań przyszłego użytkownika. Przykładem takich cech charakterystycznych są: rozpiętość suwnicy, skok siłownika, średnica wewnętrzna piasty sprzęgła. Wyznaczane są wówczas zakresy wartości cech charakterystycznych, według których uporządkowana konstrukcja ma być wybrana. Ta forma przyporządkowania jest również preferowana w elastycznych systemach modułowych konstrukcji.

Proces tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji może dotyczyć istniejącej rodziny konstrukcji, w której występuje nadmierna różnorodność cech konstrukcyjnych, nazywany jest *bieżącym*. Proces ten może być również *wyprzedzający*, tworzony od podstaw, dla wzorcowej zweryfikowanej praktycznie konstrukcji. Proces bieżący uporządkowania rodzin konstrukcji podejmowany jest najczęściej ze względu na odczuwalne skutki nadmiernej różnorodności istniejących środków technicznych, szczególnie w zakładach wytwórczych i remontowych [69, 79]. Bardziej uzasadniony jest proces wyprzedzający, który podjęty jest również w niniejszej pracy, pozwalający na wyeliminowanie w najwcześniejszej fazie tworzenia rodzin konstrukcji (w fazie rozwoju ekstensywnego) powstawania nieuzasadnionego zróżnicowania cech konstrukcyjnych.

Rezultatem tych procesów są uporządkowane rodziny konstrukcji, które mogą występować w formie: 1) zbiorów konstrukcji powtarzalnych, 2) konstrukcji o wzorcowych cechach, 3) typoszeregu konstrukcji, 4) systemu modułowego konstrukcji, 5) konstrukcji katalogowych, 6) konstrukcji znormalizowanych.

Uporządkowane rodziny konstrukcji, wymienione w punktach 1, 2, 3, 4, usankcjonowane przez jednostki przemysłowe lub branże, nazywane są konstrukcjami katalogowymi. Ich zapis publikowany jest również w celach reklamowych w postaci katalogów. Te same uporządkowane rodziny konstrukcji (pkt. 1, 2, 3, 4) uznane za ogólnie obowiązujące przez organizacje normalizacyjne (Komitet Badań Normalizacyjnych, DIN, ISO) nazwano konstrukcjami znormalizowanymi, które publikowane są w postaci norm.

W zależności od stopnia przekształceń cech charakterystycznych i konstrukcyjnych wyróżniono cztery podstawowe modele procesów tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji:

- 1) proces selekcji konstrukcji,
- 2) proces tworzenia wzorcowych cech rodziny konstrukcji,
- 3) proces tworzenia typoszeregów konstrukcji,
- 4) proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji.

Pierwsze dwa modele procesów odnoszą się do już istniejących rodzin konstrukcji, natomiast pozostałe dwa modele procesów mogą być stosowane zarówno w bieżącym lub wyprzedzającym tworzeniu uporządkowanych rodzin konstrukcji.

#### 4.1. Proces selekcji konstrukcji

Rodziny konstrukcji, które charakteryzują się dużą złożonością, małą powtarzalnością zastosowań oraz mają, w wyniku rozwoju ekstensywnego, niestabilizowany poziom techniczny, ze względów ekonomicznych nie poddaje się głębokiemu procesowi

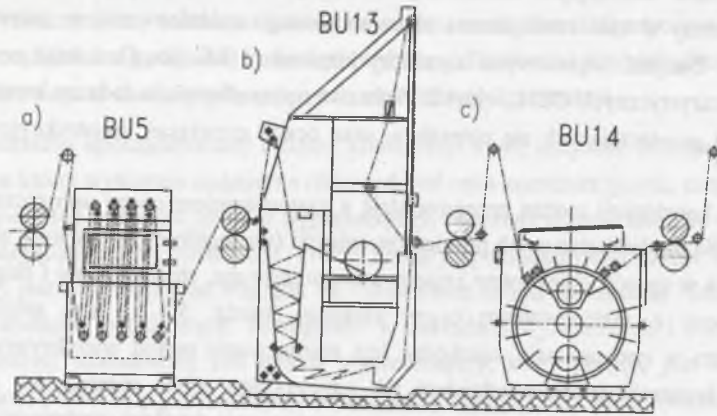
uporządkowania. Podstawowym działaniem realizowanym w tym procesie jest selekcja spośród zbioru istniejących konstrukcji. Selekcja rozumiana jest tutaj jako wybór przeprowadzony w celu zmniejszenia nieuzasadnionego zróżnicowania w zakresie rodziny konstrukcji. Danymi wejściowymi są zbiory konstrukcji  $RK_n\{ks_k; (k=1, k_z)\}$  oraz wartości cech charakterystycznych  $CCH_c$ , rys.4.2. Podstawą uporządkowania rodziny konstrukcji  $RK_n$  są częstości powtarzających się potrzeb  $v_i$  oraz ocena rozwiązań konstrukcyjnych (rozd. 5.2.6).

Selekcję konstrukcji można przeprowadzić z zastosowaniem oceny uproszczonej (rozd. 5.4.1) lub, dla bardziej złożonych problemów selekcji (szczególnie gdy zauważa się trudne do oszacowania w sposób obiektywny kryteria zdeterminowane, stochastyczne i lingwistyczne), metody oceny z zastosowaniem oceny złożonej (rozd. 5.4.2). Aby zminimalizować subiektywizm w tym procesie, niezbędne jest zastosowanie metod wielokryterialnej oceny rozwiązań konstrukcyjnych z udziałem jak najszerzego grona specjalistów z dziedziny konstruowania, wytwarzania, użytkowania i remontowania środków technicznych [16, 54, 109, 111]. Dokonuje się wyboru konstrukcji, tworząc uporządkowaną rodzinę konstrukcji  $RK_n^u\{ks_k^s; (k=1, k_z)\}$ , rys. 4.2. Selekcja konstrukcji związana jest również z selekcją potrzeb tworząc zbiór  $PO_n^s\{po_i^s; (i=1, i_z)\}$ . Wynikiem procesu jest przyporządkowanie  $\alpha_s$ , określające zależność między wyselekcjonowanymi potrzebami a konstrukcjami ( $po_i^s \xrightarrow{\alpha_s} ks_k^s$ ), co tworzy reguły doboru rodziny konstrukcji  $RG_n$ .



Rys. 4.2. Model przekształceń w procesie selekcji konstrukcji  
Fig. 4.2. Model of transformations in the process of construction selection

Przykładem zastosowania takiego procesu jest uporządkowana rodzina konstrukcji kadzi dla przemysłu włókienniczego, rys. 4.3 [13].



Rys. 4.3. Uporządkowana rodzina konstrukcji kadzi włókienniczych z zastosowaniem procesu selekcji konstrukcji [13]

Fig. 4.3. Ordered family of constructions of textile ladles using the method of construction selection

Wyróżnione konstrukcje kadzi BU5, BU13, BU14, którym odpowiadają różne uszczegółowione systemy, a tym samym różne postacie konstrukcyjne, realizują jeden wspólny system ogólny, polegający na uzdatnianiu włókna wełnianego. Rozwiązania konstrukcyjne, które nie spełniają układu kryteriów wynikających z racji istnienia środka technicznego [28], zostały usunięte z rodziny konstrukcji.

#### 4.2. Proces tworzenia wzorcowych cech

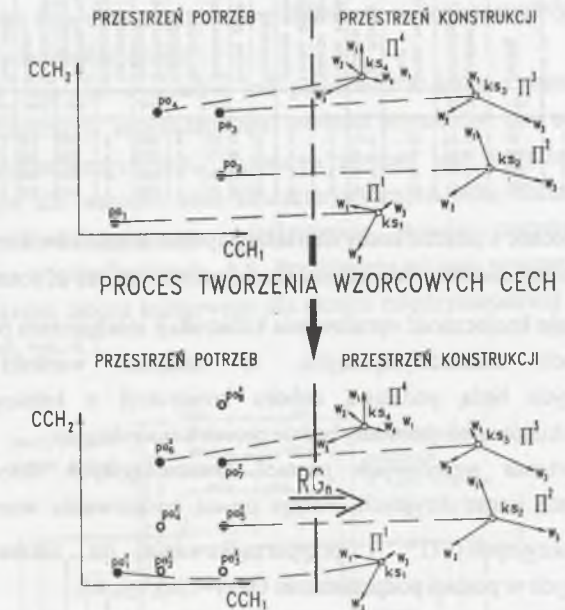
Proces tworzenia wzorcowych cech polega na uporządkowaniu wybranych cech rodziny konstrukcji. Wyróżnia się tutaj procesy tworzenia:

- 1) zalecanych wartości cech charakterystycznych,
- 2) wzorcowych postaci konstrukcyjnych,
- 3) zalecanych wartości wymiarów.

Oprócz tych procesów mogą być takie, których wynikiem są kombinacje wyżej wymienionych, np. proces tworzenia zalecanych wartości cech charakterystycznych i wzorcowych postaci konstrukcyjnych. Założeniem tych procesów jest opracowanie zalecanych lub wzorcowych cech rodziny konstrukcji, które będą przestrzegane w trakcie podejmowania procesu pr - ks w rodzinie konstrukcji.

**Proces tworzenia zalecanych wartości cech charakterystycznych** polega na opracowaniu ograniczonych i uporządkowanych wartości cech charakterystycznych, które będą wytycznymi przy formalizacji zapisu potrzeby [23] w postaci założeń pr - ks. Korzysta się w tym procesie z analizy możliwości wytwórczych. Przeprowadza się ją z uwzględnieniem aktualnego park maszynowego wytwórni oraz przekształconych wartości cech charakterystycznych, przedstawionych w rozdziale 5.3. Wynikiem tego procesu są zalecane potrzeby

$Po_n^* \{po_i^z (i = 1, iz)\}$ , opisane przez zalecane wartości cech charakterystycznych  $cch_c^a (c = 1, cz)$ , (rys. 4.4). Są one zależnym właściwie zunifikowanych wartości cech charakterystycznych. W tym procesie tylko niektórym wartościom cech charakterystycznych z przestrzeni potrzeb odpowiadają konstrukcje i nie są one przedmiotem optymalizacji różnorodności cech konstrukcyjnych.



Rys. 4.4. Model przekształceń w procesie tworzenia zalecanych cech charakterystycznych

Fig. 4.4. Model of transformations in the process of creation of the recommended characteristic features

Korzystanie z tak uporządkowanej rodziny konstrukcji polega na dostosowaniu założeń pr - ks do uporządkowanych wartości cech charakterystycznych. Jeżeli w zamówieniu wybrane zostaną wartości cech charakterystycznych, dla których nie ma opracowanej konstrukcji, to podejmowany jest tradycyjny proces konstrukcyjny dla indywidualnych założeń pr - ks.

Szczególnym przypadkiem tej formy tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji jest opracowanie zależnych cech charakterystycznych  $cch_s^z (s = 1, sz)$  składników struktury systemowej konstrukcji  $ss_n^z$  (zespołów, podzespołów, elementów, części) w zależności od zalecanych wartości cech charakterystycznych rodziny konstrukcji  $cch_c^a (c = 1, cz)$ . Wartości tych cech stanowią wytyczne do doboru elementów katalogowanych lub podstawę podjęcia procesu konstrukcyjnego. Przykładem tak uporządkowanej rodziny konstrukcji mogą być konstrukcje mechanizmu podnoszenia suwnicy, rys. 4.5. Dla uporządkowanych wartości cech charakterystycznych mechanizmu podnoszenia, takich jak: udźwig, prędkość podnoszenia,

grupa nateżenia pracy, ustalone zostały reguły doboru  $RG_n$  zależnych cech charakterystycznych: zbloca linowego, bębna linowego i innych składników konstrukcji.

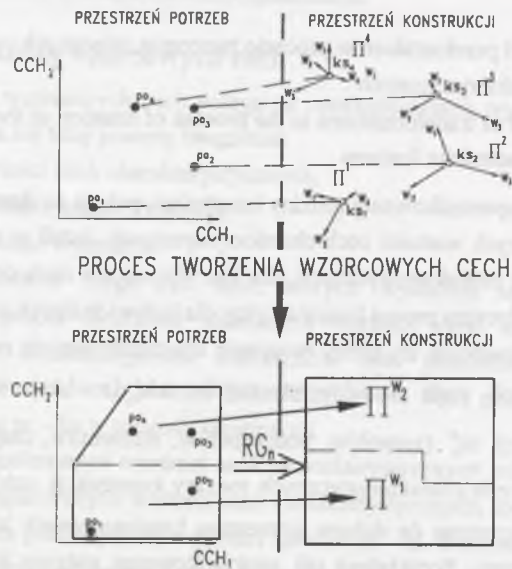
MECHANIZM PODNOSZENIA SUWNICY																	
L.p.	Cechy charakterystyczne ogólne			Cechy charakterystyczne zależne składników mechanizmu													
	Udźwign.	Prędkość podnoszenia	Grupa nateżenia pracy	Zbloca linowe					Bęben linowy								
				Typ zbloca linowego	Liczba krząków zbloca górnego	Liczba krząków zbloca dolnego	Przebieg	Liczba pasm liny	Średnica liny	Typ krząka roboczego	Średnica krząka roboczego	Typ krąka wyrównawczego	Średnica krąka wyrównawczego	Średnica bębna linowego	Średnica bębna	Średnica bębna przy wys. podnoszenia 10 m	Diagonalność dla zwojów mocujących
kN	m/s						mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
1	80	0.33	III	A-1	1	2	2	4	20	A	630	A	500	630	23	465	184
2	125	0.33	III	A-2	3	4	4	8	18	A	630	A	500	500	20	1020	160
3	200	0.27	III	A-3	5	6	6	12	18	A	630	A	500	500	20	1529	160
4	320	0.21	III	A-4	5	6	6	12	18	A	630	A	500	630	20	1214	160

Rys. 4.5. Zalecane a zależne cechy charakterystyczne składników konstrukcji

Fig. 4.5. Recommended and dependent characteristic features of construction elements

Jeżeli zaistnieje konieczność opracowania konstrukcji mechanizmu podnoszenia z zakresu zalecanych cech charakterystycznych, to ustalone wartości zależnych cech charakterystycznych będą podstawą doboru konstrukcji z katalogów, natomiast dla pozostałych składników podejmowany będzie proces konstrukcyjny.

Proces tworzenia wzorcowych postaci konstrukcyjnych dotyczy przekształcanie jakościowych cech konstrukcyjnych. Polega on na opracowaniu wzorcowych (typowych) postaci konstrukcyjnych  $\Pi^i$  i przyporządkowaniu im zakresów wartości cech charakterystycznych w postaci podprzestrzeni  $OP_i(i=1,iz)$ , rys.4.6.

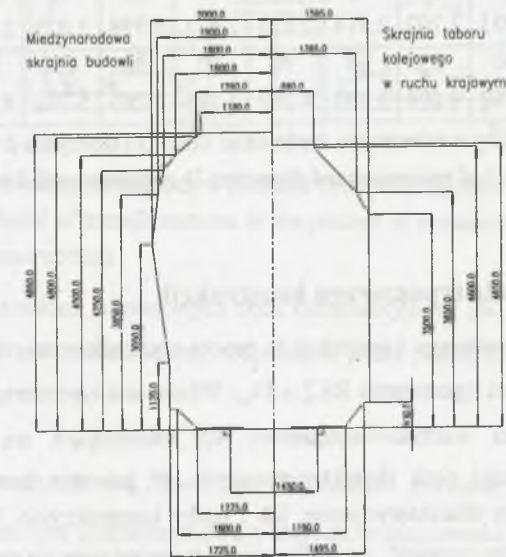


Rys. 4.6. Model przekształceń w procesie tworzenia wzorcowych postaci konstrukcyjnych

Fig. 4.6. Model of transformations in the process of creation the pattern constructional forms

Wynikiem procesu jest przyporządkowanie  $\alpha_w$  określające zależność między  $OP_i$  a wzorcowymi (typowymi) postaciami konstrukcyjnymi  $\Pi^i$ . Korzystając z przyporządkowania  $\alpha_w$ , będącego jednocześnie regułą doboru rodziny konstrukcji  $RG_n$ , dla wymaganych wartości cech charakterystycznych, wybrana zostaje wzorcowa postać konstrukcyjna środka technicznego  $\Pi^i$  oraz postacie konstrukcyjne elementów  $\Pi^{i,j}$ . W wyniku tradycyjnego procesu konstrukcyjnego uzupełnia się brakujące ilościowe cechy konstrukcyjne elementów, tworząc konstrukcję środka technicznego.

Proces zalecanych wartości wymiarów jest procesem, w którym wprowadza się dla określonej rodziny konstrukcji uporządkowane wartości wymiarów dla całego spektrum wartości cech charakterystycznych  $c_{ch,ic}$ . Podstawą procesu jest przyporządkowanie  $\gamma_w$  (rozd. 5.7), w którym dla wartości cech charakterystycznych  $c_{ch,ic}$  oblicza się wartości wymiarów  $w_{ii}$ , a następnie ogranicza i dyskretyzuje, stosując metody optymalizacji różnorodności wartości wymiarów, rozdz. 5.8. Przykładem takiego procesu jest określenie wartości wymiarów skrajni taboru kolejowego dla skrajni międzynarodowej i krajowej oraz budowlanej i kolejowej, rys. 4.7.



Rys. 4.7. Wzorcowe wymiary skrajni taboru kolejowego [141]

Fig. 4.7. Pattern dimensions of the vehicle gauge

Kolejnym przykładem uporządkowania wartości wymiarów są zalecane wartości wymiarów w siłownikach hydraulicznych według PN, rys. 4.8. Uporządkowanie to dotyczy zarówno zakresów wartości, jak i stopnia dyskretyzacji takich wymiarów, jak średnica tłoka  $D$ , średnica tłoczyśka  $d$  w zależności od stosunku roboczych powierzchni tłoka  $\phi$ . Wartość  $\phi$

odpowiada stosunkowi siły rozpychającej  $S_r$  do ściągającej  $S_s$ , siłownika,  $\varphi = \frac{S_r}{S_s} = \frac{D^2}{D^2 - d^2}$ .

Podstawą dyskretyzacji wartości średnicy tłoka  $D$ , średnicy tłoczyska  $d$  oraz  $\varphi$  są szeregi liczb normalnych.

$\varphi$	$D$	50	55	63	70	80	90	100	110	125	140	160
1.12	$d$	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50
	$\varphi$	1.114	1.120	1.112	1.110	1.108	1.107	1.114	1.120	1.114	1.115	1.108
1.25	$d$	22	25	28	32	36	40	45	50	55	63	70
	$\varphi$	1.260	1.260	1.246	1.264	1.254	1.246	1.246	1.260	1.240	1.254	1.237
1.4	$d$	25	28	32	36	45	50	55	63	70	80	90
	$\varphi$	1.333	1.350	1.348	1.360	1.463	1.446	1.434	1.488	1.457	1.485	1.463
1.6	$d$	32	36	40	45	50	55	63	70	80	90	100
	$\varphi$	1.694	1.749	1.675	1.704	1.641	1.596	1.658	1.681	1.694	1.704	1.641
2.0	$d$	36	40	45	50	55	63	70	80	90	100	110
	$\varphi$	2.076	2.123	2.042	2.042	2.042	1.961	1.961	2.123	2.076	2.042	1.896
2.5	$d$	40	45	50	55	63	70	80	90	100	110	125
	$\varphi$	2.778	3.025	2.702	2.614	2.633	2.531	2.778	3.025	2.778	2.613	2.566
5.0	$d$	45	50	55	63	70	80	90	100	110	125	140
	$\varphi$	5.263	5.762	4.204	5.263	4.267	4.765	5.263	5.762	4.433	4.931	4.267

Rys. 4.8. Fragment tablicy z zalecanymi średnicami tłoka  $D$  i tłoczyska  $d$  w zależności od  $\varphi$

Fig. 4.8. Part of the table of recommended diameters  $D$  of pistons and  $d$  of piston rods as a function of  $\varphi$

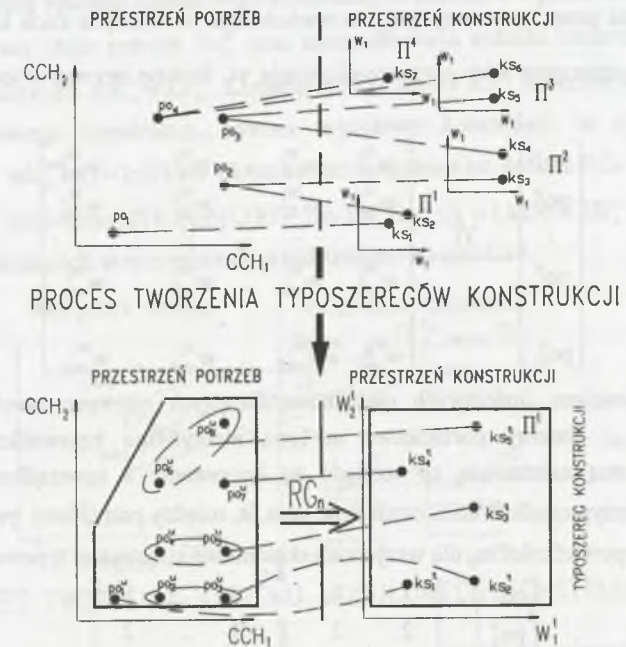
### 4.3. Proces tworzenia typoszeregu konstrukcji

Proces tworzenia typoszeregu konstrukcji to proces uporządkowania zbioru potrzeb  $Po_n^u$  oraz konstrukcji w postaci typoszeregu  $RK_n^u = Ts_n$ . Własnością typoszeregu jest jedna postać konstrukcyjna  $\Pi^i$  oraz wartości wymiarów  $W_i^j$  zmieniające się odpowiednio do uporządkowanych wartości cech charakterystycznych. W procesie tym przekształceniom podlegają zarówno cechy charakterystyczne, jak i cechy konstrukcyjne. Wyróżnioną postać konstrukcyjną  $\Pi^i$  przyjęto nazywać „typem”, natomiast zmieniające się wartości wymiarów - „szeregiem”. Wynikiem tego procesu jest uporządkowana rodzina konstrukcji w postaci typoszeregu konstrukcji

$$Po_n^u \{po_i^u; (i = 1, iz)\} \Rightarrow Ts_n \{ks_k^i; (k = 1, kz)\} \equiv RK_n^u. \quad (4.1)$$

Składniki struktury systemowej tak uporządkowanej rodziny konstrukcji tworzą również typoszeregi, np. typoszeregi zespołów, typoszeregi elementów. Podstawowym składnikiem struktury systemowej rodziny konstrukcji w procesie tworzenia typoszeregów jest konstrukcja elementu. Konstrukcję elementu wchodzącą w skład typoszeregu nazwano typowielkością

elementu  $ts_m^{te_j}$ . Model przekształceń cech w procesie tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji, którego wynikiem jest typoszereg konstrukcji, przedstawiono na rys. 4.9.



Rys. 4.9. Model przekształceń w procesie tworzenia typoszeregu konstrukcji

Fig. 4.9. Model of transformations in the process of creation the series of types of constructions

Podstawą przekształceń jakościowych cech konstrukcyjnych jest przyporządkowanie  $\alpha t$ , gdzie uporządkowanym potrzebom  $po_i^u$  odpowiada jedna postać konstrukcyjna  $\Pi^i$  środka technicznego

$$Po_n^u \{po_i^u; (i = 1, iz)\} \xrightarrow{\alpha t} \Pi^i. \quad (4.2)$$

W typoszeregu konstrukcji  $ks_k^i; (k = 1, kz)$ , na każdym poziomie struktury systemowej, rozwiązania konstrukcyjne charakteryzują się brakiem wariantowości  $tk_s_w^z; (r = 1, rz)(w = 1)$ , w wyniku czego przyporządkowanie  $\beta t$  przyjmuje prostą postać

$$\Pi^i \xrightarrow{\beta t} \Pi^{te_1} \cup \Pi^{te_2} \cup \dots \cup \Pi^{te_j} = const. \quad (4.3)$$

Każdej typowej postaci konstrukcyjnej elementu  $\Pi^{te_j}$  odpowiada typoszereg  $ts_m^{te_j}; (m = 1, mz)$ , który reprezentowany jest przez postać konstrukcyjną oraz macierz zmiennych wartości ilościowych cech konstrukcyjnych  $w_{m1}^{te_j}$

$$ts_m^{te_j}; (m = 1, mz) = \Pi^{te_j} \cup w_{m1}^{te_j}; (l = 1, lz). \quad (4.4)$$

Zmienność ilościowych cech konstrukcyjnych zależna jest głównie od zmienności wartości parametrów  $pa_i^u$ , rozdz. 5.3. Przyporządkowanie między potrzebami  $po_i^u; (i=1, iz)$ , reprezentowanymi przez parametry  $pa_{ia}^u$ , a wartościami ilościowych cech konstrukcyjnych elementu  $w_{ml}^{te_j}$  oznaczono jako przyporządkowanie  $\gamma t$ . Poniżej przedstawiono macierzową formę zapisu

$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_i^u \\ \vdots \\ po_{iz}^u \end{bmatrix} \xrightarrow{\gamma t} \begin{bmatrix} w_{11}^{te_1} & w_{12}^{te_1} & \dots & w_{1j}^{te_1} & \dots & w_{1lz}^{te_1} \\ w_{21}^{te_1} & w_{22}^{te_1} & \dots & w_{2j}^{te_1} & \dots & w_{2lz}^{te_1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1}^{te_j} & w_{m2}^{te_j} & \dots & w_{mj}^{te_j} & \dots & w_{mlz}^{te_j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{mz1}^{te_j} & w_{mz2}^{te_j} & \dots & w_{mzj}^{te_j} & \dots & w_{mzlj}^{te_j} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Macierz z wartościami ilościowych cech konstrukcyjnych nazwano **macierzą wartości wymiarów**  $MW_{ml}$ . Numery porządkowe  $m=1, mz$  identyfikują typowość w danym typoszeregu. Istotną zależnością ze względu na korzystanie z uporządkowanej rodziny konstrukcji jest przyporządkowanie, oznaczone jako  $\delta t$ , między potrzebami  $po_i^u$  a numerami porządkowymi typowości  $m_{ij}$  dla wszystkich składników konstrukcji typowej

$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_i^u \\ \vdots \\ po_{iz}^u \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 1 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{i,jz} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{iz,1} & m_{iz,2} & \dots & m_{iz,j} & \dots & m_{iz,jz} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Powyższą macierz nazwano macierzą typowości  $MT_{ij}$ . W zależności od przyporządkowania  $\delta t$  wyróżniono dwa rodzaje typoszeregów konstrukcji  $TS_n$ :

- posobne, w których typowości elementów spełniają warunek

$$\bigwedge_{i=1, iz} i = m_{ij}, j=1, jz, \quad (4.7)$$

- powtarzalne, w których możliwy jest dobór wielokrotny tej samej typowości,

$$\bigvee_{i=1, iz} i \neq m_{ij}, j=1, jz. \quad (4.8)$$

Liczba typowości elementów oraz rodzaj typoszeregu konstrukcji, zależy od wyniku optymalizacji różnorodności wartości wymiarów, przedstawionej w rozdz. 5.8.

Określone przyporządkowania:  $\alpha t$ ,  $\beta t$ ,  $\gamma t$  i  $\delta t$ , tworzą regułę doboru  $RG_n$ , wyboru typowości elementów w zależności od uporządkowanych potrzeb, rys. 4.9.

#### 4.4. Proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji

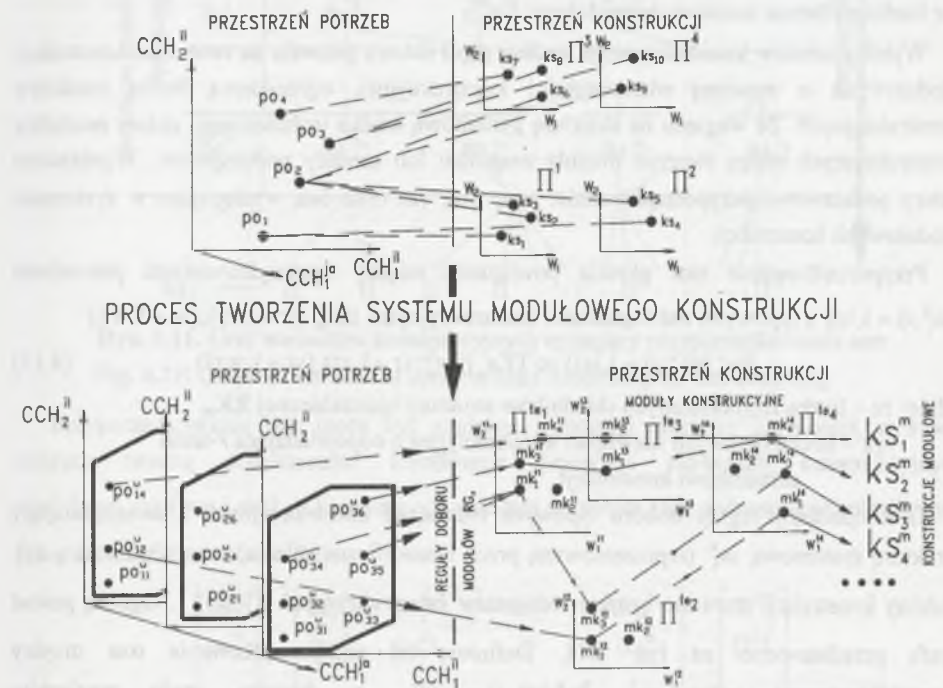
W procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji rzadko uzyskuje się tylko jedną postać konstrukcyjną  $\Pi^1$  dla całego spektrum wartości cech charakterystycznych.

Częściej powstaje kilka lub kilkanaście typowych postaci konstrukcyjnych  $\Pi^p$ , co jest charakterystyczne dla procesu tworzenia systemów modułowych konstrukcji.

Proces tworzenia systemu modułowego konstrukcji to proces, w wyniku którego tworzony jest uporządkowany zbiór potrzeb  $Po_n^u$  oraz uporządkowana rodzina konstrukcji w postaci konstrukcji modułowych  $RK_n^u = Ks_n^m$ . Konstrukcje modułowe  $Ks_n^m$  tworzone są na podstawie systemu modułowego konstrukcji. System modułowy konstrukcji to zbiór modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{rwe_j}; (j=1, jz), (m=1, mz)$  wraz z regułami ich doboru  $RG_n$

$$SM_n (\{mk_m^{rwe_j}; (m=1, mz), (j=1, jz)\} \cup RG_n) \Rightarrow Ks_n^m \{ks_k^m; (k=1, kz)\} \equiv RK_n^u. \quad (4.9)$$

Model przekształceń cech w tym procesie przedstawiono na rys. 4.10.



Rys. 4.10. Model przekształceń w procesie tworzenia systemu modułowego konstrukcji  
 Fig. 4.10. Model of transformations in the process of creation a module system of construction

W odróżnieniu od uporządkowanej rodziny konstrukcji w postaci typoszeregu, w konstrukcjach modułowych  $Ks_n^m \{ks_k^m; (k=1, kz)\}$  występują optymalnie zróżnicowane postaci konstrukcyjne  $\Pi^p; (p=1, pz)$  oraz optymalnie zróżnicowane wartości wymiarów  $w_i^p; (i=1, lz)$ . Ich zmienność w uporządkowanej rodzinie konstrukcji  $RK_n^u$  określana jest głównie przez możliwość kombinatorycznego doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $tkz_w^z$

$$tks_w^z; (r = 1, rz), (w = 1, wz) \longrightarrow \Pi^p; (p = 1, pz). \quad (4.10)$$

Przyczyną zmienności postaci konstrukcyjnej w uporządkowanej rodzinie konstrukcji są najczęściej zmieniające się jakościowe cechy charakterystyczne (CCH<sup>ja</sup>).

Typoszereg jest szczególnym przypadkiem konstrukcji modułowych. Mówi się o nim wtedy, gdy wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych zostanie sprowadzony tylko do wyboru jednego rozwiązania konstrukcyjnego w całej strukturze systemowej rodziny konstrukcji SS<sub>n</sub>. Podstawowym składnikiem systemu modułowego jest moduł konstrukcyjny.

**Modułem konstrukcyjnym**  $mk_m^{rwc}$  nazwano konstrukcję elementu poddaną optymalizacji różnorodności cech konstrukcyjnych, na podstawie której według reguł doboru RG<sub>n</sub> tworzy się bardziej złożone konstrukcje modułowe Ks<sub>n</sub><sup>m</sup>.

Wybór modułów konstrukcyjnych według reguł doboru pozwala na tworzenie konstrukcji modułowych o znacznej różnorodności konstrukcyjnej, ograniczoną liczbą modułów konstrukcyjnych. Ze względu na strukturę systemową środka technicznego, zbiory modułów konstrukcyjnych mogą tworzyć moduły zespołów lub moduły podzespołów. Wyróżniono cztery podstawowe przyporządkowania:  $\alpha m$ ,  $\beta m$ ,  $\gamma m$  oraz  $\delta m$ , występujące w systemach modułowych konstrukcji.

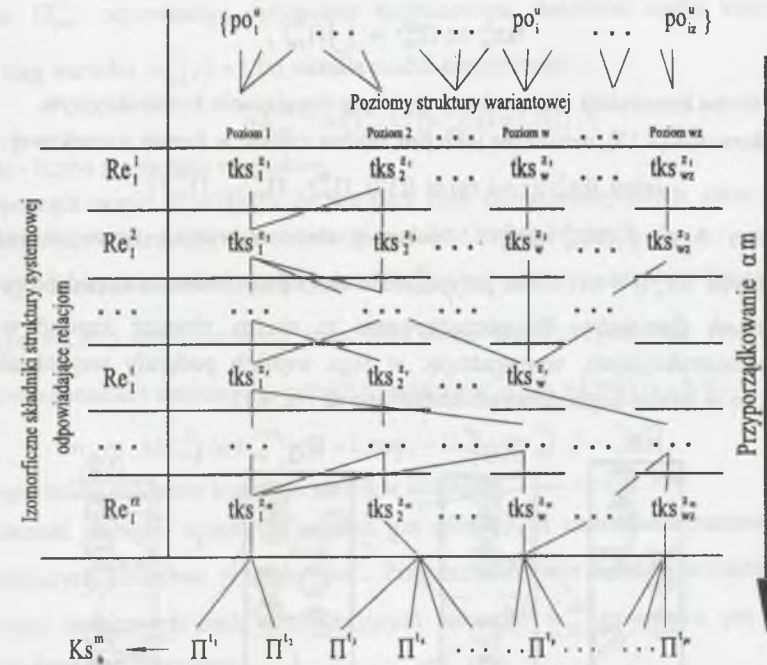
Przyporządkowanie  $\alpha m$  określa powiązanie między uporządkowanymi potrzebami  $po_i^u; (i = 1, iz)$  a typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi  $tks_w^z; (r = 1, rz), (w = 1, wz)$

$$Po_n^u \{po_i^u; (i = 1, iz)\} \Rightarrow TKs_n \{tks_w^z; (r = 1, rz), (w = 1, wz)\}, \quad (4.11)$$

gdzie: rz – liczba izomorficznych składników struktury hierarchicznej RK<sub>n</sub>,

wz – liczba typowych rozwiązań konstrukcyjnych odpowiadająca r-temu składnikowi konstrukcji.

Graf ujmujący reguły doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych i uwzględniający strukturę systemową ss<sub>n</sub> (reprezentowaną przez izomorficzne relacje) oraz wariantową ss<sub>n</sub> rodziny konstrukcji nazwano **grafem wariantów konstrukcyjnych**  $G(tks_w^z)$ . Ogólną postać grafu przedstawiono na rys. 4.11. Definiuje on przyporządkowanie  $\alpha m$  między uporządkowanymi potrzebami  $Po_n^u \{po_i^u; (i = 1, iz)\}$ , a drogami grafu wariantów konstrukcyjnych  $N_n \{\mu_i(tks_w^z, tks_w^{zr})\}$  w rodzinie konstrukcji. Typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tks_w^z; (r = 1, rz)$ , których wybór wyznaczono przez przyporządkowanie  $\alpha m$ , tworzą zróżnicowane postacie konstrukcyjne  $\Pi^p$  konstrukcji modułowych Ks<sub>n</sub><sup>m</sup>. W celu utworzenia typowej postaci konstrukcyjnej  $\Pi^p$  wybiera się, w zależności od potrzeby  $po_i^u$ , drogę  $\mu_i(tks_w^z, tks_w^{zr})$  uwzględniającą dopuszczalną kombinację typowych rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys. 4.11. Graf wariantów konstrukcyjnych opisujący przyporządkowanie  $\alpha m$   
 Fig. 4.11. Graph of variants of constructions describing the  $\alpha m$  assigning

Przyporządkowanie  $\alpha m$  może być zapisane w postaci macierzy incydencji, w której wiersze tworzą dopuszczalne kombinacje typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $tks_w^z; (r = 1, rz), (w = 1, wz)$ , a kolumny odpowiadają zespołom (lub podzespołom) określonym przez izomorficzne relacje  $Re_i^j$ ,

$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_i^u \\ \vdots \\ po_{iz}^u \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} tks_1^{z1} & tks_1^{z2} & \dots & tks_1^{zr} & \dots & tks_1^{zrz} \\ tks_2^{z1} & tks_2^{z2} & \dots & 0 & \dots & tks_2^{zrz} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ tks_w^{z1} & tks_w^{z2} & \dots & tks_w^{zr} & \dots & tks_w^{zrz} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ tks_{wz}^{z1} & tks_{wz}^{z2} & \dots & tks_{wz}^{zr} & \dots & tks_{wz}^{zrz} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \Pi^{t_1} \\ \Pi^{t_2} \\ \vdots \\ \Pi^{t_p} \\ \vdots \\ \Pi^{t_{pz}} \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Zero w macierzy oznacza brak stosowania typowego rozwiązania konstrukcyjnego w danej kombinacji rozwiązań konstrukcyjnych. Wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych może mieć również formę zaleceń, jeżeli korzysta się z warunku:

jeżeli .... to ....

Typowym rozwiązaniom konstrukcyjnym odpowiadają typowe postacie konstrukcyjne zespołów, które z kolei składają się z typowych postaci konstrukcyjnych elementów,

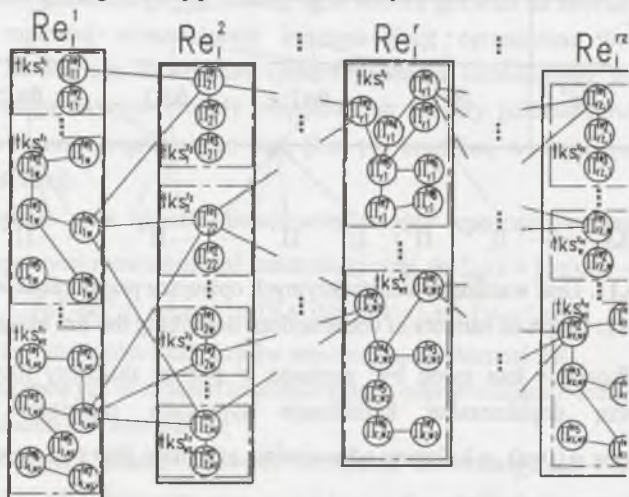
$$tks_w^{z_r} \Rightarrow \Pi_w^{z_r} = \bigcup_{j=1, jz} \Pi_{rw}^{te_j}, \quad (4.13)$$

gdzie:  $jz$  – liczba konstrukcji elementów w typowym rozwiązaniu konstrukcyjnym.

Przyporządkowanie (4.13), oznaczone jako  $\beta m$ , można zapisać w formie warunkowej:

$$\text{jeżeli } tks_w^{z_r}; (r=1, rz) \text{ to } \{\Pi_{rw}^{te_1}, \Pi_{rw}^{te_2}, \dots, \Pi_{rw}^{te_j}, \dots, \Pi_{rw}^{te_{jz}}\}.$$

Dla wybranej drogi  $\mu_i(tks_w^{z_1}, tks_w^{z_{rz}})$ , tworzącej zbiór wybranych typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $tks_w^{z_r}$  ( $r=1, rz$ ) oraz przyporządkowania  $\beta m$ , dobierane są podzbiory postaci konstrukcyjnych elementów. Przyporządkowanie to można również zapisać w grafie wariantów konstrukcyjnych, wprowadzając w jego węzłach podgrafy współdziałających elementów, co w formie uogólnionej przedstawiono na rys. 4.12.



Rys. 4.12. Podgrafy grafu wariantów konstrukcyjnych

Fig. 4.12. Subgraphs of the constructional variants graph

Przyporządkowanie  $\beta m$  może być również zapisane w postaci macierzy (4.14). Macierz taką dla wybranej drogi  $\mu_i(tks_w^{z_1}, tks_w^{z_{rz}})$ , tworzącej kombinację typowych postaci konstrukcyjnych elementów  $\Pi_w^{te_j}; (r=1, rz), (w=1, wz)$ , nazwano **macierzą elementów**  $ME_{rw}$

$$\mu_i(tks_w^{z_1}, tks_w^{z_{rz}}) \Rightarrow \begin{bmatrix} \Pi_{1w}^{te_1} & \Pi_{1w}^{te_2} & \dots & \Pi_{1w}^{te_j} & \dots & \Pi_{1w}^{te_{jz}} & 0 & 0 \\ \Pi_{2w}^{te_1} & \Pi_{2w}^{te_2} & \dots & \Pi_{2w}^{te_j} & \dots & \Pi_{2w}^{te_{jz-1}} & \Pi_{2w}^{te_{jz}} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Pi_{rw}^{te_1} & \Pi_{rw}^{te_2} & \dots & \Pi_{rw}^{te_j} & \dots & \Pi_{rw}^{te_{jz}} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Pi_{rz,w}^{te_1} & \Pi_{rz,w}^{te_2} & \dots & \Pi_{rz,w}^{te_j} & \dots & \Pi_{rz,w}^{te_{jz-2}} & \Pi_{rz,w}^{te_{jz-1}} & \Pi_{rz,w}^{te_{jz}} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

W macierzy elementów zestawione są wszystkie postaci konstrukcyjne elementów składowych dobranych typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Typowej postaci konstrukcyjnej

elementu  $\Pi_{rw}^{te_j}$  odpowiadają optymalnie zróżnicowane ilościowe cechy konstrukcyjne, których ciąg wartości  $w_{mj}^{te_j}; (j=1, lz)$  określa moduł konstrukcyjny,

$$mk_m^{rwe_j} = \Pi_{rw}^{te_j} \cup \{w_{mj}^{te_j}; (j=1, lz)\}, \quad (4.15)$$

gdzie:  $lz$  - liczba zmiennych wymiarów.

Przyporządkowane ze względu na wartości cech charakterystycznych zbiory modułów konstrukcyjnych elementu  $te_j$  tworzą szeregi modułów konstrukcyjnych.

**Szereg modułów konstrukcyjnych**  $MK_{rw}^{te_j}$  to zbiór modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{rwe_j}; (m=1, mz)$  reprezentowany przez stałą postać konstrukcyjną  $\Pi_{rw}^{te_j}$  oraz optymalnie zróżnicowaną macierz zmiennych wartości wymiarów  $w_{mj}^{te_j}; (m=1, mz), (j=1, lz)$

$$MK_{rw}^{te_j} \{mk_m^{rwe_j}; (m=1, mz)\} = \Pi_{rw}^{te_j} \cup w_{mj}^{te_j}; (j=1, lz), \quad (4.16)$$

gdzie:  $mz$  - liczba modułów konstrukcyjnych w szeregu.

Zmienność wartości wymiarów zależna jest głównie od zmienności parametrów  $pa_u^u$ , reprezentujących ilościowo potrzeby  $po_u^u$ . Przyporządkowanie między potrzebami  $po_u^u$  a wartościami ilościowych cech konstrukcyjnych elementu  $w_{mj}^{te_j}$  oznaczono  $\gamma m$  i zapisano poniżej w formie macierzowej

$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_i^u \\ \vdots \\ po_u^u \end{bmatrix} \xrightarrow{\gamma m} \begin{bmatrix} w_{11}^{te_1} & w_{12}^{te_1} & \dots & w_{1l}^{te_1} & \dots & w_{1lz}^{te_1} \\ w_{21}^{te_1} & w_{22}^{te_1} & \dots & w_{2l}^{te_1} & \dots & w_{2lz}^{te_1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{m1}^{te_j} & w_{m2}^{te_j} & \dots & w_{ml}^{te_j} & \dots & w_{miz}^{te_j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{mz1}^{te_j} & w_{mz2}^{te_j} & \dots & w_{mzl}^{te_j} & \dots & w_{mziz}^{te_j} \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Macierz z wartościami ilościowych cech konstrukcyjnych, podobnie jak w typoszeregach elementów, nazwano **macierzą wartości wymiarów**  $MW_{mj}$ . Potrzebie  $po_u^u$  odpowiada wiersz wartości wymiarów, co równoznaczne jest z określeniem modułu konstrukcyjnego  $mk_m^{rwe_j}; (j=1, jz)$ . Numery porządkowe  $m=1, mz$  identyfikują moduł w danym szeregu modułów konstrukcyjnych. Przyporządkowanie  $\gamma m$ , podobnie jak w procesie tworzenia typoszeregów konstrukcji  $\gamma t$ , pozwala optymalizację różnorodności cech konstrukcyjnych, które jest zagadnieniem jakościowo – ilościowym, rozpatrywać jako zagadnienie ilościowe.

Na podstawie optymalizacji różnorodności wartości wymiarów (rozdz. 5.8) dla wszystkich konstrukcji elementów składowych uporządkowanej rodziny konstrukcji tworzone są przyporządkowania między potrzebami  $po_u^u; (i=1, iz)$  a numerami porządkowymi modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{rwe_j}$ . Przyporządkowanie to oznaczono  $\delta m$  i przedstawiono poniżej w formie macierzy



$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_i^u \\ \vdots \\ po_{iz}^u \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 1 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{iz,1} & m_{iz,2} & \dots & m_{iz,j} & \dots & m_{iz,p} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

Macierz nazwano **macierzą modułów konstrukcyjnych**  $MM_{ij}$ . Wartość 0 oznacza, że określonej potrzebie nie jest przyporządkowany moduł konstrukcyjny. W zależności od przyporządkowania  $\delta m$  wyróżniono dwa rodzaje przyporządkowań w systemach modułowych:

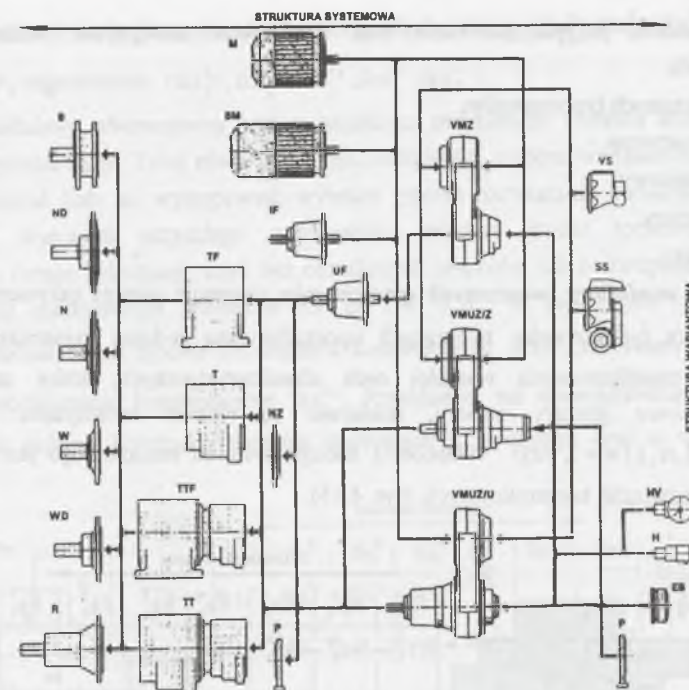
- posobne, w których moduły konstrukcyjne spełniają następujący warunek

$$\bigwedge_{i=1,iz} i = m_{ij}, j=1,jz \quad (4.19)$$

- powtarzalne, w których możliwy jest dobór wielokrotny tego samego modułu konstrukcyjnego

$$\bigvee_{i=1,iz} i \neq m_{ij}, j=1,jz. \quad (4.20)$$

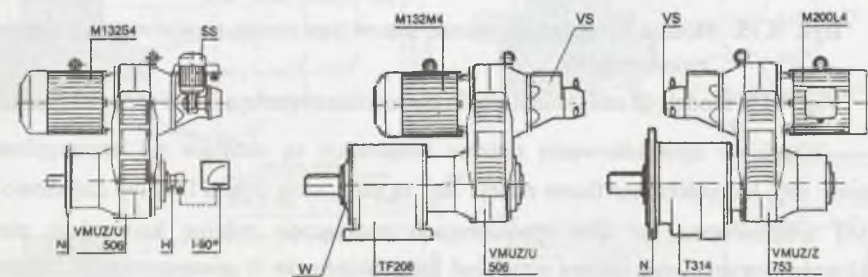
O przyporządkowaniu  $\delta m$  decyduje wynik optymalizacji różnorodności wartości wymiarów. Przykład uproszczonego przyporządkowania  $\alpha m$  (z pominięciem cech charakterystycznych) systemu modułowego motoreduktorów o zmiennym przełożeniu przedstawiono na rys. 4.13. Przedstawiony graf wariantów konstrukcyjnych ma 24 typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tkz_w^z$  i ujmuje całą strukturę systemową oraz wariantową rodziny konstrukcji. Podstawą wyboru określonej kombinacji typowych rozwiązań konstrukcyjnych są głównie następujące cechy charakterystyczne: moc, zakres prędkości obrotowej wyjściowej, sposób zamocowania, sposób zmiany przełożenia, sposób zasilania (silnikiem elektrycznym lub bez silnika), sposób hamowania (silnikiem elektrycznym lub hamulcem na wałku wyjściowym), wymagany osprzęt pomiarowy (prędkościomierz, wskaźnik ustawienia przełożenia), stopień zanieczyszczenia powietrza. W sumie można utworzyć  $pz=1404$  typowych postaci konstrukcyjnych  $\Pi^p$  ( $p=1,pz$ ) konstrukcji modułowych  $Ks_n^m$  motoreduktorów o zmiennym przełożeniu poprzez kombinatoryczny wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $tkz_w^z$ . Tak liczny zbiór możliwych typowych postaci konstrukcyjnych osiągnięty 24 typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi świadczy o szerokim dostosowaniu się do potrzeb przyszłego użytkownika środka technicznego, zachowuje się jednocześnie możliwość seryjnego wytwarzania środków technicznych, a tym samym osiągnięcie niskich kosztów wytwarzania. Przykładowe postaci konstrukcyjne  $\Pi^p$  motoreduktorów utworzone w zależności od wartości cech charakterystycznych, na podstawie przyporządkowania  $\alpha m$  przedstawiono na rys. 4.14.



Rys. 4.13. Graf wariantów konstrukcyjnych motoreduktorów o zmiennym przełożeniu [98]

Fig. 4.13. Graph of variants of constructions of moto-reducers with variable transmission ratio

**Oznaczenia:** B – wałek z kołnierzem typu B, N – wałek z kołnierzem typu N, D – układ z podwójnym uszczelnieniem, W – wałek z pokrywą typu W, R – wałek z pokrywą typu R, T – 2- lub 3-stopniowa przekładnia, F – podpora z łapą, TT – 5- lub 6-stopniowa przekładnia, NZ – kołnierze pośredni, P – podpora, M – silnik, BM – silnik z hamulcem, IF – układ pośredniczący, UF – układ pośredniczący przekładni, VMZ, VMUZ/Z, VMUZ/U – typy przekładni o zmiennym przełożeniu, VS – manualny układ zmiany przełożenia, SS – elektromechaniczny układ zmiany przełożenia, HV – wskaźnik ustawienia przełożenia, H – prędkościomierz, EB – hamulec



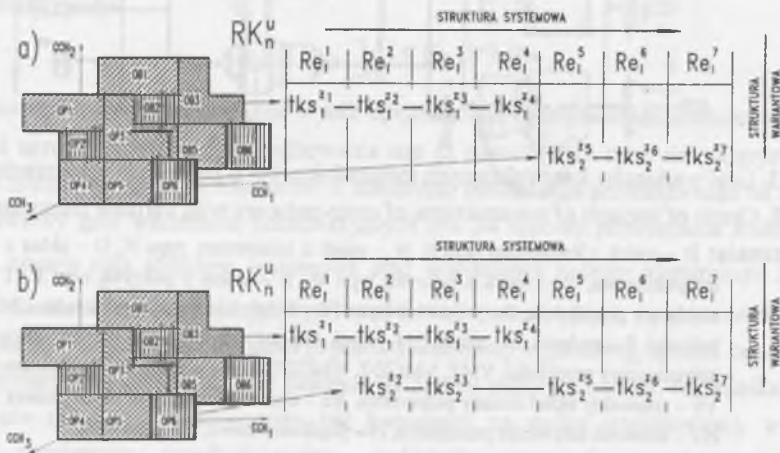
Rys. 4.14. Postacie konstrukcyjne konstrukcji modułowych motoreduktorów ze zmiennym przełożeniem [98]

Fig. 4.14. Constructional forms of module constructions of moto-reducers with variable transmission ratio [98]

Na podstawie przyporządkowania  $\alpha m$  wyróżniono następujące rodzaje systemów modułowych:

- połączonych typoszeregów,
- alternatywny,
- wariantowy,
- mieszany,
- otwarty.

**System modułowy połączonych typoszeregów** obejmuje swoim zakresem, jak określa nazwa, kilka typoszeregów tworzących uporządkowaną rodzinę konstrukcji  $RK_n^u$ . Na podstawie zunifikowanych wartości cech charakterystycznych, które mogą tworzyć wielowarstwowe obszary wyboru, dobierane są typowe rozwiązania konstrukcyjne  $\{tks_w^z; (r=1, rz), (w=1, wz)\}$ . Własnością takiego systemu modułowego jest prosty dobór typowych rozwiązań konstrukcyjnych, (rys. 4.15).



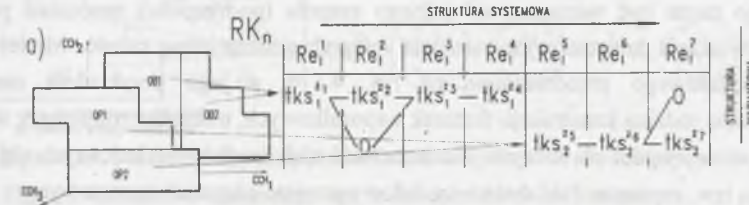
Rys. 4.15. Modele przyporządkowania  $\alpha m$  w systemach modułowych połączonych typoszeregów

Fig. 4.15. Models of assignment  $\alpha m$  in the module systems of joint series of types

Wynikiem uporządkowania rodziny konstrukcji są różniące się uszczegółowione systemy  $su_n^s$ , których izomorficzne relacje  $Re_i^1$  są całkowicie (rys. 4.15a) lub częściowo (rys. 4.15b) zróżnicowane. W obu typoszeregach tworzących rodzinę konstrukcji nie ma możliwości wariantowego doboru rozwiązań konstrukcyjnych. W pierwszym przykładzie (rys. 4.15a), obszarom wartości cech charakterystycznych  $OB_n$  przyporządkowany jest typoszereg, którego postać konstrukcyjną  $\Pi^{11}$  tworzą postacie konstrukcyjne typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $\{tks_1^z, tks_1^z, tks_1^z, tks_1^z\}$ . Natomiast dla obszarów wartości cech charakterystycznych  $OP_n$  typową postacią konstrukcyjną  $\Pi^{12}$  tworzą  $\{tks_2^z, tks_2^z, tks_2^z\}$ . W

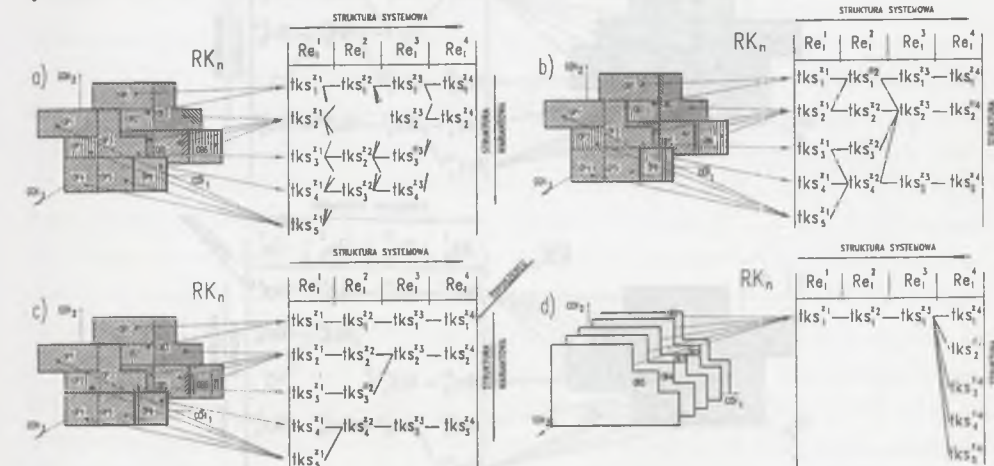
drugim przykładzie (rys. 4.15b), dla obszaru  $OB_n$  odpowiednio  $\{tks_1^z, tks_1^z, tks_1^z, tks_1^z\}$  oraz obszaru  $OP_n$  odpowiednio  $\{tks_2^z, tks_2^z, tks_2^z, tks_2^z, tks_2^z\}$ .

**System modułowy alternatywny** jest szczególnym przykładem systemu modułowego połączonych typoszeregów. Tutaj również nie ma możliwości wyboru wariantowego, mogą jedynie występować (lub nie występować) wybrane typowe rozwiązania konstrukcyjne. W zależności od wymagań przyszłego użytkownika niektóre środki techniczne będą występowały w formie zubożonej, czyli bez określonych zespołów lub podzespołów. Model takiego systemu modułowego przedstawiono na rys. 4.16. W pierwszym typoszeregu alternatywnie dobierane są typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tks_1^z$ , natomiast w drugim typoszeregu - rozwiązanie konstrukcyjne  $tks_2^z$ . Przykładem tak uporządkowanej rodziny konstrukcji jest rodzina konstrukcji wozów żużlowych z wychyłem oraz z wypadem i wychyłem [50].



Rys. 4.16. Model przyporządkowania  $\alpha m$  w systemach modułowych alternatywnych  
Fig. 4.16. Model of assignment  $\alpha m$  in the alternative module systems

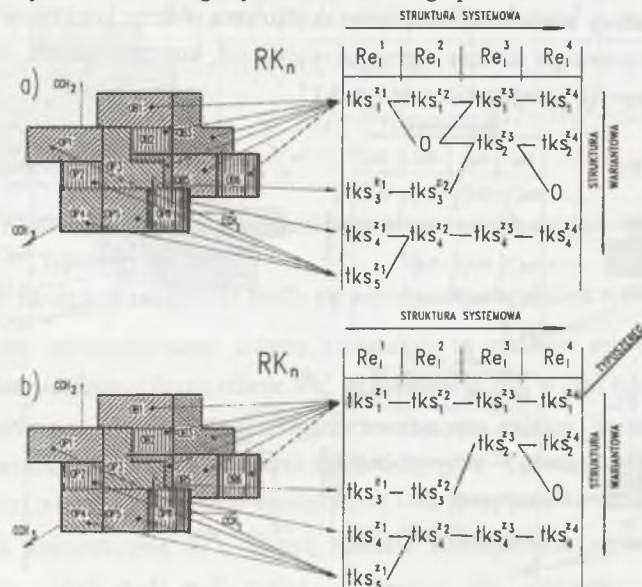
**System modułowy wariantowy** tworzy uporządkowaną rodzinę konstrukcji korzystając z możliwości wariantowego doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Modele takich systemów modułowych przedstawiono na rys. 4.17.



Rys. 4.17. Modele przyporządkowania  $\alpha m$  w systemach modułowych wariantowych  
Fig. 4.17. Model of assignment  $\alpha m$  in the variant module systems

Pełny układ kombinacji typowych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 4.17a. Każde typowe rozwiązanie konstrukcyjne może być kojarzone z dowolnym typowym rozwiązaniem konstrukcyjnym odpowiadającym sąsiedniej izomorficznej relacji, co daje maksymalną liczbę kombinacji łączenia typowych rozwiązań konstrukcyjnych (120 w rozważanym przykładzie). Niepełny układ kombinacji wyboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 4.17b, gdzie możliwe jest utworzenie 14 kombinacji rozwiązań konstrukcyjnych. Przykładem takiego systemu modułowego może być przedstawiony w niniejszej pracy system modułowy siłowników hydraulicznych. W wariantowych systemach modułowych mogą również być typoszeregi, tworzone na podstawie prostej reguły doboru. Przykładem tak uporządkowanej rodziny konstrukcji jest model przedstawiony na rys. 4.17c. Typoszereg stanowi następujący zbiór typowych rozwiązań:  $\{tks_1^{z_1}, tks_1^{z_2}, \dots, tks_1^{z_r}, \dots, tks_1^{z_n}\}$ . Pozostałe kombinacje doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych charakteryzują się wariantowością. Szczególnym przykładem systemu modułowego może być wariantowość jednego zespołu (podzespołu), natomiast pozostałe typowe rozwiązania konstrukcyjne stanowią integralną niezmienną całość. Model takiego systemu modułowego przedstawiono na rys. 4.17d, a jego przykładem może być uporządkowana rodzina konstrukcji: frezarek wspornikowych, traktorów rolniczych, wiertarek ze zmiennym osprzętem obróbczym. Wariantowość tych środków technicznych objawia się zmiennością tzw. osprzętu. Taki system modułowy przyjęto nazywać osprzętowym.

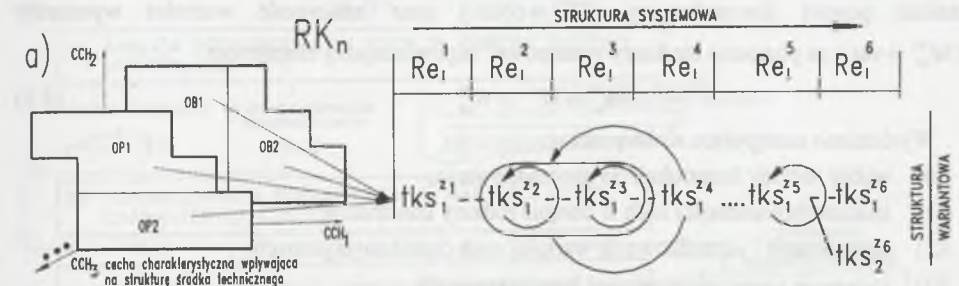
*System modułowy mieszany* zawiera w sobie typowe rozwiązania konstrukcyjne dobierane w sposób wariantowy oraz alternatywny w zależności od wartości cech charakterystycznych. Model takiego systemu modułowego przedstawiono na rys. 4.18.



Rys. 4.18. Modele przyporządkowania  $\alpha_m$  w systemach modułowych mieszanych  
Fig. 4.18. Model of assignment  $\alpha_m$  in the mixed module systems

Na rys. 4.18a przedstawiono możliwość kombinatorycznego doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych w sposób alternatywny oraz wariantowy. Tworzy się  $pz = 8$  kombinacji typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Ponadto w systemach modułowych mieszanych mogą występować dodatkowo typoszeregi, co przedstawiono na rys. 4.18b.

*System modułowy otwarty* nie ma ściśle zdefiniowanych reguł doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Istnieje duża dowolność doboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych w zależności od cech charakterystycznych. Własnością systemu modułowego jest powtarzalność stosowania typowych rozwiązań konstrukcyjnych w tej samej konstrukcji modułowej  $ks_m$ . Model takiego systemu modułowego przedstawiono na rys. 4.19.



Rys. 4.19. Modele przyporządkowania  $\alpha_m$  w systemach modułowych otwartych

Fig. 4.19. Model of assignment  $\alpha_m$  in the open module systems

Przykładem systemu modułowego otwartego jest rodzina konstrukcji: regałów, prowadnic transportu podwieszonych firmy Demag, robotów firmy GEMOTEC. Korzystając z systemu modułowego otwartego, projektuje się najpierw strukturę systemową przyszłego środka technicznego, a następnie, według reguł doboru modułów konstrukcyjnych, tworzy się konstrukcję modułową.

## 5. STADIA PROCESU TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI

Na podstawie analizy uporządkowanych rodzin konstrukcji opracowano uogólniony proces tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, który przedstawiono na rys. 5.1. Aby zintensyfikować rozwój tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, niezbędne jest wyróżnienie stadiów procesu i opracowanie metod wspomagających przekształcanie cech w tych stadiach. Podstawą metodologiczną tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji jest stałość postaci konstrukcyjnej ( $\Pi^{lcj} \approx \text{const}$ ) oraz zmienność wartości wymiarów ( $W_m^{lcj} = \text{var}$ ) na poziomie struktury systemowej odpowiadającej elementom

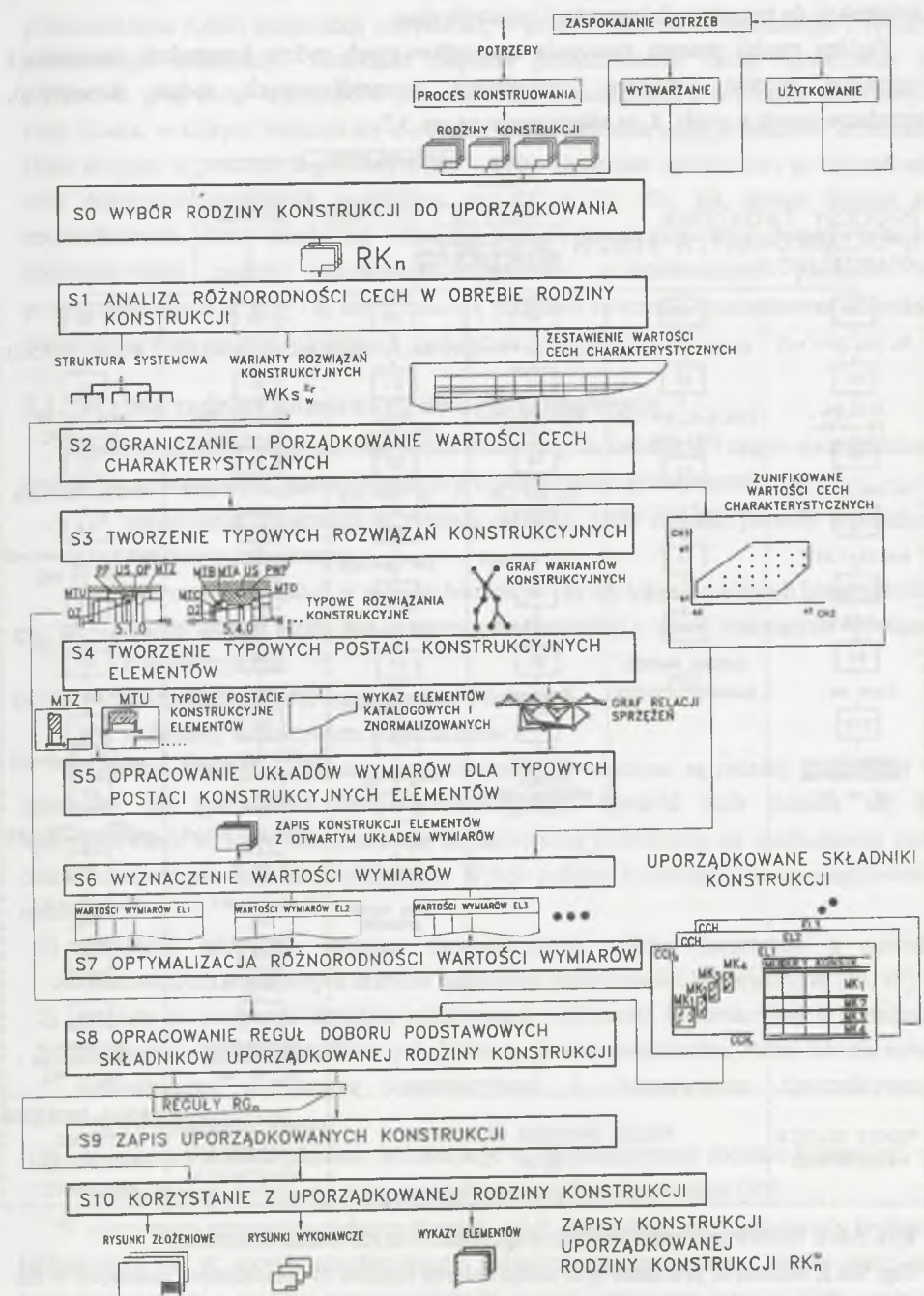
$$ks_m^{lcj} = \Pi^{lcj} \cup W_m^{lcj} \quad (5.1)$$

Wyróżniono następujące stadia procesu:

- S0) wybór rodziny konstrukcji do uporządkowania,
- S1) analiza różnorodności cech w obrębie rodziny konstrukcji,
- S2) ograniczanie i porządkowanie wartości cech charakterystycznych,
- S3) tworzenie typowych rozwiązań konstrukcyjnych,
- S4) tworzenie typowych postaci konstrukcyjnych elementów,
- S5) opracowanie układów wymiarów dla typowych postaci konstrukcyjnych elementów,
- S6) wyznaczenie wartości wymiarów,
- S7) optymalizacja różnorodności wartości wymiarów,
- S8) opracowanie reguł doboru podstawowych składników uporządkowanej rodziny konstrukcji,
- S9) zapis uporządkowanych konstrukcji,
- S10) korzystanie z uporządkowanej rodziny konstrukcji.

Stadia S0 i S1 to stadia przygotowawcze do procesu uporządkowania rodziny konstrukcji. Dokonuje się wyboru uporządkowanej rodziny konstrukcji oraz określa zakres uporządkowania wybranej rodziny konstrukcji. Ponadto wyznacza się stan zróżnicowania cech charakterystycznych oraz konstrukcyjnych. Stadium S2 dotyczy określenia zakresu potrzeb, dla którego podejmowane będzie uporządkowanie rodziny konstrukcji. Wyróżnia się potrzeby aktualne oraz potencjalne poprzez ograniczanie i uporządkowanie wartości cech charakterystycznych. Wynikiem są zunifikowane wartości cech charakterystycznych. W stadium S3 i S4 występuje optymalizacja różnorodności jakościowych cech konstrukcyjnych, w których wyznacza się: w stadium S3 przyporządkowanie  $\alpha$ , natomiast w stadium S4 przyporządkowanie  $\beta$ . Dla utworzonych typowych postaci konstrukcyjnych elementów w stadium S5 opracowuje się układy wymiarów. W układzie wymiarów są wymiary stałe oraz zmienne. Dla wymiarów zmiennych w stadium S6 dobiera się wartości, które następnie w stadium S7 poddaje się optymalizacji różnorodności. Stadia S6 i S7 decydują o liczności

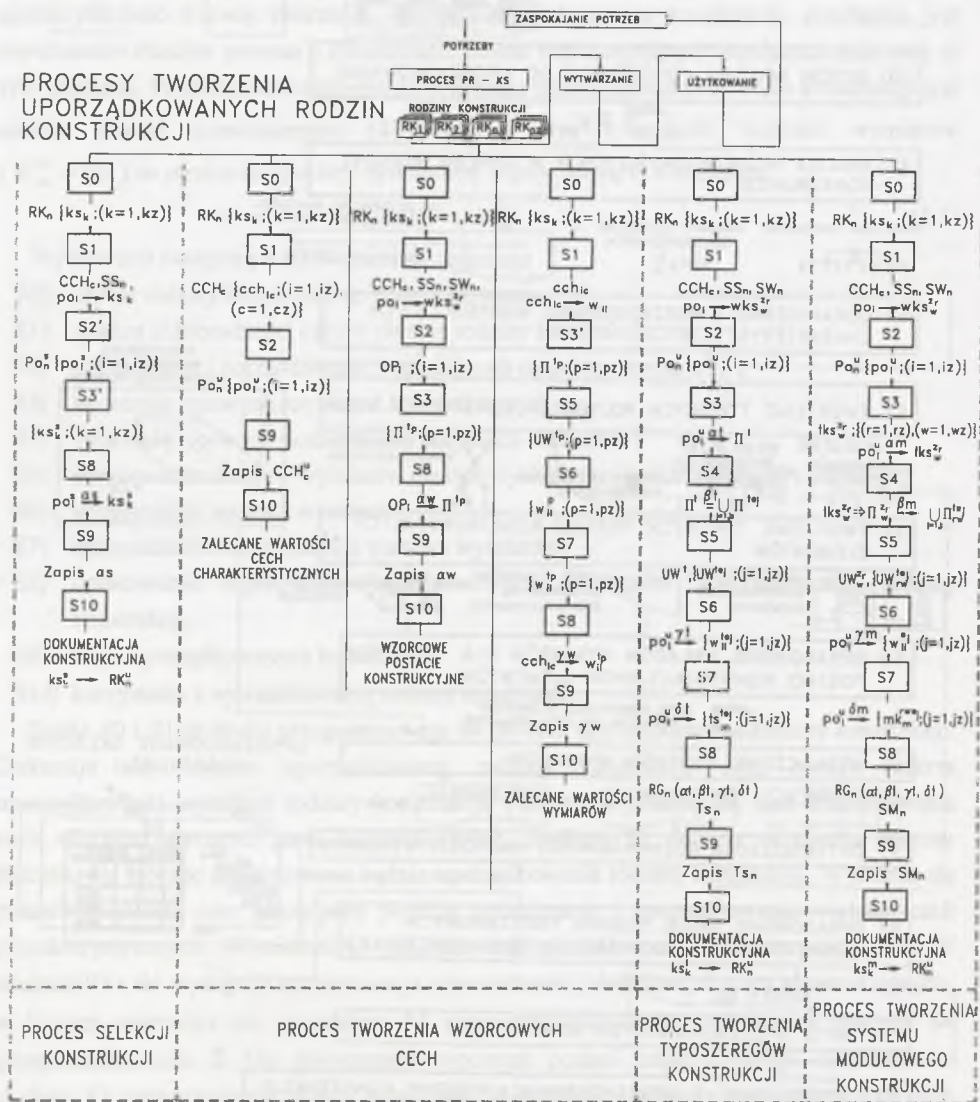
uporządkowanych składników konstrukcji. Wynikiem stadium S7 jest przyporządkowanie  $\chi$ . Ostatni rodzaj przyporządkowania  $\delta$  realizowany jest w stadium S8.



Rys. 5.0.1. Uogólniony model tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji  
Fig. 5.0.1. Model of the process of creation ordered families of constructions

Na podstawie przyporządkowań:  $\alpha, \beta, \chi, \delta$  określone są reguły doboru modułów konstrukcyjnych. Pozostałe stadia dotyczą zapisu i zastosowania uporządkowanej rodziny konstrukcji do tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej.

Ogólny model procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji reprezentuje wszystkie modele procesów opracowania uporządkowanych rodzin konstrukcji, przedstawionych w rozdz. 4, co zilustrowano na rys. 5.2.



Rys. 5.0.2. Modele procesów tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji  
 Fig. 5.0.2. Models of processes of creation ordered families of constructions described in the chapter 4

Modele procesów ujmują w sposób sekwencyjny przekształcenia rodzin konstrukcji  $RK_n$  lub ich wybranych cech z formy nieuporządkowanej w uporządkowaną  $RK_n^u$ . Pełne przekształcenie rodzin konstrukcji odbywa się w procesie tworzenia typoszeregu i systemu modułowego konstrukcji. Natomiast niepełne przekształcenie cech, ograniczone do wybranych grup cech, występuje w procesie selekcji konstrukcji i tworzenia wzorcowych cech. Stadia, w których realizuje się identyczne przekształcenia, mają jednakowe oznaczenia, które przyjęto w procesie uogólnionym (S0 – S10). Natomiast uproszczone przekształcenia cech oznaczono dodatkowo apostrofem np. S2' i S3'. To, jak dalece dokona się uporządkowania cech, zależy od własności rodziny konstrukcji oraz decyzji twórców uporządkowanej rodziny konstrukcji. Wynikiem przedstawionych procesów są przyporządkowania  $\alpha, \beta, \chi$  i  $\delta$ , które stanowią podstawę tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji i będą opisane w kolejnych rozdziałach.

### 5.1. Wybór rodziny konstrukcji do uporządkowania

Skutkiem ekstensywnego rozwoju rodzin konstrukcji są nadmierne i często nieuzasadnione zróżnicowane konstrukcje. Zróżnicowanie to jest powodowane głównie przez:

- opracowanie konstrukcji w różnych okresach, które charakteryzowały się różnym poziomem technicznym,
- tworzenie konstrukcji w różnych biurach pr - ks lub też przez różnych konstruktorów w tym samym biurze bez przeprowadzenia analizy o stanie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych,
- zakup dokumentacji konstrukcyjnej z zewnątrz,
- nadmierny subiektywizm konstruktorów.

W wyniku iteracyjnego procesu pr – ks (rys. 1.1) tworzone są rodziny konstrukcji w zależności od specjalności biura konstrukcyjnego. Spośród nich dobiera się do uporządkowania te, które charakteryzują się największą podatnością na ujednoczenie cech charakterystycznych oraz konstrukcyjnych. Wybór rodziny konstrukcji do uporządkowania może być:

- 1) narzucony arbitralnie twórcom uporządkowanej rodziny konstrukcji z powodu odczuwalnych negatywnych skutków nadmiernej różnorodności konstrukcyjnej [55, 59],
- 2) przyjęty na podstawie aktualnie rejestrowanej zmienności konstrukcyjnej w rodzinach konstrukcji (przede wszystkim tych, które są główną specjalnością biura) lub dla nowo opracowanego rozwiązania konstrukcyjnego z zastosowaniem uporządkowania wyprzedzającego [69],
- 3) wymuszony zmianą poziomu technicznego w uporządkowanej rodzinie konstrukcji, w wyniku którego tworzy się nową uporządkowaną rodzinę konstrukcji [50].

W pierwszym przypadku niegospodarność, gdyż własnością już działających środków technicznych są w sposób nieuzasadniony zróżnicowane konstrukcje. Należy więc jak najszybciej przejść z rozwoju ekstensywnego na rozwój intensywny przez podjęcie procesu uporządkowania rodziny konstrukcji.

Drugi sposób wyboru rodziny konstrukcji do uporządkowania pozwala stosunkowo wcześniej uchronić rodzinę konstrukcji przed nieuzasadnionym zróżnicowaniem cech konstrukcyjnych, dzięki zastosowaniu bieżącej rejestracji zmienności wartości cech charakterystycznych oraz cech konstrukcyjnych. Może to być realizowane przez konstruktorów zajmujących się określoną rodziną konstrukcji lub przez dział normalizacji. Bieżąca analiza zmienności wartości cech charakterystycznych i konstrukcyjnych może być realizowana z zastosowaniem odpowiedniej numeracji zapisów konstrukcji, (rozd. 3.1.3), a w przypadku stosowania wspomaganie komputerowego można zastosować programy klasy PDM. Szczególnie uzasadnione jest tworzenie uporządkowanej rodziny konstrukcji od momentu jej zaistnienia, korzysta się przy tym z wyników badań eksperymentalnych, analiz procesów wytwórczych oraz wdrożeń.

Trzeci sposób wyboru rodziny konstrukcji do uporządkowania uzasadniony jest wzrostem poziomu technicznego w już uporządkowanej rodzinie konstrukcji. Model takiego wymuszenia przedstawiono na rys. 3.14. Na podstawie nowych osiągnięć badawczych, jak również nowych konstrukcji, modyfikuje się i tworzy nową uporządkowaną rodzinę konstrukcji.

Podstawą wyboru rodziny konstrukcji do uporządkowania są następujące zalecenia:

- Z1 - wysokie zapotrzebowanie,
- Z2 - wariantowość rozwiązań konstrukcyjnych,
- Z3 - ustabilizowany poziom techniczny,
- Z4 - dająca się ograniczyć różnorodność systemowa i konstrukcyjna, z wyjątkiem niezbędnej różnorodności wynikającej ze zmienności wartości cech charakterystycznych oraz wymagań określonych w racjach istnienia środka technicznego i zasadach nauki konstrukcji [28],
- Z5 - ustalony proces technologiczny (dostosowany do możliwości zakładu wytwórczego).

Metodą racjonalnego wyboru ze zbioru rodzin konstrukcji  $\{RK_1, RK_2, \dots, RK_n, \dots, RK_{nz}\}$  jest wybór rodziny konstrukcji do uporządkowania na podstawie stopnia zapotrzebowania  $Za_n$ . Im większe jest zapotrzebowanie na środki techniczne odpowiadające rodzinie konstrukcji, tym szybciej powinno być podjęte jej uporządkowanie, co chroni przed nieuzasadnionym zróżnicowaniem. Stopień zapotrzebowania  $Za_n$  obliczany jest na podstawie liczby punktów w przestrzeni potrzeb  $iz_n$  oraz częstości wytwarzania w ciągu roku  $\bar{v}_i$  odpowiadającej i-tej potrzebie

$$Za_n = \sum_{i=1}^{iz_n} \bar{v}_i \quad (5.2)$$

Liczba punktów  $iz_n$  w przestrzeni potrzeb równa jest sumie liczb potrzeb aktualnych  $ia_n$  oraz potrzeb potencjalnych  $ip_n$

$$iz_n = ia_n + ip_n \quad (5.3)$$

Częstości potrzeb  $\bar{v}_i$  dotyczą potrzeb aktualnych i potencjalnych, lecz dla potrzeb potencjalnych określa się prognozy częstości potrzeb metodą ekspertyz [121, 136].

Jeżeli nie jest planowana produkcja dla potrzeby potencjalnej  $po_i^p$ , a mieści się w ofercie rodziny konstrukcji, to  $v_i^p = 0$ .

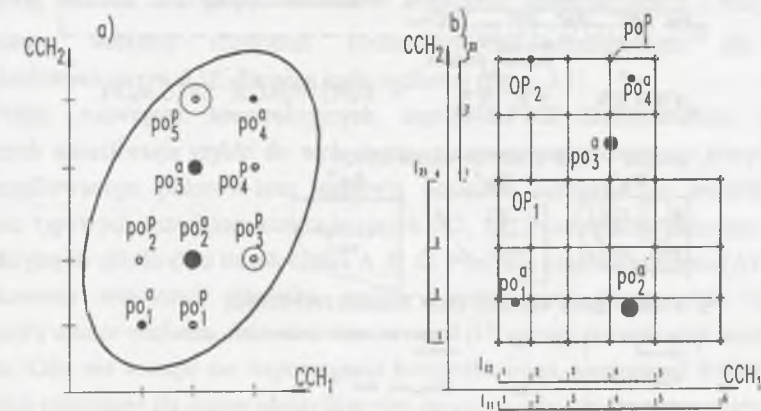
Dla cech charakterystycznych ciągłych określonych przez podprzestrzenie potrzeb  $OP_i$  (rys. 4.1), liczba potrzeb potencjalnych  $ip_n$  określana jest na podstawie dyskretyzacji wartości cech według szeregu liczb normalnych  $R40$ , rys. 5.1.1b. W wyniku dyskretyzacji uzyskuje się liczbę wartości cechy  $l_{ci}$ , która jest podstawą do wyznaczenia liczby potrzeb potencjalnych  $ip_n$  według zależności

$$ip_n = \sum_{i=1}^{lz} \prod_{c=1}^{cz} l_{ci} \quad (5.4)$$

gdzie:  $lz$  – liczba podprzestrzeni potrzeb,

$cz$  – liczba cech charakterystycznych.

Model graficzny przestrzeni potrzeb z cechami charakterystycznymi dyskretnymi i ciągłymi przedstawiono na rys. 5.1.1. W dwuwymiarowej przestrzeni potrzeb (rys. 5.1.1a), występują potrzeby aktualne  $po_i^a$  ( $i = 1, ia_n$ ) oraz potrzeby potencjalne  $po_i^p$  ( $i = 1, ip_n$ ). Częstość wytwarzania dla potrzeb aktualnych odpowiada promieniowi koła, natomiast dla planowanych potrzeb potencjalnych promieniowi okręgu. Na rys. 5.1.1b przedstawiono dwuwymiarową przestrzeń potrzeb opisaną przez cechy ciągłe. Wyróżnia się potrzeby aktualne  $po_i^a$  ( $i = 1, ia_n$ ) oraz umownie oznaczone potrzeby potencjalne  $po_i^p$  ( $i = 1, ip_n$ ).



Rys. 5.1.1. Modele przestrzeni potrzeb rodziny konstrukcji z potrzebami aktualnymi i potencjalnymi

Fig. 5.1.1. Models of the space of needs of a family of constructions considering actual and potential needs

Podstawą wyboru rodziny konstrukcji  $RK_n$  do uporządkowania, ze zbioru rodzin konstrukcji  $\{RK_1, RK_2, \dots, RK_n, \dots, RK_{nz}\}$  jest zależność

$$RK_n : (Za_n^* = \max_{n=1, \dots, nz} Za_n) \quad (5.5)$$

Dokonując wyboru rodziny konstrukcji, określa się zbiór konstrukcji

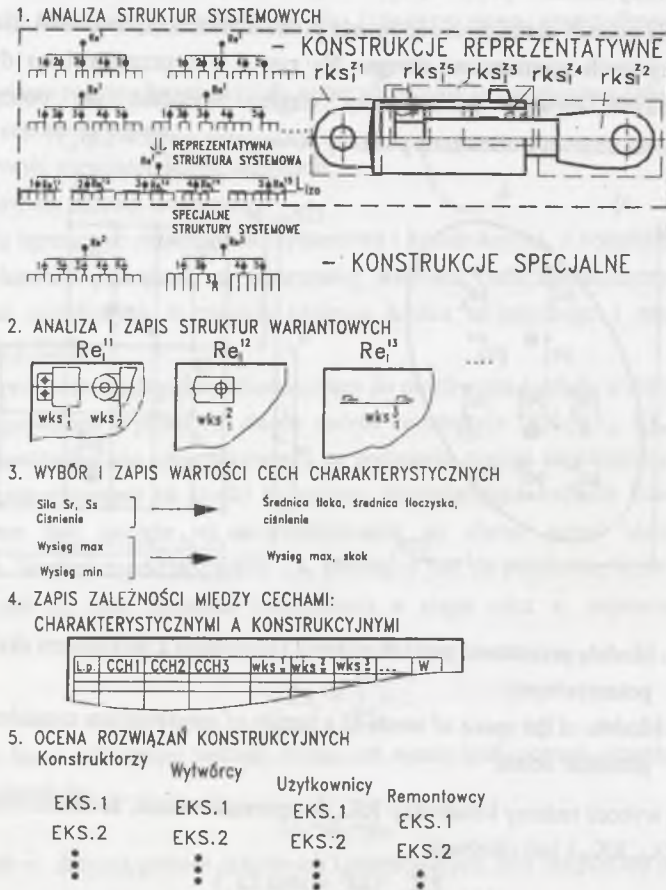
$$RK_n = \{ks_i; (i = 1, iz)\}_{SO_n = const} \quad (5.6)$$

który będzie przedmiotem przekształceń pod względem cech w następnych stadiach procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji.

## 5.2. Analiza różnorodności cech w obrębie rodziny konstrukcji

Analiza różnorodności cech związana jest z przygotowaniem danych do uporządkowania rodziny konstrukcji. W ogólnym przebiegu tego stadium (rys. 5.2.1) wyróżniono następujące zabiegi:

- 1) analiza struktur systemowych,
- 2) analiza i zapis struktur wariantowych,
- 3) wybór i zapis wartości cech charakterystycznych,
- 4) zapis zależności między cechami: charakterystycznymi a konstrukcyjnymi,
- 5) ocena rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys. 5.2.1. Analiza istniejącej różnorodności cech charakterystycznych i konstrukcyjnych  
Fig. 5.2.1. Analysis of existing variety of characteristic and constructional features

### 5.2.1. Analiza struktur systemowych

Na podstawie analizy struktur systemowych wyróżnia się struktury systemowe główne (odpowiadające konstrukcjom reprezentatywnym) oraz struktury specjalne (odpowiadające konstrukcjom opracowanym na specjalne zamówienie odbiegające od standardu) [55, 116]. Konstrukcje specjalne w pierwszej fazie tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji są uwzględniane w ograniczonym zakresie. Suma struktur systemowych głównych wyznacza strukturę reprezentatywną, na podstawie której (rozdz. 3.1) wyróżnia się podstawowe składniki konstrukcji: zespoły, podzespoły, elementy i części oraz izomorficzne składniki struktury systemowej rodziny konstrukcji. Przykład realizacji tego zabiegu przedstawiono w pracach [55, 59]. Dla rodziny konstrukcji siłowników hydraulicznych wyróżniono, na podstawie izomorficznych relacji, następujące rozwiązania konstrukcyjne, rys. 5.2.1:  $rks_1^{24}$  - rura wraz z zamocowaniem,  $rks_1^{23}$  - tłoczek wraz z uchem,  $rks_1^{23}$  - układ zasilania,  $rks_1^{24}$  - dławnica,  $rks_1^{25}$  - tłok.

### 5.2.2. Analiza i zapis struktur wariantowych

W zabiegu drugim (rys. 5.2.1) odtwarza się strukturę wariantową rodziny konstrukcji zapisaną w istniejących konstrukcjach. Na podstawie izomorficznych składników struktury systemowej określa się grupy wariantów rozwiązań konstrukcyjnych  $wks_w^z$  ( $w=1, w_z$ ). Przykładowe warianty rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono dla sprzęgieł przeciążeniowych na rys. 3.10, dla ucha kadzi żuźlowej na rys. 3.11.

Warianty rozwiązań konstrukcyjnych zapisywane z zastosowaniem programów graficznych umożliwiają szybki do nich dostęp z zastosowaniem numeru klasyfikacyjnego przyporządkowanego plikowi oraz stanowią poręczne narzędzie do modyfikacji przy tworzeniu typowych rozwiązań konstrukcyjnych [82, 83]. Numer klasyfikacyjny wariantów konstrukcyjnych składa się z trzech części A\_B\_C. Pierwsza część oznaczenia (A) odpowiada porządkowemu numerowi składnika struktury systemowej, druga część (B) określa porządkowy numer wariantu, natomiast trzecia część (C) ujmuje porządkowy numer odmiany wariantu. Gdy nie stosuje się wspomaganie komputerowego, wariantowi konstrukcyjnemu dodatkowo przypisuje się numer identyfikacyjny opisujący jego strukturę geometryczną [109]. W rodzinach konstrukcji, a szczególnie porządkowanych wyprzedzająco, dodatkowo przeprowadza się koncypanie. Zebrano liczny zbiór metod koncypania [28, 121, 167], wyróżniając następujące grupy, (tabl. 5.2.1): metody intuicyjne, metody systematyczne, metody algorytmiczne. Oprócz wyróżnionych metod w zabiegu tym zalecane jest stosowanie metody: czarnej skrzynki, wariantowania i tablicy morfologicznej. W metodzie czarnej skrzynki rozważane są zakresy zmienności cech charakterystycznych i ich wpływ na różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych. Wynikiem są nowe warianty rozwiązań konstrukcyjnych uzyskane przez zwiększenie zakresów wartości cech charakterystycznych, głównie jakościowych, np. przez zwiększenie liczby możliwych sposobów zamocowania środka technicznego. Metoda wariantowania ma na celu zwiększenie liczby wariantów

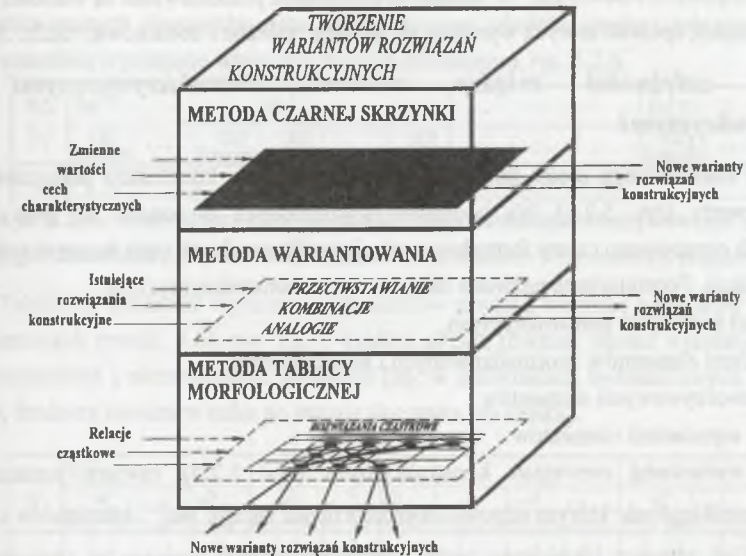
rozwiązań konstrukcyjnych poprzez zastosowanie przeciwstawnych koncepcji, nowych kombinacji istniejących rozwiązań cząstkowych oraz analogii.

Tablica 5.2.1

Metody koncyptowania [27, 28, 96, 121, 122, 136, 150, 152, 167]

A. METODY INTUICYJNE	B. METODY SYSTEMATYCZNE	C. METODY ALGORYTMICZNE
A1. Zbiorowe myślenie spontaniczne Osborna	B1. Metoda tablicy morfologicznej	C1. Algorytm do rozwiązywania odkrywczych zadań – ARIS wg Altschullera
A2. Spontaniczne zapisywanie	B2. Metoda czarnej skrzynki	C2. Program do wypracowania odkrywczych zadań wg R. Thiela i J. Rindfleischa
A.3. Burza mózgów	B3. Tablica odkryć Molesy	C3. Innowacyjne strategie wg H. Linde i B. Hill
A.4. Lateralne myślenie wg De Bono	B4. Zintegrowana metoda „Metra”	
A.5. Krzyżowy ogień pytań	B5. Metoda odkrywczych relacji	
A.6. Metoda wywiadu	B6. Metoda ustopniowanego podejścia wg A. Fraser	
A.7. Metoda Delphicka	B7. Produktywna analiza pól wg Mehlhorn/Mehlhorn	
A.8. Synektyka Gordona	B8. Metoda wyszukiwawczych tablic decymetralnych Povilenki	
A.9. Metoda 635	B9. Biologiczne metody Heynerta	
A.10. Metoda kontrolnych pytań	B10. Metoda analogii	
	B11. Metoda wariantowania	
	B12. Uogólniony heurystyczny algorytm Polovinkina	
	B13. Systematyka konstruowania Hansena	
	B14. Systematyczna heureka wg Müllera	

Pełnym uzupełnieniem tej metody jest zastosowanie metody tablicy morfologicznej. W tablicy wyróżnia się relacje cząstkowe i ich całe spektrum możliwych kombinacji rozwiązań cząstkowych. Wynikiem są nowe zbiory wariantów rozwiązań konstrukcyjnych, rys. 5.2.2.



Rys. 5.2.2. Model tworzenia nowych wariantów rozwiązań konstrukcyjnych

Fig. 5.2.2. Models of creation new variants of construction solutions

Wyróżnione metody powinny być realizowane przy współudziale jak najszerszego grona ekspertów  $E_e$  związanych z procesem konstruowania, wytwarzania, użytkowania i remontowania. Stosując metody koncyptowania, rozszerza się zbiory wariantów konstrukcyjnych biorących udział w wyborze typowych rozwiązań konstrukcyjnych (rozdz. 5.4).

### 5.2.3. Wybór i zapis wartości cech charakterystycznych

Istotność cechy charakterystycznej ze względu na dobór cech konstrukcyjnych decyduje o hierarchicznym ustaleniu ich ważności. Model relacji między cechami charakterystycznymi przedstawiono w rozdz. 3.2. W celu analizy zmienności wartości cech charakterystycznych opracowano formularz, rys. 5.2.3, nazywany tablicą cech charakterystycznych.

Numer porządkowy potrzeby	konstrukcji	CCH <sub>n</sub>						Nazwa środka technicznego	Numer rysunku złożeniowego	Wytwórca	Częstości wytwarzania		
		CCH <sub>1</sub>	CCH <sub>2</sub>	...	CCH <sub>n-1</sub>	CCH <sub>n</sub>	...				CCH <sub>1</sub>	...	CCH <sub>n</sub>

Rys. 5.2.3. Wzór tablicy cech charakterystycznych

Fig. 5.2.3. Pattern of a table of characteristic features

Wiersz tablicy cech charakterystycznych opisuje potrzebę aktualną  $po^k$ . Potrzebie może odpowiadać jedna konstrukcja  $ks_k$  lub podzbiór konstrukcji  $ks_k$  ( $k = k_1, k_2$ ) zgodnie z zależnością (3.1). Numery porządkowe znajdujące się w pierwszej i drugiej kolumnie są ze sobą związane, tzn. zmiana uporządkowania konstrukcji pociąga za sobą odpowiednią zmianę



uporządkowania potrzeb i odwrotnie. W kolejnych kolumnach przedstawiane są wartości cech charakterystycznych, spośród których wyróżnia się główne, zależne i dodatkowe, rozdz. 3.2.

#### 5.2.4. Zapis zależności między cechami charakterystycznymi a konstrukcyjnymi

W celu całościowego ujęcia zmienności cech w rodzinie konstrukcji podejmowany jest zabieg czwarty (rys. 5.2.1). Na podstawie wyróżnionych w rozdz. 3.2 grup cech konstrukcyjnych opracowano cztery formularze opisujące różnorodność cech konstrukcyjnych rodziny konstrukcji. Formularze te nazwano tablicami cech konstrukcyjnych, z:

- wariantami rozwiązań konstrukcyjnych,
- oznaczeniami elementów znormalizowanych i katalogowych,
- cechami tworzywowymi elementów,
- istotnymi wymiarami elementów.

Tablica z wariantami rozwiązań konstrukcyjnych (rys. 5.2.4) zawiera oznaczenia wariantów konstrukcyjnych, którym odpowiada izomorficzna relacja  $Re_i^{zr}$ . Jakościowe cechy konstrukcyjne (jak również jakościowe cechy charakterystyczne) zapisane w tablicach to cechy wielostopniowe (rozdz. 3.2). Poszczególnym danym przypisano liczby naturalne zgodnie z numeracją hierarchiczną [110]. Numeracji wariantów rozwiązań konstrukcyjnych mogą odpowiadać opisy werbalne, gromadzone w osobnych zbiorach danych.

L.p. (k)	$Re_i^{z1}$	Oznaczenie $wks_w^{z1}$	$Re_i^{z2}$	Oznaczenie $wks_w^{z2}$	...	$Re_i^{zr}$	Oznaczenie $wks_w^{zr}$

Rys. 5.2.4. Wzór tablicy cech konstrukcyjnych z wariantami rozwiązań konstrukcyjnych

Fig. 5.2.4. Pattern of a table of constructional features with variants of the constructionsolutions

Tablica z oznaczeniami elementów znormalizowanych i katalogowych  $ks_i^{ncj}$  zawiera oznaczenia konstrukcji zgodne z normami oraz katalogami, rys. 5.2.5. Obejmuje również oznaczenia spoin oraz innych połączeń nierozłącznych.

N.p. (k)	$Re_i^{z1}$			$Re_i^{z2}$			...			$Re_i^{zr}$		
	$ks_i^{ncj1}$ Oznaczenie	...	$ks_i^{ncj3}$ Oznaczenie	$ks_i^{ncj4}$ Oznaczenie	...	$ks_i^{ncj6}$ Oznaczenie	...	...	$ks_i^{ncj10}$ Oznaczenie	...	$ks_i^{ncj12}$ Oznaczenie	

Rys. 5.2.5. Wzór tablicy cech konstrukcyjnych z oznaczeniami elementów znormalizowanych i katalogowych

Fig. 5.2.5. Pattern of a table of constructional features with symbols of normalised catalogue elements

Tablica z cechami tworzywowymi elementów zawierała oznaczenie tworzyw konstruowanych elementów oraz dane dotyczące obróbki cieplnej lub cieplno-chemicznej (ewentualnie wymagane własności stereomechaniczne), rys. 5.2.6.

N.p. (k)	$Re_i^{z1}$			$Re_i^{z2}$			...			$Re_i^{zr}$		
	$CK_i^{z1}$ Oznaczenie	...	$CK_i^{z3}$ Oznaczenie	$CK_i^{z4}$ Oznaczenie	...	$CK_i^{z6}$ Oznaczenie	...	...	$CK_i^{z10}$ Oznaczenie	...	$CK_i^{z12}$ Oznaczenie	

Rys. 5.2.6. Wzór tablicy cech konstrukcyjnych z cechami tworzywowymi elementów

Fig. 5.2.6. Pattern of a table of constructional features with material features of elements

Tablica z istotnymi wymiarami elementów zawiera wartości wymiarów gabarytowych i sprzężonych (rozdz. 5.6), rys. 5.2.7. Tablica ujmuje również istotne wymiary wpływające na wytrzymałość i niezawodność elementu (np. w siłownikach hydraulicznych grubość ścianki rury, średnica otworu w uchu po stronie tłoczyska lub denka).

N.p. (k)	$Re_i^{z1}$			$Re_i^{z2}$			...			$Re_i^{zr}$		
	$ks_i^{h1}$ $W_i^{h1}$	...	$ks_i^{h3}$ $W_i^{h3}$	$ks_i^{h4}$ $W_i^{h4}$	...	$ks_i^{h6}$ $W_i^{h6}$	...	...	$ks_i^{h10}$ $W_i^{h10}$	...	$ks_i^{h12}$ $W_i^{h12}$	

Rys. 5.2.7. Wzór tablicy cech konstrukcyjnych z istotnymi wymiarami elementów

Fig. 5.2.7. Pattern of a table of constructional features with important dimensions of elements

W celu ustalenia zależności między cechami charakterystycznymi oraz cechami konstrukcyjnymi niezbędne jest uporządkowanie zbiorów potrzeb oraz konstrukcji. Uporządkowanie zbioru potrzeb ze względu na wartość cechy  $C_i$  oznaczono  $Po \rightarrow (C_i)$ , podobnie oznaczono uporządkowanie zbioru konstrukcji  $Ks \rightarrow (C_i)$ .

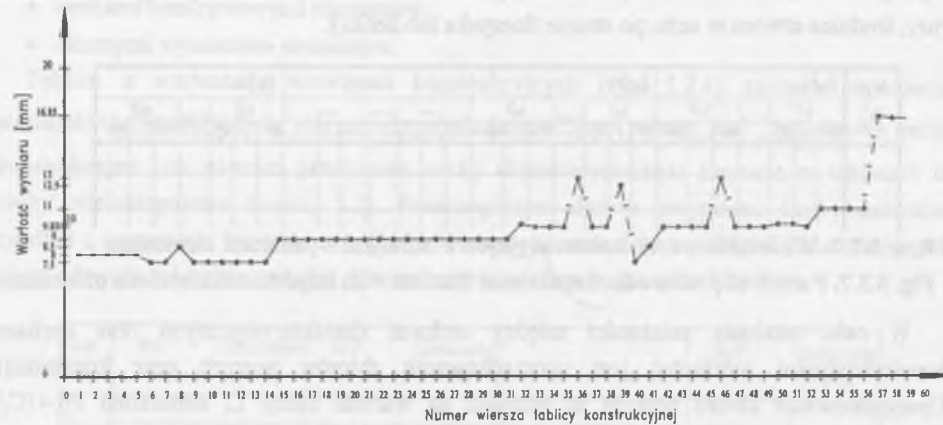
Tablica 5.2.2

Uporządkowany fragment tablicy cech charakterystycznych

Numer porządkowy potrzeby i	Średnica tłoka D [mm]	Średnica tłoczyska d [mm]	Ciśnienie p [MPa]	Wysięg max graniczny $W_{max_{gr}}$ [mm]
1	60	40	20	630
2	60	40	20	630
3	60	40	25	630
4	60	40	31.5	630
5	60	40	32	630
6	75	40	20	710
7	75	40	20	710
8	75	40	25	710
9	75	40	31.5	710
10	75	40	31.5	710
11	75	40	31.5	710
12	75	40	31.5	710
13	75	63	31.5	1200
14	75	63	31.5	1200
15	90	63	16	1500

Warunkiem porządkującym potrzeby i konstrukcje jest wzrost wartości parametrów, po uwzględnieniu ich istotności  $Po, Ks \prec \{Pa_p; (p=1, pz)\}_u$  (dla cech zwiększających [66]). Fragment zbioru potrzeb aktualnych na siłowniki hydrauliczne stosowane w obudowach górniczych, uporządkowane względem wartości parametrów  $Po \prec (D, d, p, Wmax_{gr})$ , przedstawiono w tabl. 5.2.2.

Na podstawie uporządkowanych potrzeb, a tym samym konstrukcji, możliwa jest analiza zmienności ilościowych cech konstrukcyjnych. Przykładem jest przedstawiony na rys. 5.2.8 wykres zmienności grubości ścianki rury w uporządkowanym zbiorze konstrukcji  $Po, Ks \prec (D, d, p, Wmax_{gr})$ . Wykresy są podstawą do analizy różnorodności i określenia nieciągłości funkcji, która może wynikać z nieprawidłowości dobranych wartości cech konstrukcyjnych.



Rys. 5.2.8. Zmienność wartości grubości ścianki rury siłownika w uporządkowanym zbiorze konstrukcji ( $Ks \prec (D, d, p, Wmax_{gr})$ )

Fig. 5.2.8. Variability of the value of thickness of the wall of a hydraulic cylinder pipe in an ordered set of constructions ( $Ks \prec (D, d, p, Wmax_{gr})$ )

Uporządkowaniu podlegają również jakościowe cechy konstrukcyjne (charakterystyczne). Oznaczenia wariantów rozwiązań konstrukcyjnych, tworzone na zasadzie podobieństwa geometrycznego, zamieniane są na liczby naturalne. Dane wejściowe tworzy macierz cech  $c_{kc}; (k=1, kz)(c=1, cz)$ , względem których będzie realizowane uporządkowanie. Przykładem tabeli cech konstrukcyjnych z wariantami rozwiązań konstrukcyjnych dla fragmentu siłowników hydraulicznych stosowanych w maszynach budowlanych jest tablica 5.2.3. Podstawą uporządkowania są jakościowe cechy konstrukcyjne, będące cechami ustopniowanymi (nie spełniającymi warunku metryczności).

Tablica 5.2.3

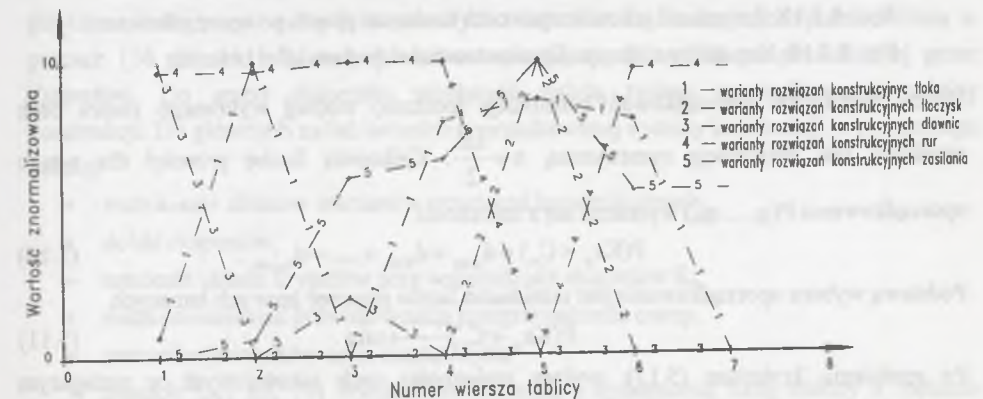
Fragment tablicy cech konstrukcyjnych z wariantami rozwiązań konstrukcyjnych

Numer porządkowy konstrukcji	Warianty rozwiązań konstrukcyjnych				
	łtoków	łtoczysk	dławnic	rury	zasilania
1	552	161	451	271	313
2	566	161	441	271	314
3	551	161	443	272	324
4	563	161	441	272	325
5	564	193	441	233	331
6	563	161	441	271	323
7	551	161	441	271	323

Macierz  $c_{kc}$  poddawana jest normalizacji wg zależności

$$c_{kc} \rightarrow z \frac{c_{kc} - \alpha_k}{\beta_k - \alpha_k}, \text{ gdzie: } \alpha_k = \min c_{kc}, \beta_k = \max c_{kc}, z > 0. \quad (5.7)$$

Liczba „z” jest dowolną stałą zwiększającą proporcjonalnie wartości znormalizowane w celu uzyskania przejrzystości wykresu zmienności znormalizowanych cech. W rozważanym przykładzie  $z=10$ , rys. 5.2.9. Na wykresie oznaczenia konstrukcji  $k=1-7$  odpowiadają osi odciętych, natomiast znormalizowane wartości cech jakościowych osi rzędnych.



Rys. 5.2.9. Zmienność jakościowych cech konstrukcyjnych siłowników hydraulicznych stosowanych w maszynach budowlanych

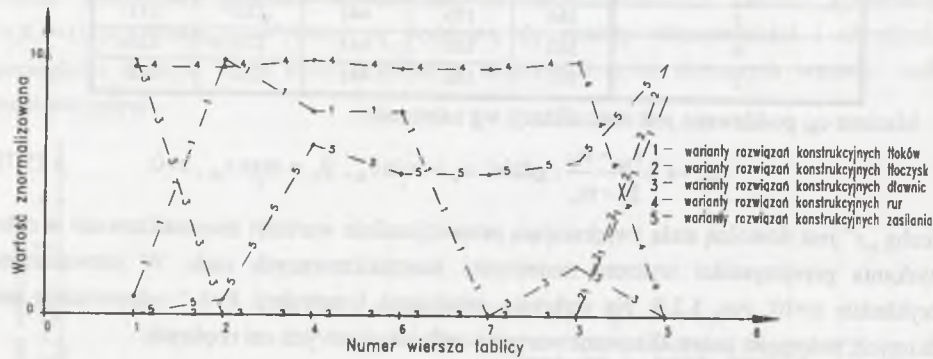
Fig. 5.2.9. Variability of the quality constructional features of hydraulic cylinders applied in building machines

Zmienność wartości cechy  $C_c$  przedstawiona jest w formie prostej łamanej  $\langle c \rangle$  (w niniejszym przykładzie  $c=1-5$ ). Zadanie polega na takim uporządkowaniu konstrukcji  $Ks_n \prec C_c$ , aby uzyskać minimalną liczbę przecięć  $P_{min}(Ks_n \prec C_c)$  prostych łamanych (w niniejszym przykładzie  $P(1,2,3,4,5)=20$ ). Proste łamane odpowiadające cechom oznaczonym  $\langle j \rangle$  i  $\langle l \rangle$  ( $j, l=1-cz$ ), natomiast numery porządkowe sąsiadujących konstrukcji  $k$  i  $m$ , ( $k, m=1-kz$ ). Tworzona jest binarna macierz

$$a_{km,jl} = \begin{cases} 1 & \rightarrow (c_{ik} - c_{jk})(c_{im} - c_{jm}) < 0 \\ 0 & \rightarrow (c_{ik} - c_{jk})(c_{im} - c_{jm}) \geq 0 \end{cases} \quad (5.8)$$

Macierz binarna  $a_{km,jl}$  zawiera  $(kz - 1)$  wierszy oraz  $\frac{cz!}{2}$  kolumn. Liczba przecięć między prostą łamaną  $\langle j \rangle$  a  $\langle l \rangle$  określona jest zależnością

$$d_{jl} = d_j = \sum_{k=1}^{kz} \sum_{m=k+1}^{kz} a_{km,jl} \quad \text{dla } (j, l=1-cz). \quad (5.9)$$



Rys. 5.2.10. Zmienność jakościowych cech konstrukcyjnych po uporządkowaniu

Fig. 5.2.10. Variability of the quality constructional features after ordering

Liczba możliwych uporządkowań konstrukcji (potrzeb) według wybranego zbioru cech określona jest permutacją symetryczną  $n = \frac{kz!}{2}$ . Całkowitą liczbę przecięć dla  $n$ -tego uporządkowania  $P(q_1, \dots, q_{kz})$  wyznacza się z zależności

$$P(Ks_n \prec C_c) = d_{q_1 q_2} + d_{q_2 q_3} + \dots + d_{q_{n-1} q_n}. \quad (5.10)$$

Podstawą wyboru uporządkowania jest minimalna liczba przecięć prostych łamanych

$$P(Ks_n \prec C_c) \rightarrow \min. \quad (5.11)$$

Po spełnieniu kryterium (5.11), wykres zmienności cech jakościowych w niniejszym przykładzie przyjmie postać, jak na rys. 5.2.10. Uporządkowany, względem jakościowych cech konstrukcyjnych  $wks_w^{zr}$ , zbiór konstrukcji  $Ks_n \prec wks_w^{zr}$  zapisany w tablicy cech konstrukcyjnych, tabl. 5.2.4, stał się podstawą analizy zmienności cech charakterystycznych i konstrukcyjnych.

Ponieważ analizowany zbiór konstrukcji jest zbiorem praktycznie zweryfikowanym pod względem wytwórczym oraz użytkowym, dlatego ustalanie relacji między cechami charakterystycznymi i konstrukcyjnymi ma duży wpływ na uporządkowanie rodziny konstrukcji.

Tablica 5.2.4

Fragment wariantów rozwiązań konstrukcyjnych po uporządkowaniu

Numer porządkowy konstrukcji	Warianty rozwiązań konstrukcyjnych				
	tłoków	tłoczysk	dławnic	rury	zasilania
1	552	161	451	271	313
2	566	161	441	271	314
4	563	161	441	272	325
6	563	161	441	271	323
7	551	161	441	271	323
3	551	161	443	272	324
5	564	193	441	233	331

### 5.2.5. Ocena rozwiązań konstrukcyjnych

W ostatnim zabiegu analizy różnorodności konstrukcji (rys. 5.2.1) przygotowywane są dane do oceny wariantów rozwiązań konstrukcyjnych  $Wks_w^{zr} \{wks_w^{zr}; (w=1, wz)\}$ , którym odpowiadają izomorficzne relacje  $Re_r^{zr}; (r=1, rz)$ . Spośród różnych metod oceny wariantów rozwiązań konstrukcyjnych przedstawionych w pracach wybrano wielokryterialną ocenę punktową bazującą na ocenach cząstkowych wariantów konstrukcyjnych, przedstawioną w pracach [16, 82, 111]. Metody punktowe opierają się na ocenie przeprowadzonej przez ekspertów. Do grupy ekspertów wiodących należą twórcy uporządkowanej rodziny konstrukcji. Do głównych zadań twórców uporządkowanej rodziny konstrukcji w tym zabiegu należą:

- zestawienie zbiorów wariantów rozwiązań konstrukcyjnych,
- dobór ekspertów,
- ustalenie układu kryteriów przy współudziale ekspertów  $E_c$ ,
- nadzorowanie nad prawidłowością przeprowadzenia oceny,
- zestawienie wyników ocen cząstkowych.

W pracach [21, 65, 79] wyróżniono statyczną i dynamiczną bazę wiedzy o rodzinie konstrukcji. Statyczna baza wiedzy dotyczy stanu istniejącego rodziny konstrukcji i tworzona jest w stadium określania różnorodności konstrukcyjnej. Natomiast dynamiczna baza wiedzy ujmuje informacje dotyczące trendów rozwojowych rozważanej rodziny konstrukcji oraz nowe osiągnięcia badawcze dotyczące nowych rozwiązań konstrukcyjnych, nowych elementów znormalizowanych stosowanych w rodzinie konstrukcji, stosowania nowych tworzyw, wartości wymiarów i ich wzajemnych zależności. Stadium określenia różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych jest związane z gromadzeniem informacji o rodzinie konstrukcji i ma duży wpływ na wynik uporządkowania rodziny konstrukcji.

### 5.3. Ograniczanie i porządkowanie wartości cech charakterystycznych

Wartości cech charakterystycznych wywołują uzasadnioną różnorodność konstrukcyjną i określają w sposób formalny zapotrzebowanie na klasę środków technicznych zdefiniowaną

przez rodzinę konstrukcji  $RK_n$ . Przedmiotem rozważań w tym stadium jest określenie zbioru zmienności jakościowych cech charakterystycznych  $CCH_c^q$  oraz wyznaczenie wartości granicznych i dyskretyzacja ilościowych cech charakterystycznych  $CCH_c^i$ . W celu racjonalnego ograniczania i porządkowania wartości cech charakterystycznych wyróżniono następujący układ kryteriów:

**KU.1.** Kryterium długotrwałej aktualności cech charakterystycznych.

**KU.2.** Kryterium uwzględniające ograniczenia techniczne, wytwórcze i ekonomiczne w rodzinie konstrukcji.

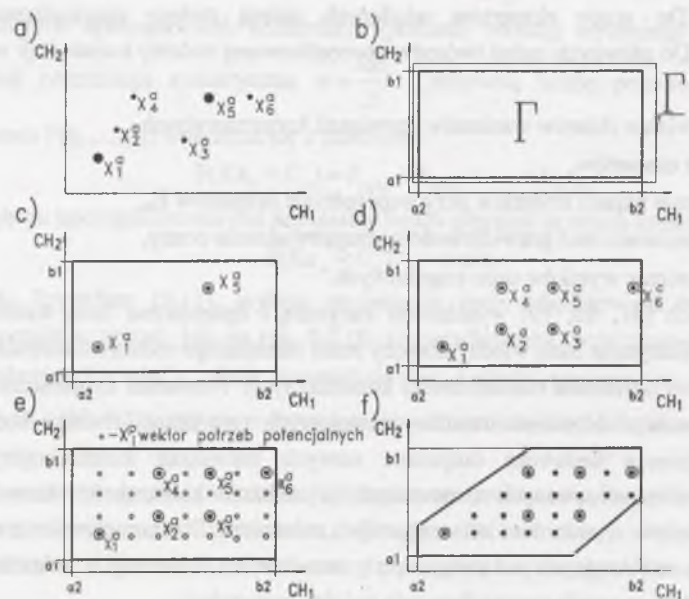
**KU.3.** Kryterium uwzględnienia aktualnych potrzeb charakteryzujących się największą powtarzalnością stosowania.

**KU.4.** Kryterium dostosowania wartości cech charakterystycznych do szeregów liczb normalnych oraz wartości znormalizowanych.

**KU.5.** Kryterium doboru wartości cech charakterystycznych z uwzględnieniem minimalnej różnorodności elementów znormalizowanych, katalogowych i półfabrykatów.

**KU.6.** Kryterium dostosowania wartości cech charakterystycznych do wartości cech charakterystycznych współdziałających środków technicznych.

Model unifikacji dla dwóch ilościowych cech charakterystycznych przedstawiono na rys. 5.3.1.



Rys. 5.3.1. Model przekształceń wartości cech charakterystycznych

Fig. 5.3.1. Model of transformations of values of characteristic features

### 5.3.1. Graniczne wartości cech charakterystycznych

Kryterium długotrwałej aktualności i konkurencyjności wartości cech charakterystycznych **KU1** wiąże się z określeniem zbiorów zmienności jakościowych cech charakterystycznych  $CCH_c^q$  oraz określeniem wartości granicznych ilościowych cech charakterystycznych  $CCH_c^i$ , rys. 5.3.1b. Zbiory zmienności jakościowych cech charakterystycznych tworzone są ze względu na przeznaczenie rozważanej klasy środków technicznych i sposoby ich sprzężenia ze współdziałającymi środkami technicznymi. Przykłady tworzenia zbiorów zmienności jakościowych cech charakterystycznych przedstawiono w pracach [50, 113]. Fragmenty wyników prac dotyczących uporządkowania zbiorów zmienności jakościowych cech charakterystycznych dla rodziny konstrukcji:

- wozów żuźlowych:

$CCH_1^i(1,2)$  - rodzaj przemieszczanego żuźla:

- 1) wielkopiecowy,
- 2) stalowniczy,

$CCH_2^i(1,2)$  - rodzaj drogi transportu:

- 1) na drogach kolejowych ogólnego przeznaczenia,
- 2) na drogach kolejowych zakładowych,

- siłowników hydraulicznych:

$CCH_1^i(1,2,3,4)$  - sposób zamocowania,

- 1) za pomocą uch,
- 2) za pomocą łap,
- 3) z zastosowaniem kołnierza,
- 4) za pomocą wahacza.

$CCH_2^i(1,2)$  - sposób zasilania płynem hydraulicznym,

- 1) bezpośrednie zasilanie przewodami giętkimi,
- 2) zasilanie strony nadłokowej przewodem sztywnym,

$CCH_3^i(1,2)$  - rodzaj pracy,

- 1) stacjonarny ( $v \leq 0,15$  m/s),
- 2) o dużej ruchliwości ( $v > 0,15$  m/s),

$CCH_3^i(1,2)$  - rodzaj płynu hydraulicznego,

- 1) olej hydrauliczny,
- 2) emulsja wodno-olejowa (o 5% zawartość oleju).

W celu spełnienia kryterium **KU1** dla ilościowych cech charakterystycznych, które mogą przyjmować wartości z zakresu liczb rzeczywistych  $CCH_c^i(R)$ , określa się zakresy zmienności wartości cech charakterystycznych

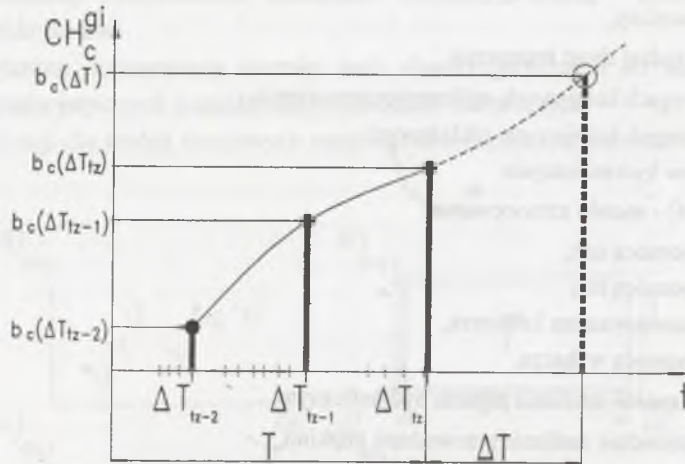
$$\bigwedge_{x_i \in R} (a_c \leq x_c \leq b_c), i = 1, iz, \quad (5.12)$$

gdzie:  $a_c, b_c$  - wartości graniczne cechy charakterystycznej  $CCH_c^i$  ( $c=1, cz$ ).

Iloczyn kartezjański wartości cech charakterystycznych z przedziału  $[a_c, b_c]$  określa przestrzeń potrzeb  $\Gamma' = X_1 * X_2 * \dots$ , która jest podstawą dalszych przekształceń wartości cech charakterystycznych. Przestrzeń potrzeb wyznaczana jest na podstawie analizy zmienności granicznych wartości  $a_c(\Delta T_i)$  oraz  $b_c(\Delta T_i)$  w przedziałach czasowych  $\Delta T_i; (i=1, tz)$ . Rozwój ekstensywny i intensywny wskazuje na nierównomierność powstawania konstrukcji w rodzinie konstrukcji  $RK_n$ . Istnieją okresy, w których powstaje wiele nowych konstrukcji, po czym następuje okres stagnacji konstrukcyjnej. Zmienność powstawania konstrukcji  $ks_k$  [79] jest podstawą wyróżnienia przedziałów czasowych  $\Delta T_i$  oraz określenia granicznych wartości cech charakterystycznych  $a_c(\Delta T_i)$  i  $b_c(\Delta T_i)$ . Przykład zmienności górnych granicznych wartości cech charakterystycznych w określonych przedziałach czasowych przedstawiono na rys. 5.3.2. Przedziały czasowe spełniają warunek

$$T = \sum_{i=1}^{tz} \Delta T_i, \quad (5.13)$$

gdzie: T- okres istnienia rodziny konstrukcji  $RK_n$ .



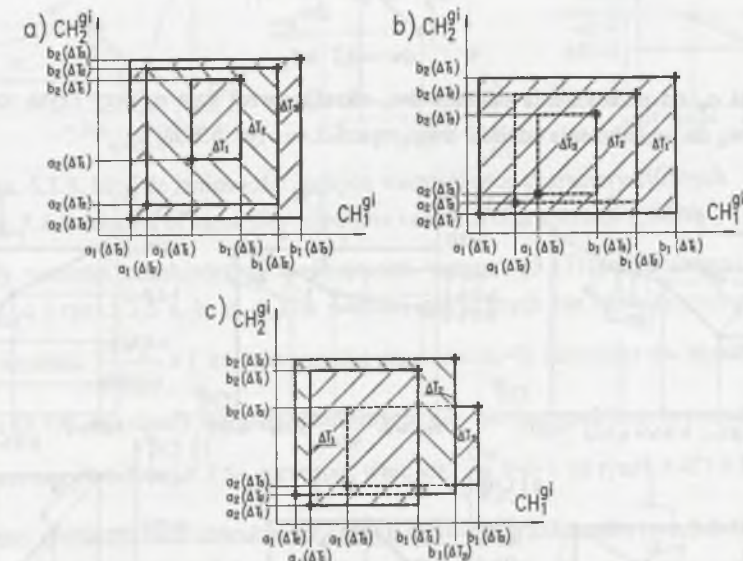
Rys. 5.3.2. Górne wartości cechy charakterystycznej w zależności od przedziałów czasowych  
Fig. 5.3.2. Top values of a characteristic feature as a function of time intervals

Na rysunku przedstawiono również horyzont czasowy  $\Delta T = \frac{T}{tz}$ , dla którego wyznaczane będą graniczne wartości cech charakterystycznych  $a_c(\Delta T)$  i  $b_c(\Delta T)$ . Dla poczynionych założeń oraz nieregularności zmienności wartości cech charakterystycznych trudno jest zastosować tradycyjne metody prognozowania [190]. Często zdarza się, że w tym samym czasie podejmuje się proces pr-ks dla potrzeby o wartościach cech charakterystycznych  $po_{i_1}$  ( $cch_{i_1}^{st}, cch_{i_1}^{st}, \dots$ ) oraz  $po_{i_2}$  ( $cch_{i_2}^{st}, cch_{i_2}^{st}, \dots$ ), gdzie  $cch_{i_1}^{st}$  i  $cch_{i_2}^{st}$  przyjmują krańcowo różne wartości. Opracowano graficzną metodę prognozowania, bazującą na zmienności wartości granicznych cech charakterystycznych, nazwaną w pracy *metodą granicznych wartości*. Przykładową zmienność wartości granicznych cech charakterystycznych w rodzinie konstrukcji  $RK_n$  przedstawiono na rys. 5.3.3 a, b, c. Na rysunku 5.3.3a występuje wzrost

granicznych wartości cech charakterystycznych w wyróżnionych przedziałach czasowych  $\Delta T_i$  (eksplozja), z kolei na rysunku 5.3.3b ich zmniejszanie (implozja). Graniczne wartości cech charakterystycznych mogą być również niestabilne, w pewnych przedziałach czasowych rosna, po czym maleją (rys. 5.3.3c). Dla zmniejszających się górnych granicznych wartości cech charakterystycznych oraz zwiększających się dolnych granicznych wartości cech charakterystycznych (jak np. na rys. 5.3.3b) nie podejmowano prognozowania w celu określenia zakresu zmienności wartości cech charakterystycznych  $\Gamma$ . Graniczne wartości cech charakterystycznych wyznacza się wówczas z warunków

$$b_c = \text{Max}_{i=1, tz} b_c(\Delta T_i), \quad (5.14)$$

$$a_c = \text{Min}_{i=1, tz} a_c(\Delta T_i). \quad (5.15)$$



Rys. 5.3.3. Zmienność granicznych wartości cech charakterystycznych  
Fig. 5.3.3. Variability of limiting values of characteristic features

Na podstawie przeprowadzonych badań [79] wyróżniono modele zmienności górnych (rys. 5.3.4) oraz dolnych wartości cech charakterystycznych (rys. 5.3.5), dla których podejmuje się prognozowanie graficzne. W obu modelach o wartości oczekiwanej decydowały głównie dane z ostatniego okresu badań. W przedstawionym modelu prognozowania graficznego stosowano prognozowanie liniowe, uwzględniając wartości graniczne cech charakterystycznych z trzech ostatnich przedziałów czasowych  $\Delta T_i$ ,  $\Delta T_{i-1}$  i  $\Delta T_{i-2}$ , (rys. 5.3.4, rys. 5.3.5). W celu podjęcia decyzji czy przy wyznaczaniu oczekiwanej wartości cech charakterystycznych będzie rozważana zmiana wartości cech charakterystycznych  $dw_{tz-1}$  (rys. 5.3.4a, 5.3.5a) z poprzednich okresów czasowych  $\Delta T_{tz-2}$  i  $\Delta T_{tz-1}$ , określono współczynnik przyrostu wartości cech na jednostkę czasu (np. na rok)

$$kd_t = \frac{dw_t}{\Delta T_t} \quad (5.16)$$

gdzie:  $dw_t$  – zmiana wartości granicznych cech charakterystycznych (rys. 5.3.4a, 5.3.5a),

$\Delta T_t$  – przedział czasowy zmiany wartości granicznych cech (rys. 5.3.2).

Podstawą uwzględniania przyrostu wartości granicznych  $dw_{tz-1}$  przy wyznaczaniu wartości oczekiwanej jest warunek

$$kd_{tz-1} \geq kd_{tz} \quad (5.17)$$

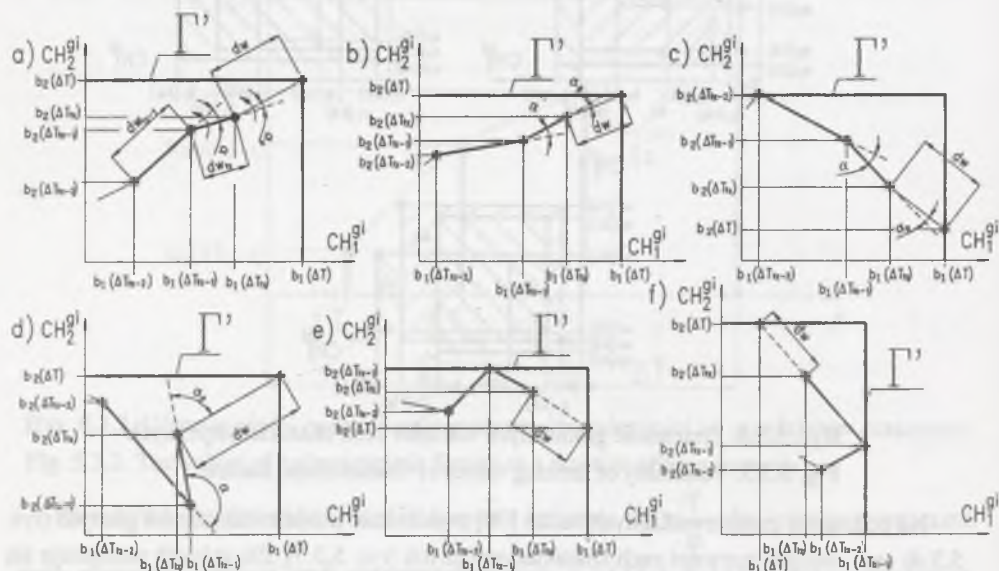
Spełniając warunek (5.17), wyznaczono wartość oczekiwaną na podstawie kąta przyrostu  $\alpha_p$

oraz oczekiwanego przyrostu  $dw$ , gdzie dla  $\frac{dw_{tz}}{dw_{tz-1}} \leq 1$

$$\alpha_p = \alpha \cdot \left(1 - \frac{dw_{tz}}{dw_{tz-1}}\right), \quad (5.18)$$

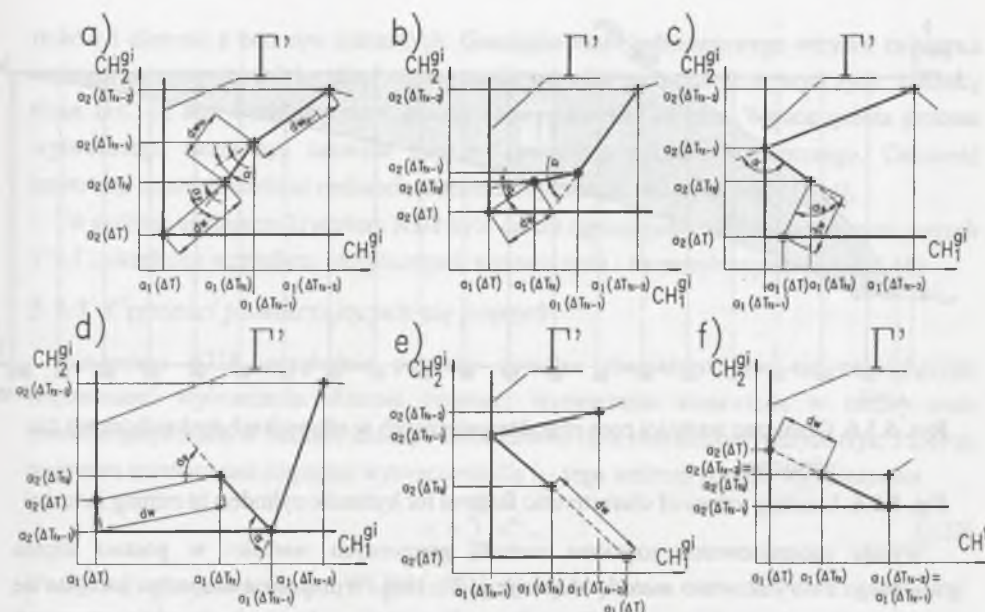
$$dw = \Delta T \cdot kd_{tz} \quad (5.19)$$

Zwrot kąta  $\alpha_p$  od przedłużenia odcinka  $dw_{tz}$  określa zwrot kąta  $\alpha$ , przy czym rozważa się odcinek  $dw_{tz}$  do przedłużenia odcinka  $dw_{tz-1}$ , rys. 5.3.4a i rys. 5.3.5a.



Rys. 5.3.4. Modele zmienności górnych wartości cech charakterystycznych

Fig. 5.3.4. Models of variability of top values of characteristic features



Rys. 5.3.5. Modele zmienności dolnych wartości cech charakterystycznych

Fig. 5.3.5. Models of variability of bottom values of characteristic features

Przykłady wartości oczekiwanych spełniających warunek (5.17) przedstawiono na rys. 5.3.4 a, b, c, d i rys. 5.3.5 a, b, c, d. Dla wartości granicznych nie spełniających warunku

(5.17) oraz warunku  $\frac{dw_{tz}}{dw_{tz-1}} > 1$  korygowany kąt przyrostu  $\alpha_p = 0$ , natomiast  $dw$  określone jest

z zależności (5.19). Przykłady wartości granicznych, gdy nie jest spełniony warunek (5.17), przedstawiono na rys. 5.3.4e i 5.3.5e, natomiast warunek  $\frac{dw_{tz}}{dw_{tz-1}} > 1$  na rys. 5.3.4f i 5.3.5f.

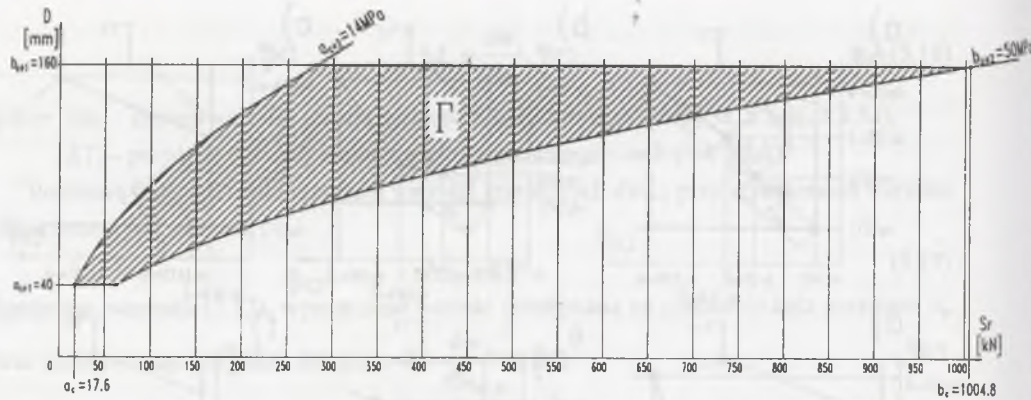
Górne wartości graniczne cech charakterystycznych określono z zależności (rys. 5.3.4),

$$b_c = \text{Max}_{t=1,tz} (b_c(\Delta T_t) \cup b_c(\Delta T)). \quad (5.20)$$

Dolne wartości graniczne cech charakterystycznych określono z zależności (rys. 5.3.5),

$$a_c = \text{Min}_{t=1,tz} (a_c(\Delta T_t) \cup a_c(\Delta T)). \quad (5.21)$$

Przykład utworzonych granicznych wartości cech charakterystycznych siłowników hydraulicznych dla górnictwa (siły rozpychającej  $S_r$ , średnicy tłoka  $D$ , ciśnienia nominalnego  $p$ ) przedstawiono na rys. 5.3.6. Wynikiem ograniczenia jest szukany przedział zmienności cech charakterystycznych  $\Gamma'$ , który powinien być jak najszerszy ze względu na konkurencyjność, a jednocześnie bez obszarów martwych, na które nie będzie zapotrzebowania.



Rys. 5.3.6. Graniczne wartości cech charakterystycznych w siłownikach hydraulicznych dla górnictwa

Fig. 5.3.6. Limiting values of characteristic features for hydraulic cylinders in mining industry

Wyniki prognozowania uzyskane metodą granicznych wartości w postaci zapisu graficznego zweryfikowano *metodą ekspertyz* [129, 190]. W metodzie ekspertyz korzysta się ze zbioru danych, w tym przypadku informacji o zmienności cech charakterystycznych porządkowanej rodziny konstrukcji oraz współdziałających środków technicznych. Dane te przesyłane są do ekspertów  $E_e$  celem opracowania granicznych wartości cech charakterystycznych. Wyniki poddane zostają statystycznej obróbce [190], na podstawie której twórcy porządkowanej rodziny konstrukcji podejmują ostateczną decyzję o wartościach granicznych. W metodzie tej szczególnie istotne są trendy rozwojowe środków technicznych, w których stosowane są lub z którymi współdziała porządkowana klasa środków technicznych. Metodę ekspertyz zastosowano również do opracowania granicznych wartości cech charakterystycznych dla rodzin konstrukcji tworzonych od podstaw w formie uporządkowania wyprzedzającego. Wartości graniczne cech charakterystycznych określają zakres przestrzeni potrzeb  $\Gamma$  w rodzinie konstrukcji  $RK_n$ , który obejmuje potrzeby aktualne  $po^a$  oraz potrzeby potencjalne  $po^p$  dla horyzontu czasowego  $\Delta T$  (rys. 5.3.1b).

### 5.3.2. Ograniczenia techniczne, wytwórcze i ekonomiczne

Rozwiązania konstrukcyjne mają ze względu na wartości cech charakterystycznych swoje końcowe możliwości techniczne. Wartości te są trudne do wyznaczenia, jeżeli nie podejmuje się procesu konstrukcyjnego. Dlatego często określa się je w stadium doboru cech konstrukcyjnych (rozdz. 5.7).

Źródłem ograniczeń wartości cech charakterystycznych są również względy wytwórcze i ekonomiczne. Dysponujące określonym parkiem maszynowym zakłady wytwórcze narzucają swoje możliwości wytwórcze, które wpływają na zakresy wartości cech charakterystycznych. Ich wyznaczenie związane jest np. z badaniem osiągnięć maszyn wytwórczych co do wymiarów gabarytowych obrabianych elementów biorących udział w procesie wytwórczym. Przykładem mogą być możliwości wytwórcze wtryskarek przy tworzeniu typoszeregów

łoków i dławnic z tworzyw sztucznych. Graniczna masa jednorazowego wtrysku tworzywa sztucznego wynosiła 0.5 kg. Stąd ograniczenie wartości cech charakterystycznych: średnicy tłoka  $D \leq 160$  mm i równocześnie średnicy tłoczyśka  $d \geq 120$  mm. Wąskie gardła procesu wytwórczego mogą być usuwane poprzez inwestycje zakładu wytwórczego. Celowość inwestycji może uzasadniać rachunek ekonomiczny przedstawiony w pracy [144].

Wynikiem spełniania kryterium KU2 było dalsze ograniczanie zakresu przestrzeni potrzeb  $\Gamma' \in \Gamma$ , określone względami technicznymi, wytwórczymi i ekonomicznymi, (rys. 5.3.1b).

### 5.3.3. Częstości powtarzających się potrzeb

Kryterium KU3 uwzględnia potrzeby aktualne charakteryzujące się największymi częstościami wytwarzania. Roczne częstości wytwarzania zestawione w tablicy cech charakterystycznych w stadium analizy różnorodności cech charakterystycznych (rys. 5.2.3) są podstawą wyznaczenia częstości wytwarzania dla  $i$ -tego wektora potrzeb wg zależności

$$v_i = \sum_{t=1}^n v_i^{A_t} \quad (5.22)$$

Podstawą wyboru wektora potrzeb jest zależność:

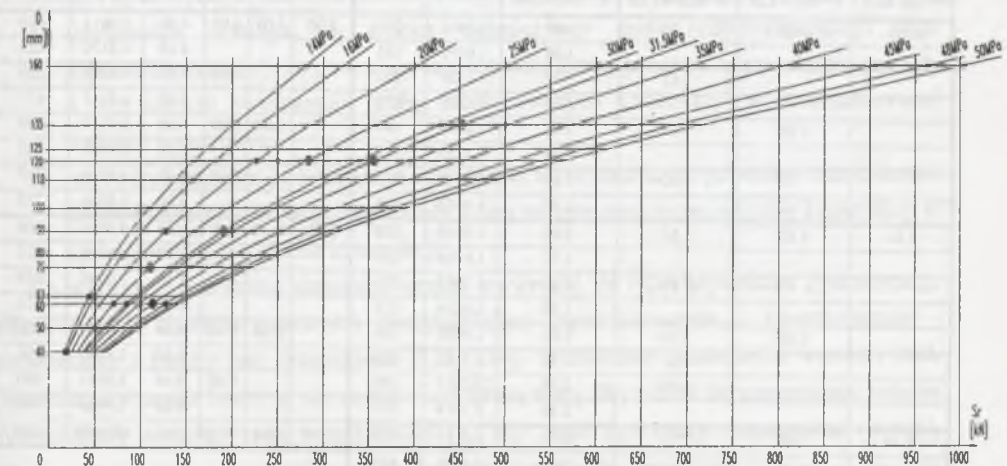
$$\bigwedge_{x^u \in X^*} \bigvee_{x^i \rightarrow v_i} v_i \geq v_{gr} \Rightarrow X^u \in X^* \in \Gamma, \quad (5.23)$$

gdzie:  $X^i$  -  $i$ -ty wektor potrzeby należący do zbioru potrzeb aktualnych  $X^*$ ,

$v_i$  - częstość wytwarzania dla  $i$ -tego wektora potrzeb,

$v_{gr}$  - graniczna wartość częstości stosowania,

$X^u$  - zbiór wektorów potrzeb aktualnych spełniających kryterium KU3.



Rys. 5.3.7. Zapotrzebowanie na siłowniki hydrauliczne w górnictwie

Fig. 5.3.7. Request for hydraulic cylinders in mining industry

Podstawą wyznaczenia częstości granicznej jest zależność

$$v_{gr} = \frac{\sum_{i=1, ia} v_i}{ia} \quad (5.24)$$

gdzie:  $v_j$  - częstość stosowania  $j$  - tej potrzeby aktualnej,

$ia$  - liczba potrzeb aktualnych.

Spełniając kryterium KU3, uwzględnia się stan zastany, wyróżniając w tworzeniu uporządkowanych potrzeb te aktualne potrzeby, które charakteryzują się największą częstością stosowania ( $X''$ ), rys. 5.3.1c. Na rysunku 5.3.7 zaznaczono najczęściej stosowane parametry na górnicze siłowniki hydrauliczne, natomiast dużym kółkiem zaznaczono te, które spełniają zależność (5.23).

#### 5.3.4. Szeregi liczb normalnych i wartości znormalizowanych

Kryterium KU4 to kryterium dostosowania wartości cech charakterystycznych do szeregów liczb normalnych lub innych normowych zaleceń, odpowiadających potrzebom aktualnym (z wyłączeniem potrzeb o największych częstościach stosowania określonych w kryterium KU3, rys. 5.3.1d) oraz potencjalnym (rys. 5.1.1). Podstawą dyskretyzacji wartości cech charakterystycznych powinny być szeregi liczb normalnych, będące szeregami geometrycznymi (tabl. 5.3.1).

Tablica 5.3.1

Wartości szeregów liczb normalnych

R5 $\varphi = \sqrt[3]{10} \approx 1.6$	R10 $\varphi = \sqrt[4]{10} \approx 1.25$	R20 $\varphi = \sqrt[5]{10} \approx 1.12$	R40 $\varphi = \sqrt[7]{10} \approx 1.06$	Wartość dokładna	Mantysa	R5	R10	R20	R40	Wartość dokładna	Mantysa
1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000	000	4.00	4.00	4.00	4.00	3.9811	600
			1.06	1.0593	025				4.25	4.2170	625
		1.12	1.12	1.1220	050			4.50	4.50	4.4668	650
		1.18	1.18	1.1885	075				4.75	4.7315	675
	1.25	1.25	1.25	1.2589	100		5.00	5.00	5.00	5.0119	700
			1.32	1.3335	125				5.30	5.3088	725
		1.40	1.40	1.4125	150			5.60	5.60	5.6234	750
			1.50	1.4962	175				6.00	5.9566	775
1.60	1.60	1.60	1.60	1.5849	200	6.30	6.30	6.30	6.30	6.3096	800
			1.70	1.6788	225				6.70	6.6834	825
		1.80	1.80	1.7783	250			7.10	7.10	7.0795	850
			1.90	1.8836	275				7.50	7.4989	875
	2.00	2.00	2.00	1.9953	300		8.00	8.00	8.00	7.9433	900
			2.12	2.1135	325				8.50	8.4140	925
		2.24	2.24	2.2387	350			9.00	9.00	8.9125	950
			2.36	2.3714	375				9.50	9.4406	975
2.50	2.50	2.50	2.50	2.5119	400	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0000	000
			2.65	2.6607	425						
		2.80	2.80	2.8184	450						
			3.00	2.9854	475						
	3.15	3.15	3.15	3.1623	500						
			3.35	3.3497	525						
		3.55	3.55	3.5481	550						
			3.75	3.7584	575						

Są one jak gdyby „wspólnym mianownikiem” dla dyskretyzacji cech w procesie konstruowania, a ich podstawowe zalety przedstawiono w pracach [10, 91, 136, 160]. Wartości szeregów liczb normalnych określone są z zależności [91]:

$$x_n = 10^{\frac{m}{n}} * 10^l, \quad (5.25)$$

gdzie:  $n$  - 5, 10, 20, 40, 80 przyjęte według PN/N-02100 „Szeregi liczbowe”,

$m$  - numer kolejnej liczby  $m=0, 1, \dots, n$ ,

$l$  - wielokrotność liczby 10.

Podstawową własnością  $n$ -tego szeregu jest stosunek wyrazu następnego do poprzedniego, który jest stały i wynosi:

$$\varphi = \frac{x_k}{x_{k-1}} = \frac{x_{k+1}}{x_k} = \sqrt[n]{10}. \quad (5.26)$$

Spełniając kryterium KU4, dyskretyzuje się wartości cech charakterystycznych w zakresie granicznych wartości  $\Gamma$ . Liczba  $\varphi$  określa stopień dyskretyzacji i im jest większa, tym większy stopień dyskretyzacji. W budowie maszyn przyjęto dyskretyzację wartości: R5, R10, R20, R40 i R80. Szeregi te nazywa się również szeregami Renarda (Charles Renard w 1877 utworzył i zastosował ciągi geometryczne do określania wymiarów wież oraz balonów latających). Na podstawie dyskretyzacji zmienna  $n$  nie zawsze może przyjmować wartości: 5, 10, 20, 40, 80. Dlatego dla liczby wartości dyskretynych  $z=n+1$  w zakresie wartości granicznych  $a_c$  i  $b_c$  proponuje się zależność [136]

$$B = \frac{b_c}{a_c} = \varphi^n \longrightarrow \varphi = \sqrt[n]{B}. \quad (5.27)$$

Stopień dyskretyzacji jest wynikiem dwóch przeciwstawnych tendencji:

- użytkownik domaga się środka technicznego ściśle odpowiadającego jego zapotrzebowaniom – co powoduje zagęszczenie liczby punktów w przestrzeni potrzeb, a tym samym zwiększenie liczby zróżnicowanych konstrukcji w uporządkowanej rodzinie konstrukcji,
- wytwórca zmierza do zwiększenia seryjności wytwarzania, co powoduje zmniejszenie liczby punktów w przestrzeni potrzeb, a tym samym zmniejszenie liczby konstrukcji w uporządkowanej rodzinie konstrukcji.

Na podstawie powyższej antynomii można stwierdzić, że tylko kryterialna dyskretyzacja wartości cech charakterystycznych uwzględniająca zapotrzebowanie – konstruowanie – wytwarzanie i koszty jest uzasadniona [133, 134]. W zakresie granicznych wartości cech charakterystycznych liczba  $\varphi$  nie zawsze jest liczbą stałą. Wyróżnia się następujące rodzaje dyskretyzacji wartości cech w przedziale  $[a_c, b_c]$ : stałe ( $\varphi = \text{const}$ ), degresywne ( $\varphi_1 > \varphi_2$ ), progresywne ( $\varphi_1 < \varphi_2$ ), ze zwiększoną dyskretyzacją w środku przedziału ( $\varphi_1 < \varphi_2, \varphi_2 > \varphi_3$ ), ze zwiększoną dyskretyzacją na brzegach przedziału ( $\varphi_1 > \varphi_2, \varphi_2 < \varphi_3$ ), ze zmiennością nieregularną ( $\varphi = \text{var}$ ) [136].

Szeregi liczb normalnych oraz normy wartości cech są podstawą dyskretyzacji wartości cech charakterystycznych dla potrzeb aktualnych według relacji:



$$\bigwedge_{x_i^a \in (X^a - X^u)} \bigvee x_{ic} \rightarrow x_n; i = 1, iz; X^{u^a} \in X^a, \quad (5.28)$$

oraz dla potrzeb potencjalnych przejmując stopień dyskretyzacji  $\varphi$  jak dla zbioru  $X^u$  lub stosowanie do przewidywanego zapotrzebowania uzmienniając stopień dyskretyzacji  $\varphi$

$$\bigwedge_{x_i^p \in X^p} \bigvee x_{ic} \rightarrow x_n; i = iz; X^{u^m} \in X^p, \quad (5.29)$$

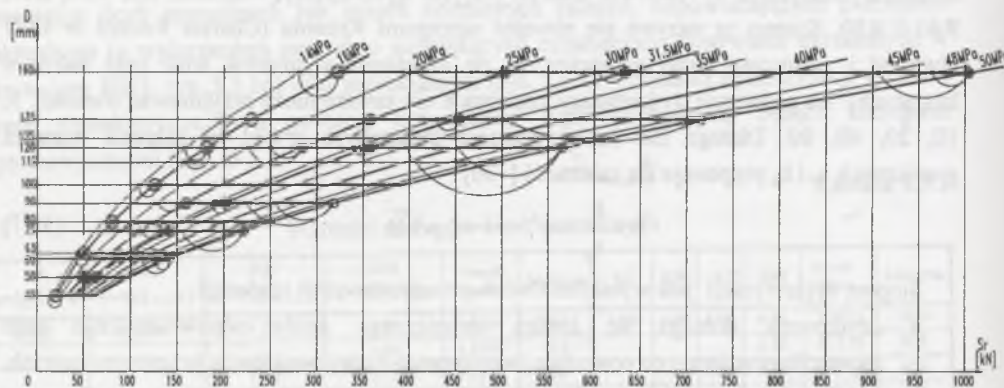
gdzie:  $X_i^p$  - i -ty wektor potrzeby należący do zbioru potrzeb potencjalnych  $X^p$ ,

$x_n$  - wartość normowa,

$X^u$  - zbiór wektorów potrzeb aktualnych spełniających kryterium KU4,

$X^{u^m}$  - zbiór wektorów potrzeb potencjalnych spełniających kryterium KU4.

Przykład uwzględnienia kryterium KU4 w siłownikach hydraulicznych stosowanych w górnictwie przedstawiono na rys. 5.3.8. Widoczne jest tutaj dostosowanie wartości cech charakterystycznych odpowiadających potrzebom potencjalnym oraz potrzebom aktualnym o małych częstościach stosowania do wartości normowych.



Rys. 5.3.8. Dostosowanie wartości cech charakterystycznych do wartości normowych

Fig. 5.3.8. Adaptation of values of characteristic features to standard values

### 5.3.5. Różnorodność półfabrykatów oraz elementów znormalizowanych i katalogowych w rodzinie konstrukcji

Kryterium KU5 zaleca tak dobierać dyskretne wartości cech charakterystycznych, aby różnorodność półfabrykatów, elementów znormalizowanych i katalogowych była minimalna. Spełniając to kryterium, modyfikuje się głównie zdyskretyzowane wartości cech charakterystycznych określone przez kryterium KU4 (rys. 5.3.1e). Stosowanie elementów i zespołów znormalizowanych lub katalogowych wpływa głównie na obniżenie kosztów wytwarzania w obrębie porządkowanej rodziny konstrukcji. Celem jest takie dostosowanie wartości cech charakterystycznych porządkowanej rodziny konstrukcji, aby odpowiadały bezpośrednio wartościom znormalizowanym lub katalogowym elementów dobieranych, eliminując w przyszłości zamówienia specjalne.

Spełniając kryterium KU5, wyznacza się wartości cech charakterystycznych dla potrzeb aktualnych według relacji:

$$\bigwedge_{x_i^a \in (X^a - X^u)} \bigvee x_{ic} \rightarrow x_{kat}; i = 1, iz; X^{u^{IV}} \in X^a, \quad (5.30)$$

oraz dla potrzeb potencjalnych,

$$\bigwedge_{x_i^p \in X^p} \bigvee x_{ic} \rightarrow x_{kat}; i = iz; X^{u^V} \in X^p, \quad (5.31)$$

gdzie:  $X_i^p$  - i -ty wektor potrzeby należący do zbioru potrzeb potencjalnych  $X^p$ ,

$x_{kat}$  - wartość cech charakterystycznych elementów znormalizowanych i katalogowych lub wymiary półfabrykatów, do których należy dostosować wartości cech charakterystycznych,

$X^{u^{IV}}$  - zbiór wektorów potrzeb aktualnych spełniających kryterium KU5,

$X^{u^V}$  - zbiór wektorów potrzeb potencjalnych spełniających kryterium KU5.

Na podstawie utworzonych zbiorów danych, dotyczących norm i katalogów, w sposób iteracyjny weryfikowane są wartości cech charakterystycznych porządkowanej rodziny konstrukcji (rys. 5.3.1e).

### 5.3.6. Wartości cech charakterystycznych współdziałających środków technicznych

Kryterium dostosowania wartości cech charakterystycznych do wartości cech charakterystycznych współdziałających środków technicznych uwzględnia zarówno sprężenie wewnętrzne, jak i zewnętrzne. Sprężenie wewnętrzne występuje wówczas, gdy cechy charakterystyczne porządkowanej rodziny konstrukcji są związane z cechami charakterystycznymi konstrukcji środka technicznego, której jest składnikiem

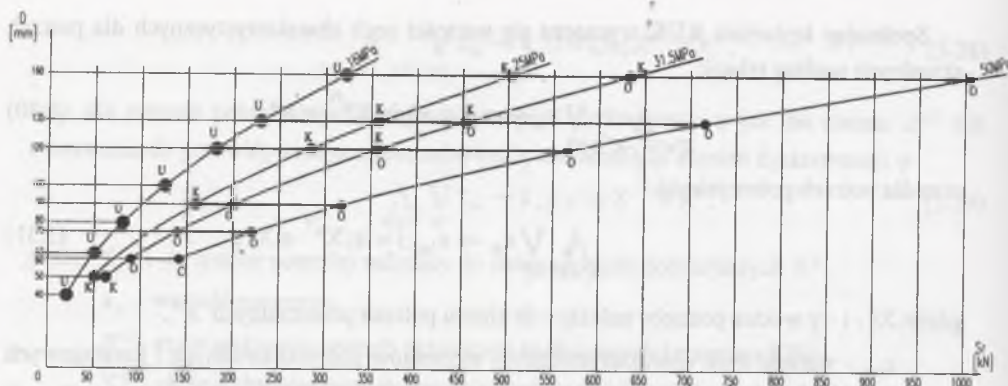
$$X^{u^VI} = f(X^u) \quad (5.32)$$

Przykładem jest porządkowana rodzina konstrukcji siłowników hydraulicznych stosowana w konstrukcjach obudów górniczych, gdzie siła rozpychająca (ściągnająca) siłownika zależy od podporności roboczej obudowy. Natomiast sprężenie zewnętrzne uwzględnia cechy charakterystyczne współdziałających środków technicznych o jednakowym poziomie struktury systemowej

$$X^u \rightarrow X^{u^VI}. \quad (5.33)$$

Przykładem może być ograniczenie cech charakterystycznych porządkowanej rodziny konstrukcji przekładni zębatych, ze względu na cechy charakterystyczne silników elektrycznych, gdzie moc silnika bezpośrednio wpływa na moc przekładni zębatej.

Na rysunku 5.3.9 przedstawiono uporządkowane wartości cech charakterystycznych z uwzględnieniem kryterium KU6. Uzyskany wynik pokrywa zapotrzebowanie na siłowniki hydrauliczne stosowane w takich środkach technicznych, jak: obudowy (O), kombajny (K) oraz inne urządzenia górnicze (U) dla krajowego górnictwa węglowego.



Rys. 5.3.9. Uporządkowany zbiór wartości cech charakterystycznych na siłowniki hydrauliczne stosowane w urządzeniach górniczych

Fig. 5.3.9. Ordered set of values of characteristic features of hydraulic cylinders used in mining industry

Spełniając kolejno wyżej przedstawione kryteria KU1-KU6, tworzy się zbiór zunifikowanych wektorów potrzeb odpowiadający zbiorowi punktów w przestrzeni potrzeb  $X^u = X_i^u \rightarrow po^u; (i = 1, iz)$  według zależności,

$$X^u = \{X^I \cup [(X^{II} \cup X^{III}) \cap (X^{IV} \cup X^V)]\} \cap X^{VI} \in \Gamma \quad (5.34)$$

Zunifikowane wartości cech charakterystycznych mogą być zapisane w formie punktów w przestrzeni potrzeb (rys. 5.3.9), tablic (tabl. 5.7.1), nomogramów rys. 5.7.11, tablic wyboru [107] lub macierzy cch<sub>ic</sub><sup>ug</sup> (pa<sub>ia</sub><sup>u</sup>).

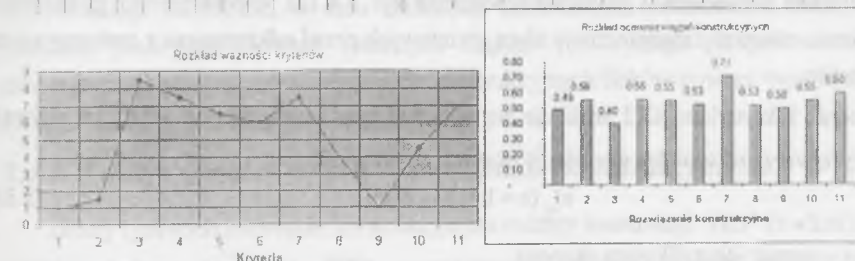
### 5.4. Tworzenie typowych rozwiązań konstrukcyjnych

Typowe postacie konstrukcyjne  $\Pi^p (p=1, pz)$  rodziny konstrukcji  $RK_n$  są wynikiem wyboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych ze zbioru wariantów konstrukcyjnych. Podstawowym zadaniem tego stadium jest opracowanie zbioru typowych rozwiązań konstrukcyjnych spełniających układ kryteriów oraz opracowanie jak największej liczby sprzężeń między nimi, co zapewnia elastyczne dostosowanie się do potrzeb. Danymi wejściowymi w tym stadium są: zbiory wariantów rozwiązań konstrukcyjnych  $WKS_z^r \{wks_w^z; (w=1, wz)\}$  odpowiadające izomorficznym relacjom struktury systemowej, układ kryteriów  $\Omega^z \{K_n; (n=1, nz)\}$ , oceny cząstkowe kryteriów  $o_{mn}^e$  oraz oceny cząstkowe wariantów konstrukcyjnych  $w_{nw}^e$  przeprowadzone przez ekspertów  $E_e$  w analizie różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych (rozd. 5.2.6). Spośród licznych metod ocen przedstawionych w pracach [16, 101, 111, 118, 121, 132, 136] do kryterialnego wyboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych zastosowano wielokryterialną ocenę punktową. Wyróżniono dwie metody oceny: uproszczoną punktową [79, 82] oraz złożoną z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych [111].

### 5.4.1. Uproszczony wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych

W pierwszej kolejności stosowano metodę uproszczoną, pozwalającą na proste i przejrzyste przeprowadzenie ocen rozwiązań konstrukcyjnych. Podstawową zaletą jest możliwość szybkiego odwołania się do określonego eksperta celem uzasadnienia podjęcia decyzji co do ocen cząstkowych i ich wpływu na wynik oceny. Ponadto istnieje możliwość określenia tych miejsc rozwiązań konstrukcyjnych, które znacznie odbiegają od rozwiązań idealnych. Ta zaleta czyni metodę szczególnie przydatną do modyfikacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych. W tej metodzie nie łączy się wyników ocen przeprowadzonych przez poszczególnych ekspertów w jedną wspólną ocenę, tworząc „eksperta mistrza”, lecz utrzymuje się do końca indywidualny przebieg oceny eksperta lub reprezentatywnej grupy. Podstawą takiego założenia jest poznanie do końca podstawowych wymaganych własności, jakie oczekują eksperci, od rozwiązań konstrukcyjnych. Uzyskane na tym poziomie informacje stanowią podstawę do modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych, znalezienia wspólnego kompromisu i pozostawienia jako zróżnicowanych tych rozwiązań konstrukcyjnych, które określone przez układ kryteriów tworzą uzasadnioną wielość typowych rozwiązań konstrukcyjnych.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11		411	412	451	461	444	441	443	423	424	425	422	
K1	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	2	1	3	1	3	0	0	1	2	
K2	1	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3	3	2	2	2	3	
K3	1	1	x	0,5	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0	0	0	1	0	0	0	0	3	3	0	0
K4	1	1	0,5	x	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
K5	1	1	0	0,5	x	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
K6	1	1	0	0,5	0,5	x	0	0,5	1	0,5	1	0	2	3	2	1	3	3	3	2	1	3	3	
K7	1	1	0	0,5	0,5	1	x	1	1	1	0,5	0,5	2	2	2	2	3	2	3	1	0	2	2	
K8	0,5	1	0	0	0,5	0,5	0	x	1	0,5	0	4	3	3	2	3	2	3	3	2	3	1	3	
K9	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	x	0	0	1	0	0	3	3	3	3	3	3	2	3	0	
K10	1	1	0,5	0	0	0,5	0	0,5	1	x	0	4,5	1	2	2	2	3	3	3	3	1	3	3	
K11	1	1	0,5	0,5	0,5	0	0,5	1	1	1	x	7	2	2	1	3	0	1	3	1	1	2	3	
													81	81,6	82	66,5	91,5	90,5	87	117	86	82,5	91	99
													100	0,49	0,56	0,40	0,56	0,55	0,53	0,71	0,52	0,60	0,66	0,60



Rys. 5.4.1. Formularz „elektroniczny” metody punktowej wraz z wynikami oceny głównic (rys. 5.4.9) przeprowadzonych przez konstruktorów, w jednym z zakładów wytwarzających siłowniki hydrauliczne

Fig. 5.4.1. “Electronic” form of the point method with results of evaluation of hydraulic glands (fig. 5.4.9) made by designers in a plant of the hydraulic industry

Ogólny model metody ujmuje:

- 1) ocenę kryteriów  $g_n^e; (n=1, nz)$ ,
- 2) ocenę rozwiązań konstrukcyjnych względem układu kryteriów  $z_w^e; (w=1, wz)$ ,

- 3) wybór spośród wariantów rozwiązań konstrukcyjnych tych, które według ekspertów najlepiej spełniają układ kryteriów,
- 4) modyfikację rozwiązań konstrukcyjnych w celu poprawy ocen cząstkowych,
- 5) ponowną ocenę rozwiązań konstrukcyjnych wyróżnionego zbioru typowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Zastosowanie metody uproszczonej do tworzenia typowych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiono w pracach [79, 82]. Prostota metody pozwala na zastosowanie formularzy „elektronicznych”, jak to przedstawiono na rys. 5.4.1.

Aby przeprowadzić modyfikację rozwiązań konstrukcyjnych, niezbędne jest uzgodnienie wyników oceny i rejestracja argumentacji z przeprowadzonych przez ekspertów  $E_e$  ocen cząstkowych. Podstawą modyfikacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych w celu opracowania typowych rozwiązań konstrukcyjnych rodziny konstrukcji są dwa kryteria:

**KT1** - kryterium minimalnej różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych,

**KT2** - kryterium poprawy wartości ocen przez wprowadzanie nowych cząstkowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Na podstawie kryterium **KT1** w rozważanym zbiorze wstępnie typowych rozwiązań konstrukcyjnych podlegają najpierw ujednocnieniu elementy znormalizowane i katalogowe oraz rozwiązania konstrukcyjne połączeń. Przykładowo, w tłokach i dławnicach siłowników hydraulicznych ujednoczono pierścienie uszczelniające, prowadzące i zgarniające (rys. 5.4.7 - 5.4.10). W następnej kolejności ujednoczane są połączenia między elementami w rozwiązaniach konstrukcyjnych oraz między rozwiązaniami konstrukcyjnymi, wyróżniając na podstawie ocen cząstkowych te, które spełniają warunek (5.35). Przykładowo w dławnicach ujednoczono sposób połączenia rury z tuleją dławnicy, wyróżniając połączenie postaciowe na drut, gwintowe wewnętrzne i gwintowe zewnętrzne (rys. 5.4.10). W połączeniach gwintowych ujednoczono również zabezpieczenie złącz gwintowych przed odkręcaniem z zastosowaniem kleju Loctite.

Zgodnie z kryterium **KT2** analizuje się te rozwiązania konstrukcyjne  $wks_w^r; (w = 1, wz)$ , które uzyskiwały maksymalne wartości w ocenach cząstkowych

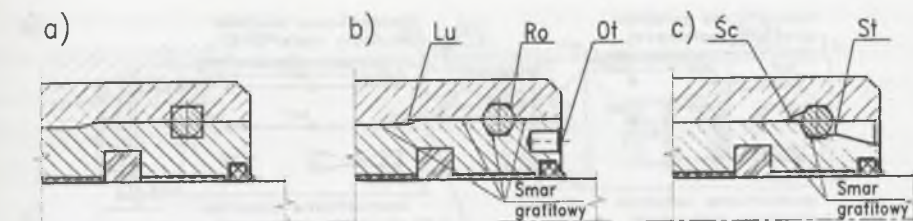
$$u_{n=1,oz}^e (e = 1, ez) \rightarrow \text{Max}, \quad (5.35)$$

gdzie:  $e$  – numer identyfikujący eksperta,

$n$  – numer porządkowy kryterium,

$w$  – numer porządkowy wariantu rozwiązania konstrukcyjnego.

Głównym źródłem informacji do modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych są zarejestrowane informacje o: uszkodzeniach, zawodności działania, uciążliwościach montażu i demontażu (najczęściej skumulowane w zakładach remontowych). To sprzężenie zwrotne w zakresie rodzin konstrukcji jest jeszcze mało wykorzystywanym źródłem informacji. Obecnie częściej prowadzi się kosztowne próby niszczące, badając w sposób eksperymentalny prototypy rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na stopień spełnienia kryterium. Przykładem modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji może być połączenie na drut, powszechnie stosowane w górnictwie, przedstawione na rys. 5.4.2.



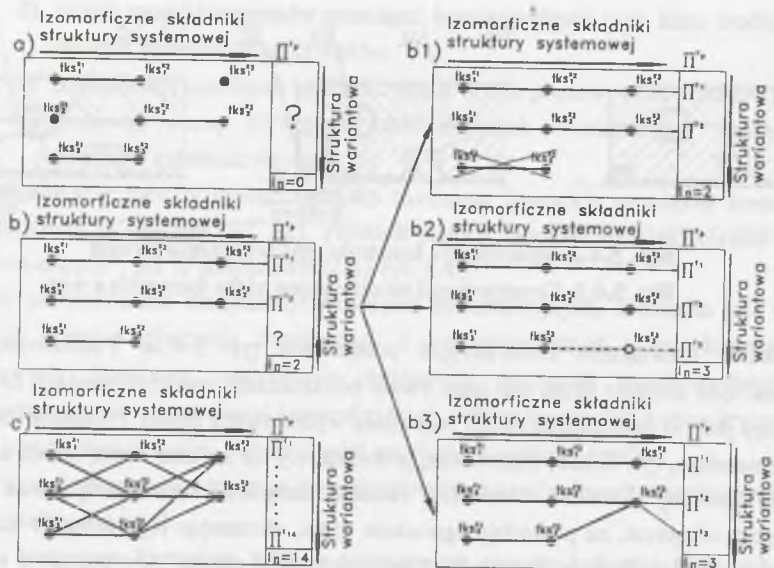
Rys. 5.4.2. Modyfikacja konstrukcyjna połączenia na drut

Fig. 5.4.2. Constructional modifications of the joint with a wire

Początkowe rozwiązanie konstrukcyjne przedstawia rys. 5.4.2a. Podstawową wadą rozwiązania było ścinanie drutu lub jego trwałe odkształcenie uniemożliwiające demontaż. Drut wbijany jest od zewnętrznej strony rury przez wyfrezowane rowki. Przedstawione wady skutecznie usunięto, rys. 5.4.2b, wprowadzając dodatkowy luz  $Lu$  oraz otwór  $Ot$ , co ułatwiało rozruszanie dławnicy w trakcie demontażu. Ponadto zastąpiono kwadratowy rowek na drut rowkiem sześciokątnym, co powoduje zginięcie drutu, eliminując jego ścinanie lub trwałe odkształcenie. Poprawiło to w znacznym stopniu demontaż złącza. Aby poprawić montaż i demontaż złącza podzielono drut na dwie części i zastosowano dodatkowy składnik rozwiązania konstrukcyjnego o nieokreślonej postaci konstrukcyjnej, a mianowicie smar grafitowy. Na skutek konieczności wzmocnienia rury w połączeniu oraz ułatwienia montażu przeprowadzono kolejną modyfikację konstrukcyjną, rys. 5.4.2c. To rozwiązanie konstrukcyjne jest rozwiązaniem tzw. „zatraskowym”, powstającym dzięki zastosowaniu stopnia  $St$  i drutu niezdelonego, odpowiednio wyprofilowanego. Struktura rury nie jest już naruszona wyfrezowanymi rowkami, a ponadto zrezygnowano z pocienienia grubości rury, wprowadzając ścieżkę  $Śc$ , w celu uniknięcia uszkodzenia uszczelnienia tłoka w trakcie montażu. Stosowanie nowych rozwiązań cząstkowych wymaga przeprowadzenia badań eksperymentalnych (np. w rozwiązaniach konstrukcyjnych tłoków nowego typu uszczelnienia [69]).

#### 5.4.2. Relacje sprzężeń między rozwiązaniami konstrukcyjnymi

Zbiory typowych rozwiązań konstrukcyjnych rodziny konstrukcji  $TKs^{r_r}$  ( $r = 1, rz$ ) powinny spełniać kolejne kryterium, **KT3** - maksymalnej liczby sprzężeń między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi. Niekorzystnym wynikiem typizacji mogą być niespójne zbiory typowych rozwiązań konstrukcyjnych, przedstawione przykładowo na rys. 5.4.3a. Widoczny jest tutaj brak sprzężenia między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi  $tk_s_w^r$  ( $r = 1, rz$ ), co uniemożliwia uzyskanie pełnej ich kombinacji w celu tworzenia typowej postaci konstrukcyjnej  $\Pi^p$ . Taki wynik typizacji wymaga korekty wybranych typowych rozwiązań konstrukcyjnych lub modyfikacji rozwiązań konstrukcyjnych.



Rys. 5.4.3. Modele sprzężeń w typowych rozwiązaniach konstrukcyjnych

Fig. 5.4.3. Models of conjugations in typical constructional solutions

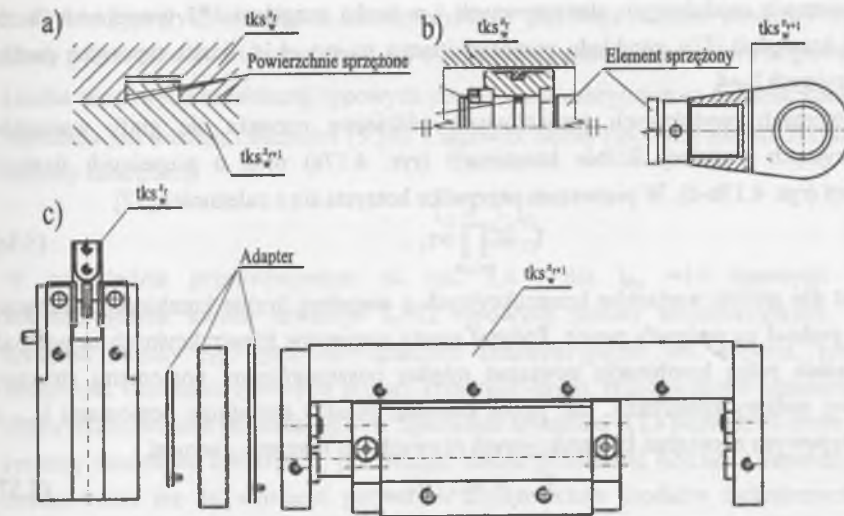
Najczęściej występował wynik typizacji przedstawiony na rys. 5.4.3b. Część typowych rozwiązań konstrukcyjnych spełnia kryterium KT3, które pozwala tworzyć typowe postacie konstrukcyjne  $\Pi^p$ , natomiast w stosunku do pozostałych rozwiązań eksperci wiodący, na podstawie wyników ocen, podejmują decyzję:

- 1) usunięcia rozwiązań konstrukcyjnych ze zbioru typowych rozwiązań konstrukcyjnych zmniejszając liczbę możliwych postaci konstrukcyjnych  $\Pi^p$ , rys. 5.4.3 b1,
- 2) uzupełnienia o sprzężone typowe rozwiązanie konstrukcyjne, rys. 5.4.3 b2,
- 3) modyfikacji sprzężonych typowych rozwiązań konstrukcyjnych, rys. 5.4.3 b3.

Zalecane jest rozwiązanie 2 i 3, pozwalające utworzyć jak najszerszy zbiór typowych postaci konstrukcyjnych. Najkorzystniejszy wynik typizacji to zbiór typowych rozwiązań konstrukcyjnych przedstawiony w postaci grafu wariantów konstrukcyjnych na rys. 5.4.3c. Poprzez zwiększoną liczbę sprzężeń dla  $l_{tks}=8$  typowych rozwiązań konstrukcyjnych możliwe jest uzyskanie  $l_{\Pi}=14$  typowych postaci konstrukcyjnych rodziny konstrukcji  $\Pi^p$  ( $p=1,14$ ).

Weryfikacja, ze względu na możliwość tworzenia kombinacji typowych rozwiązań konstrukcyjnych, jest istotnym zagadnieniem typizacji. Wyróżniono trzy sposoby realizacji sprzężeń między rozwiązaniami konstrukcyjnymi osiągniętymi za pomocą:

- powierzchni kontaktowych,
- elementów sprzężonych,
- adapterów.



Rys. 5.4.4. Sposoby realizacji sprzężeń między rozwiązaniami konstrukcyjnymi  
Fig. 5.4.4. Methods of realization of conjugations between constructional solutions

Przykłady realizacji wyróżnionych grup sprzężeń przedstawiono na rys. 5.4.4. W grupie realizacji sprzężeń poprzez powierzchnie kontaktowe (rys. 5.4.4a) określa się powierzchnie stanowiące wzajemne uzupełnianie się powierzchni współdziałających elementów, np. wałek z otworem, teowy przekrój z rowkiem teowym. Najczęściej spotykana jest realizacja sprzężenia między rozwiązaniami konstrukcyjnymi poprzez element sprzężony (rys. 5.4.4b), który przejmuje cechy współdziałających rozwiązań konstrukcyjnych ( $tks_{w1}^z$ ,  $tks_{w2}^{z+1}$ ). Element sprzężony przeznaczony jest na przejście największej różnorodności cech konstrukcyjnych kosztem uniezależnienia pozostałych elementów kojarzonych rozwiązań konstrukcyjnych. Trzecim sposobem realizacji sprzężenia między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi jest zastosowanie specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych nazywanych „adapterami”, rys. 5.4.4c. Wybór określonych typowych rozwiązań konstrukcyjnych jest związany z wyborem odpowiedniego „adaptera”, umożliwiającego realizację sprzężenia.

Typowe postacie konstrukcyjne są uznawane za różne, gdy różnią się przynajmniej jednym typowym rozwiązaniem konstrukcyjnym. Liczba możliwych typowych postaci konstrukcyjnych  $l_{\Pi}$  określana jest na podstawie liczby typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $w_z$ , odpowiadających  $r$  składnikom struktury systemowej. Kolejność numeracji składników struktury systemowej określa kolejność relacji przekształceń i sprzężeń w systemie przekształcając wejścia w wyjście. Zwroty tych przekształceń zaznaczano na rysunkach opisujących struktury systemowe i wariantowe. Na podstawie wyróżnionych w rozdziale 4.4 rodzajów systemów modułowych określa się następująco liczby możliwych typowych postaci konstrukcyjnych  $l_{\Pi}$ .

W systemach modułowych połączonych typoszeregów liczba typowych postaci konstrukcyjnych  $l_{\Pi}$  jest równa liczbie typoszeregów, (rys.4.15).

W systemach modułowych alternatywnych  $I_{\Pi} = \text{liczba rozgałęzień} \cdot 2$  (pomija się liczbę połączeń krawędzi). Dla przykładu przedstawionego na rys. 4.16 liczba typowych postaci konstrukcyjnych  $I_{\Pi} = 4$ .

W systemach modułowych wariantowych oddzielnie rozważa się grafy wariantów konstrukcyjnych o pełnej liczbie kombinacji (rys. 4.17a) oraz o niepełnych liczbach kombinacji (rys. 4.17b-d). W pierwszym przypadku korzysta się z zależności [17]

$$I_{\Pi} = \prod_{r=1, r_2} w_{z_r} \quad (5.36)$$

Natomiast dla grafów wariantów konstrukcyjnych o niepełnej liczbie kombinacji niezbędny jest jego podział na podgrafy proste. Podgraf prosty wariantów konstrukcyjnych to podgraf, który posiada pełną kombinację powiązań między poszczególnymi poziomami struktury systemowej rodziny konstrukcji, tzn. liczba krawędzi między sąsiednimi poziomami  $I_{r,r+1}$  o liczbach typowych rozwiązań konstrukcyjnych równych  $w_{z_r}$  oraz  $w_{z_{r+1}}$  wynosi

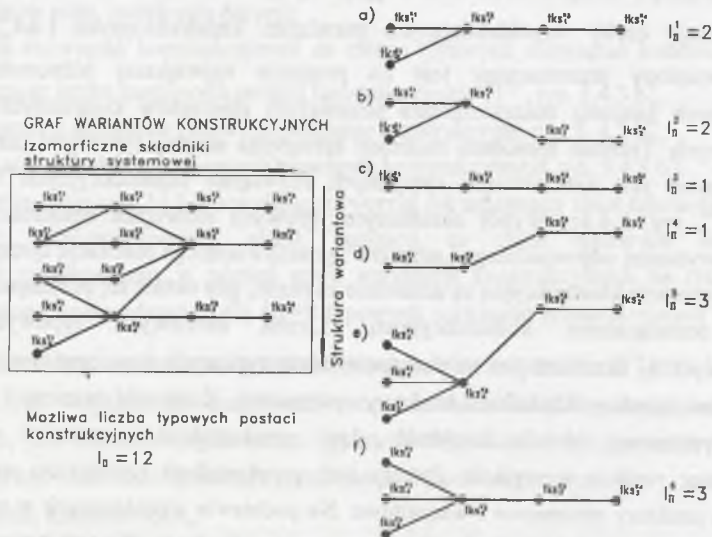
$$I_{r,r+1} = w_{z_r} \cdot w_{z_{r+1}} \quad (5.37)$$

Grafy proste utworzone z grafu wariantów konstrukcyjnych powinny spełniać warunek zupełności oraz niepowtarzalności. Dla każdego podgrafu prostego obliczana jest liczba typowych postaci konstrukcyjnych  $I_{\Pi}^1$  według zależności,

$$I_{\Pi}^1 = \prod_{r=1, r_2} w_{z_r} \quad (5.38)$$

gdzie: 1- kolejny numer podgrafu.

Przykład podziału grafu wariantów konstrukcyjnych na grafy proste przedstawia rys. 5.4.5.

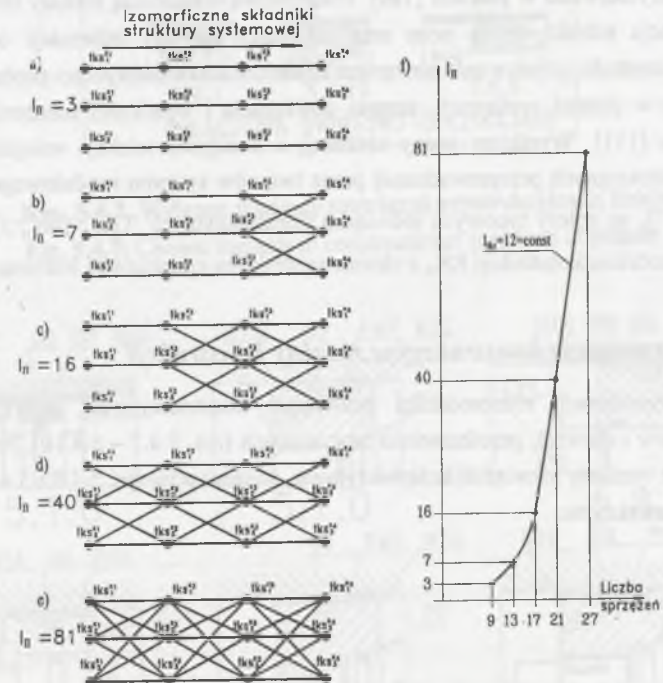


Rys. 5.4.5. Podział grafu wariantów konstrukcyjnych na podgrafy proste  
Fig. 5.4.5. Partition of a constructional variants graph on simple subgraphs

Dobór typowych rozwiązań konstrukcyjnych przebiega wzdłuż struktury systemowej. Grafy proste przedstawiono na rys. 5.4.5 a-f. Spełniają zasadę zupełności i niepowtarzalności. Liczba możliwych kombinacji typowych postaci konstrukcyjnych w rodzinie konstrukcji  $I_{\Pi}^1$  określana jest według zależności (5.38). Całkowita liczba typowych postaci konstrukcyjnych rodziny konstrukcji

$$I_{\Pi} = \sum_{l=1, l_2} I_{\Pi}^1 \quad (5.39)$$

W przykładzie przedstawionym na rys. 5.4.5, dla  $I_{tks} = 15$  typowych rozwiązań konstrukcyjnych można utworzyć  $I_{\Pi} = 12$  typowych postaci konstrukcyjnych. Im liczba sprzężeń między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi jest większa, tym większa możliwość tworzenia typowych postaci konstrukcyjnych, realizowanych ograniczoną liczbą typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Spełnienie kryterium KT3 pozwala tworzyć elastyczne systemy modułowe konstrukcji, poszerzając obszar przestrzeni potrzeb i zapewniając lepsze dostosowanie się do wymagań przyszłych użytkowników środków technicznych. Dlatego celem typizacji w procesie tworzenia systemów modułowych konstrukcji jest wyznaczenie jak największej liczby uniwersalnych sprzężeń między współdziałającymi typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi.



Rys. 5.4.6. Liczba sprzężeń a liczbą typowych postaci konstrukcyjnych dla  $I_{tks} = 12 = \text{const}$   
Fig. 5.4.6. Number of conjugations and the number of typical constructional forms for  $I_{tks} = 12 = \text{const}$

W uzasadnieniu przedstawiono grafy wariantów konstrukcyjnych, rys. 5.4.6a-e, o wzrastających liczbach sprzężeń, przy założeniu stałej liczby typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $l_{ks}=12$ . Wykładniczy wzrost liczby typowych postaci konstrukcyjnych wraz ze wzrostem liczby sprzężeń przedstawiono na rys. 5.4.6f.

W systemach modułowych mieszanych (rys. 4.18) liczba typowych postaci konstrukcyjnych  $l_n$  jest wyznaczana jak w systemach modułowych wariantowych. Traktuje się umownie 0 (brak typowego rozwiązania konstrukcyjnego), jak gdyby występowało typowe rozwiązanie konstrukcyjne.

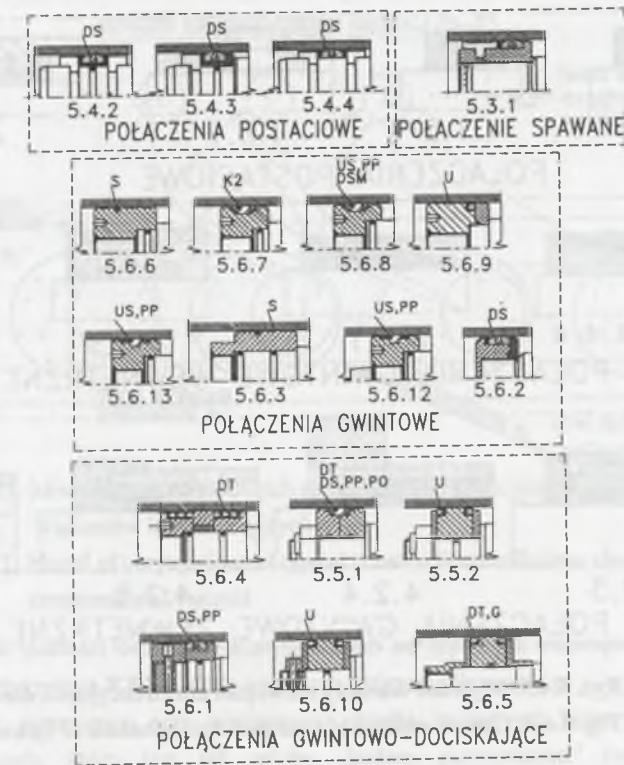
W systemach modułowych otwartych (rys. 4.19) liczba typowych postaci konstrukcyjnych  $l_n$  zależy od liczby iteracyjnych powtórzeń typowych rozwiązań konstrukcyjnych oraz liczby typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Ze względu na zmienność struktury systemowej tak uporządkowanej rodziny konstrukcji trudne jest określenie w sposób ogólny liczby  $l_n$ .

### 5.4.3. Złożona ocena rozwiązań konstrukcyjnych

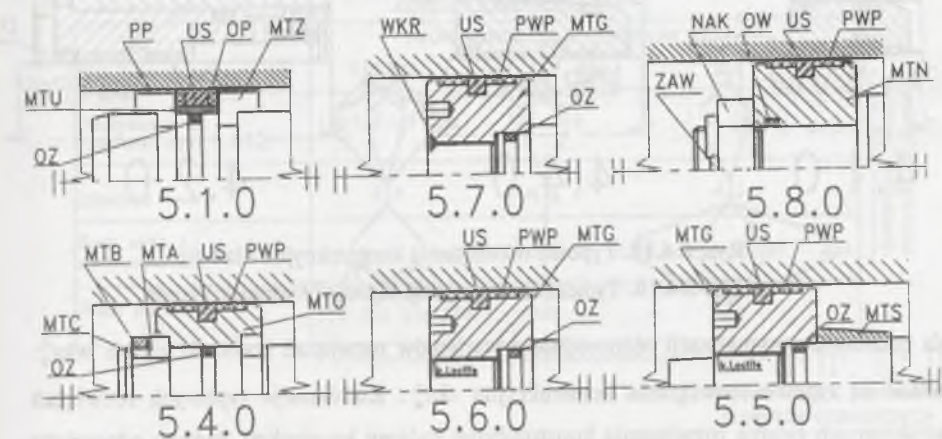
Utworzone zbiory wstępnie typowych rozwiązań konstrukcyjnych (mniej liczne w stosunku do wariantów rozwiązań konstrukcyjnych) poddawane są ocenie końcowej nazywanej *oceną złożoną*. Przebieg tej oceny wraz z przykładami przedstawiono w pracach [111] oraz praktycznie zweryfikowano w pracach [180]. Podstawową własnością metody oceny złożonej jest minimalizacja subiektywnych ocen oraz uzyskanie szerszej informacji o ocenianych rozwiązaniach konstrukcyjnych z zastosowaniem kryteriów deterministyczno-probabilistyczno-lingwistycznych w postaci preferencji, stopnia powiązania i wysokości nałożenia rozwiązań konstrukcyjnych [111]. Wynikiem oceny złożonej, a następnie selekcji wstępnie typowych rozwiązań konstrukcyjnych przeprowadzonej przez twórców systemu modułowego (ekspertów wiodących [111]), są zbiory typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $TKs^z$  ( $\{tks_w^z; (w=1, w_z)\}$ ) odpowiadające rodzinie konstrukcji  $RK_n$  z określoną strukturą systemową i wariantową.

### 5.4.4. Typowe postacie konstrukcyjne rodziny konstrukcji

Wyniki optymalizacji różnorodności rozwiązań konstrukcyjnych, przykładowo dla konstrukcji tłoków i dławnic, przedstawiono na rysunkach (rys. 5.4.7 – 5.4.10). Na rys. 5.4.7 i 5.4.9 - wybrane warianty rozwiązań konstrukcyjnych, natomiast na rys. 5.4.8 i 5.4.10 - typowe rozwiązania konstrukcyjne.



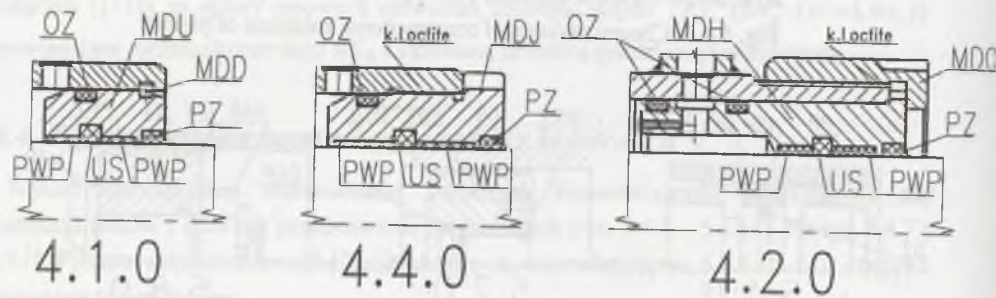
Rys. 5.4.7. Wybrane warianty rozwiązań konstrukcyjnych tłoków  
Fig. 5.4.7. Chosen variants of constructional solutions of pistons



Rys. 5.4.8. Typowe postacie konstrukcyjne tłoków  
Fig. 5.4.8. Typical constructional forms of pistons

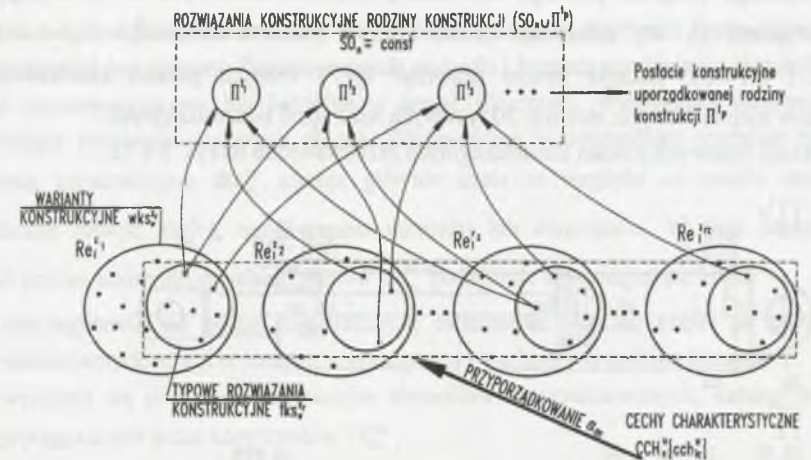


Rys. 5.4.9. Wybrane warianty rozwiązań konstrukcyjnych dławnic  
Fig. 5.4.9. Chosen variants of constructional solutions of hydraulic glands



Rys. 5.4.10. Typowe rozwiązania konstrukcyjne dławnic  
Fig. 5.4.10. Typical constructional forms of hydraulic glands

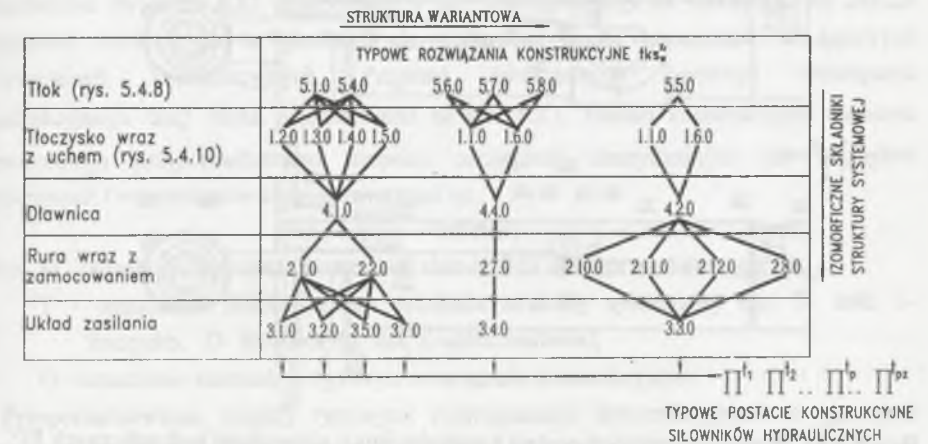
Na podstawie optymalizacji różnorodności wariantów rozwiązań konstrukcyjnych  $wks_w^z$  określone są typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tkw_w^z$ . Kombinacje typowych rozwiązań konstrukcyjnych tworzą rozwiązania konstrukcyjne rodziny konstrukcji, którym odpowiada stały system ogólny ( $SO_n = const$ ) oraz zbiór typowych postaci konstrukcyjnych  $\Pi^{i^b}$ . Model takich przekształceń przedstawiono na rys. 5.4.11.



Rys. 5.4.11. Model sprzężeń typowych rozwiązań konstrukcyjnych wybranych ze zbioru wariantów konstrukcyjnych  
Fig. 5.4.11. Model of conjugations of typical constructional solutions chosen from the set of constructional variants

Zależność wartości cech charakterystycznych od typowych rozwiązań konstrukcyjnych (spełniających kryteria  $KT1 - KT3$ ) wyznacza przyporządkowanie  $\alpha$ .

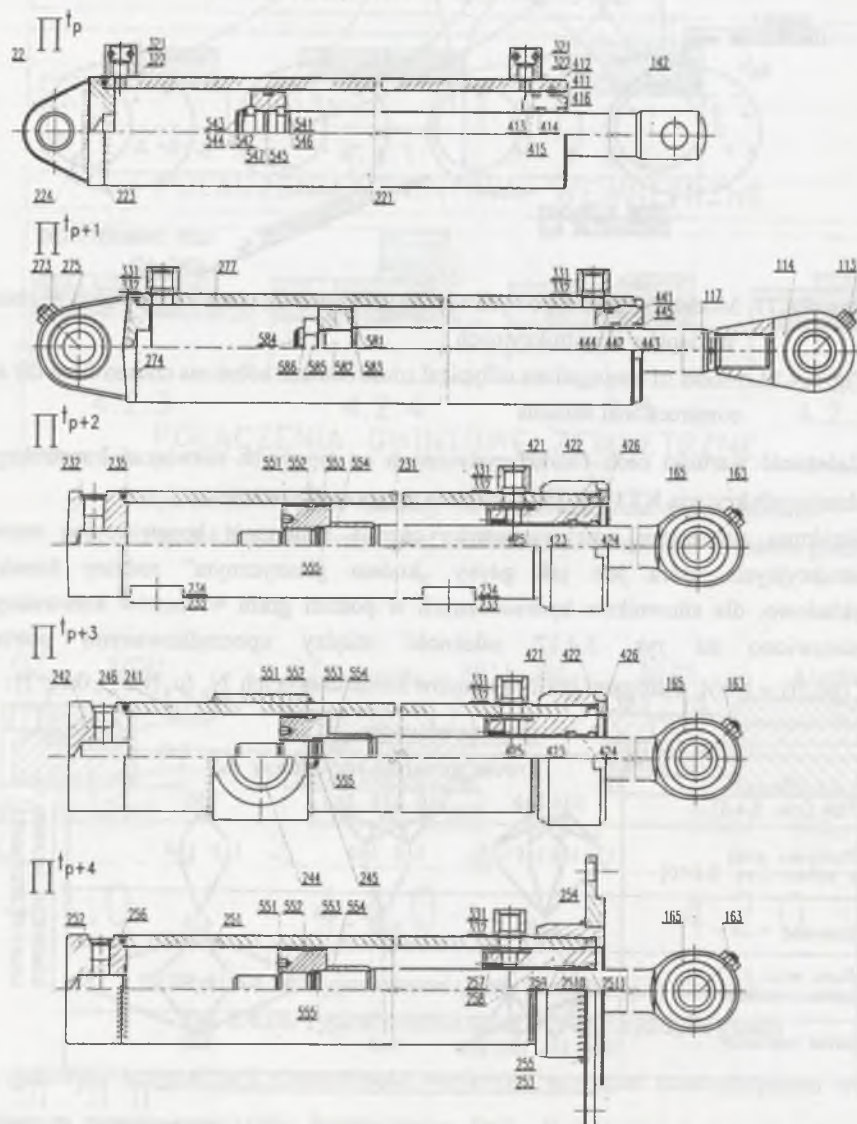
Struktura systemowa oraz wariantowa określa zmienność konstrukcyjną rozwiązań konstrukcyjnych, która jest jak gdyby „kodem genetycznym” rodziny konstrukcji. Przykładowo, dla siłowników hydraulicznych w postaci grafu wariantów konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 5.4.12 zależność między uporządkowanymi potrzebami  $Po_n^u \{po_i; (i = 1, iz)\}$  a drogami grafu wariantów konstrukcyjnych  $N_n \{\mu_i (tkw_w^z, tks_w^z)\}$ .



Rys. 5.4.12. Grafy wariantów konstrukcyjnych siłowników hydraulicznych  
Fig. 5.4.12. Graphs of variants of hydraulic cylinders

Dla każdego podgrafu prostego obliczana jest liczba możliwych kombinacji postaci konstrukcyjnych  $l_n^i$  wg zależności (5.38) ( $l_n^1 = 2 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 4 = 64$ ,  $l_n^2 = 3 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6$ ,  $l_n^3 = 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 1 = 8$ ). Łącznie można utworzyć  $l_n = 78$  różnych postaci konstrukcyjnych siłowników hydraulicznych, stosując 30 typowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Przykłady typowych postaci konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 5.4.13.



Rys. 5.4.13. Przykłady typowych postaci konstrukcyjnych siłowników hydraulicznych  $\Pi^1p$   
Fig. 5.4.13. Examples of typical constructional forms of hydraulic cylinders

## 5.5. Typowe postaci konstrukcyjne elementów

Podstawowym składnikiem struktury środka technicznego w tworzeniu uporządkowanych rodzin konstrukcji jest element. Zgodnie z zasadą podziału i łączenia wyróżnia się elementy jako składniki monotworzywowe lub jednolite w sensie fizycznym, wytwarzane sekwencyjnie, umożliwiające tworzenie większych złożeń. Zdefiniowane w poprzednim rozdziale typowe rozwiązania konstrukcyjne  $tks_w^{zr}$  ujmują głównie zapis ze względu na zasadę działania (izomorficzne relacje  $Re_i^{zr}$ ), ogólny zapis montażu lub demontażu. W celu utworzenia typowych postaci konstrukcyjnych elementów  $\Pi_{rw}^{icj}$  podejmuje się następujące kroki:

- uszczegóławia się postać konstrukcyjną elementów oraz ich części na podstawie elementarnych relacji w strukturze systemowej i wariantowej rodziny konstrukcji,
- wyróżnia się postaci konstrukcyjne elementów znormalizowanych, katalogowych i wytwarzanych przez kooperantów  $\Pi_{rw}^{nek}$ ,
- tworzy się zapisy typowych postaci konstrukcyjnych elementów, które są wytwarzane  $\Pi_{rw}^{icj}$ .

Typowe rozwiązanie konstrukcyjne ujmuje izomorficzną relację struktury systemowej oraz wieloelementową postać konstrukcyjną

$$tks_w^{zr} = Re_i^{zr} \cup \sum_{j=1}^p \Pi_{rw}^{icj}. \quad (5.40)$$

W typowych rozwiązaniach konstrukcyjnych wyróżnia się postaci konstrukcje elementów wytwarzanych ( $\Pi_{rw}^{icj}$ ) oraz postaci konstrukcje elementów dobieranych: katalogowych i znormalizowanych ( $\Pi_{rw}^{nek}$ )

$$tks_w^{zr} \rightarrow \{\Pi_{rw}^{icj}; (j=1, jz_{rw})\} \cup \{\Pi_{rw}^{nek}; (k=1, kz_{rw})\}. \quad (5.41)$$

Podstawowe kryterium KE1 realizowane w tym stadium polega na maksymalnym udziale elementów dobieranych w stosunku do całkowitej liczby elementów w typowych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Przykład dekompozycji typowego rozwiązania konstrukcyjnego  $tks_w^{zr}$  tłoka przedstawiono na rys. 5.5.1. Postaci konstrukcyjnej elementu wytwarzanego przyporządkowano umowne oznaczenie identyfikacyjne (ze względu na operacyjnych i wspomaganie komputerowe), jak np.:

**MTG,**

gdzie: M - określa przynależność konstrukcji elementu do systemu modułowego,

T - oznaczenie izomorficznego składnika struktury systemowej (np. T- tłok, L- tłoczysko, D- dławnica, R- rura, Z-układ zasilania),

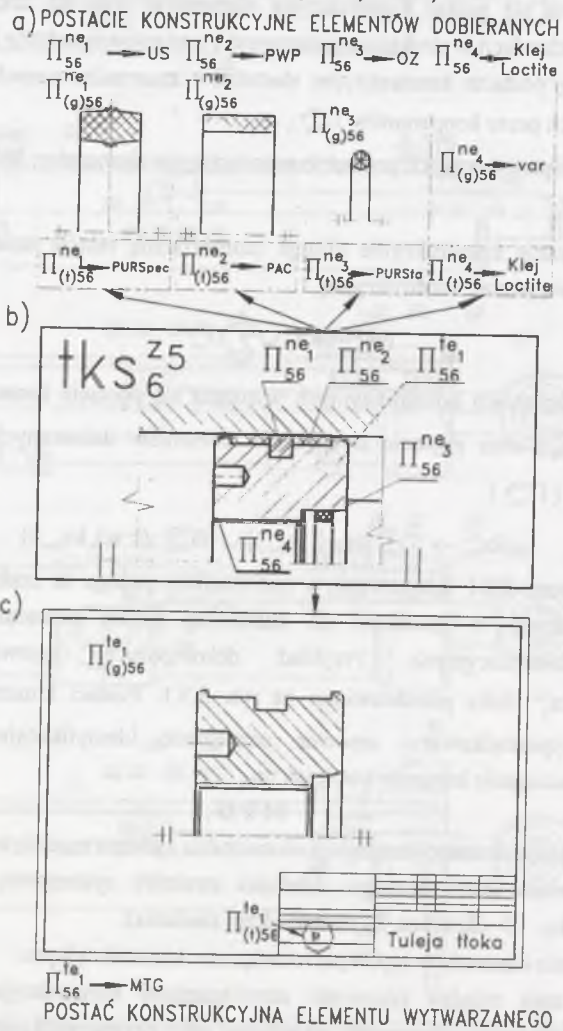
G - oznaczenie elementu w typowym rozwiązaniu konstrukcyjnym.

Przyporządkowanie między typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi a typowymi postaciami konstrukcyjnymi elementów określono jako przyporządkowanie  $\beta$ , opisane w rozdziale 4.3 i 4.4. Praktycznie stosowano dwie formy zapisu przyporządkowania: warunkową *if...then...* oraz grafu  $P(W, U, P)$ .



Zapis z zastosowaniem warunków wyboru jest zalecany przy tworzeniu programów doradczych, współdziałających z programem graficznym. Przykładem takiego zapisu są zależności (rys. 5.4.8):

- jeżeli 5.1.0, to **MTZ, MTU, PP, US, OP, OZ,**
- jeżeli 5.4.0, to **MTO, MTA, MTB, MTC, PWP, US, OZ,**
- jeżeli 5.5.0, to **MTG, MTS, PWP, US, OZ,**
- jeżeli 5.6.0, to **MTG, PWP, US, OZ,**
- jeżeli 5.7.0, to **MTG, PWP, US, OZ, WKR,**
- jeżeli 5.8.0, to **MTN, PWP, US, OW, NAK, ZAW.**

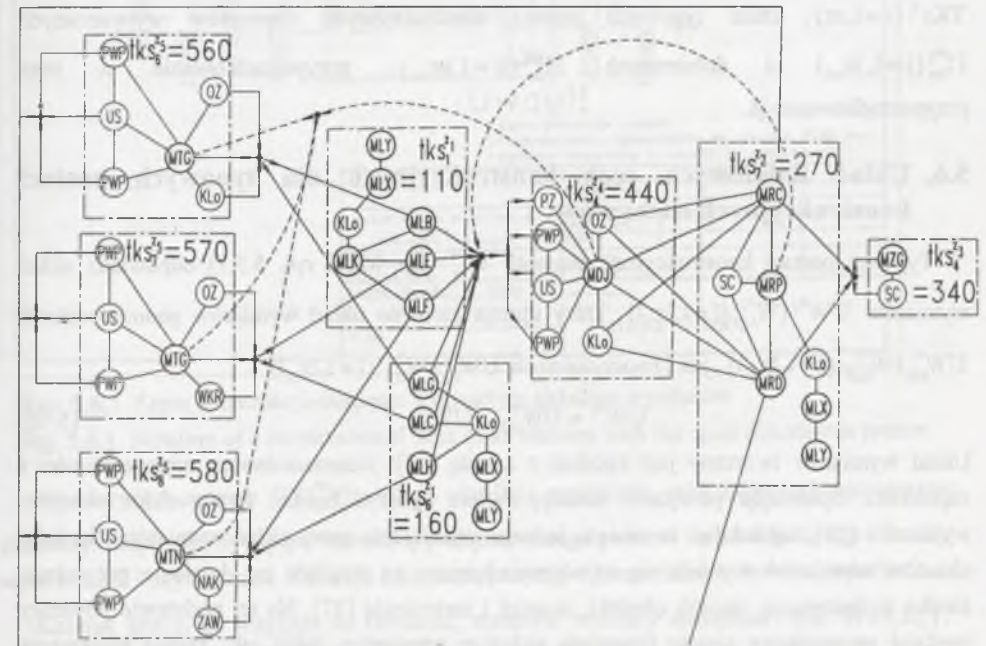


Rys. 5.5.1. Zapis dekompozycji typowego rozwiązania konstrukcyjnego  $tk_s^{z_5}$

Fig. 5.5.1. Notation of decomposition of typical constructional solution  $tk_s^{z_5}$

Zapis w postaci grafu  $P\langle W, U, P \rangle$  ma szczególne znaczenie w procesie tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji. Przyporządkowanie  $\beta$  pozwala przekształcić graf wariantów konstrukcyjnych  $G\langle tks^z \rangle$  w graf relacji sprzężeń  $G\langle \Pi^{ne} \rangle$ , (rys. 5.5.2).

W grafie typowych rozwiązań konstrukcyjnych wprowadza się podgrafy sprzężonych postaci konstrukcyjnych elementów, gdzie ramionom odpowiadają relacje sprzężeń, natomiast węzłom postacie konstrukcyjne elementów. Typowe postacie konstrukcyjne elementów wytwarzanych oznaczono pogrubionym okręgiem, natomiast postacie konstrukcyjne elementów dobieranych okręgiem rysowanym linią cienką.



Rys. 5.5.2. Graf relacji sprzężeń utworzony na podstawie grafu wariantów konstrukcyjnych  
Fig. 5.5.2. Graph of relations created on the base of the constructional variants graph

W celu zmniejszenia liczby krawędzi, a tym samym zwiększenia czytelności grafu, wprowadzono dodatkowe rozgałęzienia. Zwroty w rozgałęzieniach mają ujednoznaczyć realizację sprzężenia. Rozpoczyna się od tych typowych rozwiązań konstrukcyjnych, które odpowiadają głównej izomorficznej relacji sprzężenia lub przekształcenia, czyli w powyższym przykładzie od typowych rozwiązań konstrukcyjnych tłoków. Linią kreskową oznaczono sprzężenie okresowe występujące między elementami ze względu na realizację ruchu. Graf relacji sprzężeń spełnia istotną rolę w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, gdyż stanowi podstawę graficznego zapisu:

- ♦ rodzajów relacji sprzężeń występujących w rodzinie konstrukcji,

- kolejności doboru ilościowych cech konstrukcyjnych elementów rozpoczynając od cech konstrukcyjnych elementów najbardziej zależnych od cech charakterystycznych  $X_i$ ,
- algorytmu doboru ilościowych cech konstrukcyjnych,
- reguł doboru uporządkowanych składników rodziny konstrukcji,
- grafu recyrkulacji.

Wynikiem dotychczasowych konwersji porządkujących są: macierz zunifikowanych wartości cech charakterystycznych  $ch_{ic}^u$ , zbiory typowych rozwiązań konstrukcyjnych  $TKs^r$  ( $r=1, rz$ ), zbiór typowych postaci konstrukcyjnych elementów wytwarzanych  $\Pi_{rw}^{mj}$  ( $j=1, jz_{rw}$ ) i dobieranych  $\Pi_{rw}^{nk}$  ( $k=1, kz_{rw}$ ), przyporządkowanie  $\alpha$  oraz przyporządkowanie  $\beta$ .

### 5.6. Układ ilościowych cech konstrukcyjnych dla typowych postaci konstrukcyjnych elementów

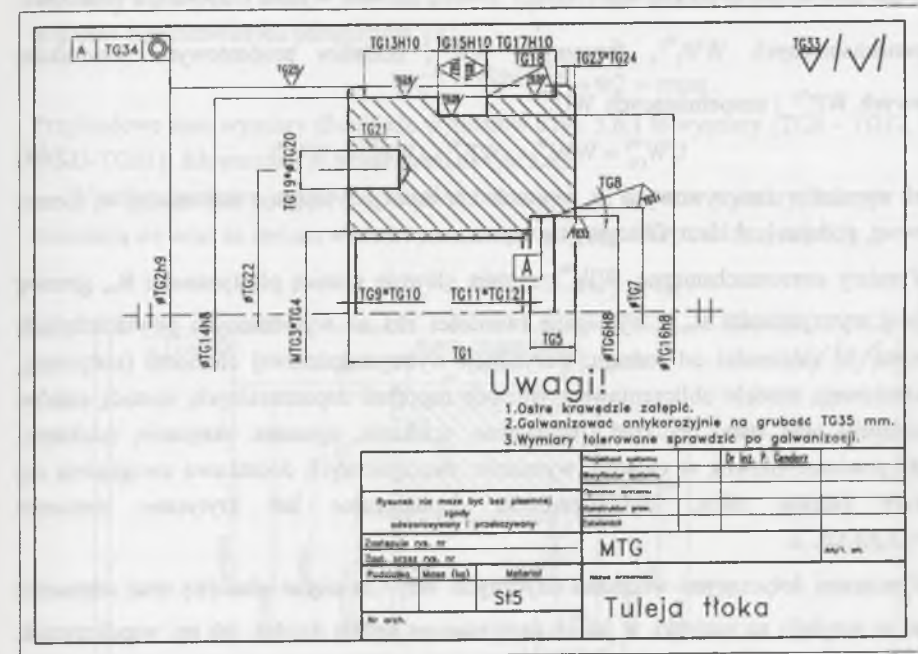
Typowej postaci konstrukcyjnej elementu  $\Pi_{rw}^{mj}$  (np. MTG rys. 5.5.1) odpowiada układ wymiarów  $UW^{c_j}\{W_1^{c_j}; (l=1, lz_j)\}$ , który ujmuje zarówno układ wymiarów geometrycznych  $UW_{(g)}^{c_j}\{W_{(g)}^{c_j}; (l=1, lz_g)\}$ , jak i tworzywowych  $UW_{(t)}^{c_j}\{W_{(t)}^{c_j}; (l=1, lz_t)\}$

$$UW^{c_j} = UW_{(g)}^{c_j} \cup UW_{(t)}^{c_j} \tag{5.42}$$

Układ wymiarów tworzony jest zgodnie z zasadą [27]: jednoznaczności, niesprzeczności i zupełności. Spełniając powyższe zasady, można stworzyć bardzo liczny zbiór układów wymiarów [28], zakładając, że zmiana jednego wymiaru to nowy układ wymiarów. Spośród układów wymiarów wybiera się najodpowiedniejszy ze względu na działanie przyszłego środka technicznego, sposób obróbki, montaż i metrologię [27]. Na tej podstawie powstały bardziej szczegółowe zasady tworzenia układów wymiarów, takie jak: zasada podawania wymiarów gabarytowych, zasada wymiaru bezpośredniego, zasada niezamykania łańcucha wymiarowego, zasada wymiarowania elementów symetrycznych itp. Układ wymiarów spełniający wyżej opisane zasady nazwano typowym układem wymiarów  $UW^{lc_j}\{W_1^{lc_j}; (l=1, lz_j)\}$ .

Przykład zapisu postaci konstrukcyjnej  $\Pi_{rw}^{mj}$  wraz z otwartym układem wymiarów  $UW^{lc_j}\{W_1^{lc_j}; (l=1, lz_j)\}$  dla tulei tłoka MTG siłownika hydraulicznego przedstawiono na rys.

5.6.1. W skład układu wymiarów geometrycznych wchodzi również układ chropowatości powierzchni oraz układ tolerancji kształtu i położenia. W układzie wymiarów geometrycznych  $UW_{(g)}^{lc_j}$ , ze względu na istotność w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, wyróżniono trzy podstawowe grupy wymiarów: wymiary gabarytowe  $WG_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_g$ ), wymiary sprzężone  $WS_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_s$ ) i wymiary dodatkowe  $WD_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_d$ ).



Rys. 5.6.1. Zapis konstrukcji elementu z otwartym układem wymiarów

Fig. 5.6.1. Notation of a constructional form of an element with the open dimensions system

Wymiary gabarytowe  $WG_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_g$ ) określają przestrzeń, jaką zajmują konstruowane elementy. Mają główny wpływ na rodzaj podejmowanego procesu technologicznego i koszty wytwarzania i użytkowania. Zajmują najwyższą pozycję w hierarchii istotności wymiarów.

Kolejną grupę, ze względu na istotność, stanowią wymiary sprzężone  $WS_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_s$ ), gdyż decydują o prawidłowym współdziałaniu elementów między sobą (są to często wymiary o wymaganiach podwyższonych co do tolerancji wykonania). Przykład wymiarów sprzężonych przedstawiono na rys. 5.6.3d. Są istotnymi wymiarami w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, ze względu na możliwość kombinatorycznego sprzężenia między konstrukcjami elementów.

Ostatnią grupę ze względu na istotność w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji stanowią wymiary dodatkowe  $WD_1^{lc_j}$  ( $l=1, lz_d$ ), będące uzupełnieniem układu wymiarów. Dla wyróżnionych grup wymiarów spełniona jest zależność

$$UW_{(g)}^{lc_j} = WG_1^{lc_j} \cup WS_1^{lc_j} \cup WD_1^{lc_j} \tag{5.43}$$

Wymiar sprzężony może należeć do grupy wymiarów gabarytowych, jak również wymiar gabarytowy może należeć do grupy wymiarów sprzężonych. Natomiast wymiar dodatkowy nie może należeć do grupy wymiarów gabarytowych lub sprzężonych. Przykład wyróżnionych grup wymiarów dla tulei tłoka MTG przedstawiono na rys. 5.6.3e.

Układ wymiarów tworzywowych  $UW_{(i)}^{lc_j}$  tworzą głównie wymiary dotyczące własności: stereomechanicznych  $WW_1^{lc_j}$ , fizycznych  $WF_1^{lc_j}$ , udziałów procentowych składników stopowych  $WP_1^{lc_j}$  i uzupełniających  $WU_1^{lc_j}$ ,

$$UW_{(i)}^{lc_j} = WW_1^{lc_j} \cup WF_1^{lc_j} \cup WP_1^{lc_j} \cup WU_1^{lc_j}. \quad (5.44)$$

Układ wymiarów tworzywowych w zapisach konstrukcji występuje najczęściej w formie niejawniej, podając kod identyfikacyjny tworzywa.

Wymiary stereomechaniczne  $WW_1^{lc_j}$  ujmują głównie granicę plastyczności  $R_e$ , granicę doraźnej wytrzymałości  $R_m$  i wymagane twardości HB na wyróżnionych powierzchniach elementu. W zależności od rodzaju: weryfikacji wytrzymałościowej elementu (statycznej, zmęczeniowej), modelu obliczeniowego (metodą naprężeń dopuszczalnych, metodą stanów granicznych) oraz stanu obciążeń (rozciąganie, ściskanie, zginanie, skręcanie, ściskanie, naciski powierzchniowe), w układzie wymiarów tworzywowych dodatkowo uwzględnia się wymiary zależne takie, jak naprężenia dopuszczalne lub krytyczne elementu  $k_o(o=r,c,g,s,t,p\dots)$ .

Wymiarami dotyczącymi własności fizycznych  $WF_1^{lc_j}$  są ciężar właściwy oraz własności istotne ze względu na warunki, w jakich dany element będzie działał, jak np. współczynnik rozszerzalności cieplnej, przewodność cieplna.

Wymiary dotyczące udziałów procentowych składników stopowych (lub związków chemicznych)  $WP_1^{lc_j}$  są wynikiem wiedzy materiałoznawczej, określającej własności tworzyw oraz wpływ składników stopowych i mikrostruktur na własności tworzyw [32]. Wymiary tworzywowe są ujęte w formie tablic w zależności od oznaczenia tworzywa w polskich normach.

Wymiary uzupełniające  $WU_1^{lc_j}$  to własności, jakie powinien spełniać element ze względu na proces wytwarzania, np. temperatura obróbki cieplnej, grubość warstwy galwanicznej, skrawalność, spawalność, hartowność.

Na potrzeby tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji wymiary tworzywowe powinny być zestawione w osobnej tablicy danych tworzywowych dla poszczególnych elementów składowych typowych rozwiązań konstrukcyjnych, rys. 5.6.3 e.

Wymiary należące do układu wymiarów  $UW^{lc_j}$  w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji pogrupowano również ze względu na zmienność ilościowych cech konstrukcyjnych w zależności od wartości parametrów  $pa_u^a$ . Na tej podstawie w układzie wymiarów  $UW^{lc_j} \{w_1^{lc_j} (l=1, lz_j)\}$  wyróżnia się zbiór wymiarów stałych

$WC^{lc_j} \{wc_1^{lc_j} (l=1, lc_j)\}$  oraz zbiór wymiarów zmiennych  $WV^{lc_j} \{wv_1^{lc_j} (l=1, lv_j)\}$

$$UW^{lc_j} = WC^{lc_j} \cup WV^{lc_j}. \quad (5.45)$$

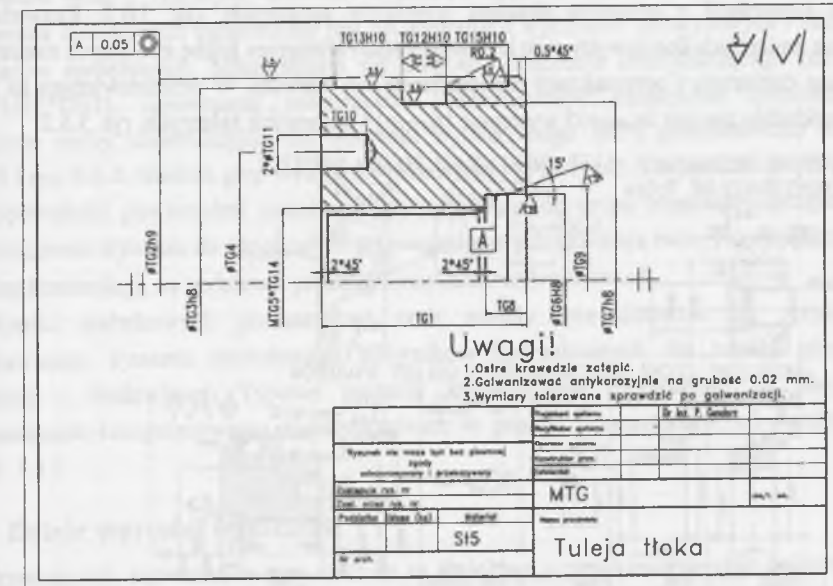
Wymiary stałe są to takie wymiary, których wartości nie ulegają zmianie wraz ze zmianą wartości zunifikowanych parametrów  $pa_u^a$ ,

$$WC_1^{lc_j} \xrightarrow{pa_u^a (l=1, lz_j)=var} w_c^j = const. \quad (5.46)$$

Przykładowe stałe wymiary dla układu wymiarów z rys. 5.6.1 to wymiary {TG8 – TG12, TG19, TG23-TG35}. Ich wartości przedstawiono na rys. 5.6.2.

Wymiary zmienne, nazywane również otwartymi, są to takie wymiary, których wartości zmieniają się wraz ze zmianą wartości parametrów  $pa_u^a$  (np. TG1-TG15, rys. 5.6.2)

$$WV_1^{lc_j} \xrightarrow{pa_u^a (l=1, lz_j)=var} w_v^j = var. \quad (5.47)$$



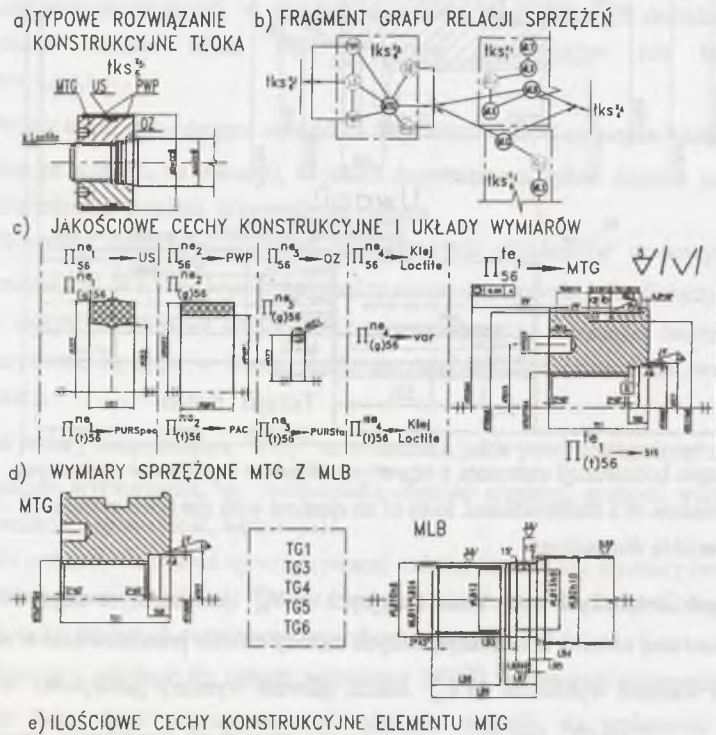
Rys. 5.6.2. Zapis konstrukcji elementu z otwartym układem wymiarów zmiennych

Fig. 5.6.2. Notation of a constructional form of an element with the open system of variable dimensions

Wybór zmiennych ilościowych cech konstrukcyjnych  $WV_m^{lc_j}$  jest istotnym zagadnieniem tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji, których metody doboru przedstawiono w rozdz. 5.7. Do zmiennych wartości wymiarów  $WV_m^{lc_j}$  należą głównie wymiary gabarytowe  $WG_1^{lc_j}$  oraz wymiary sprzężone  $WS_1^{lc_j}$ . Wymiarom zmiennym przypisano oznaczenie literowo-liczbowe, identyfikujące wymiar, gdzie oznaczenie literowe wymiaru nominalnego (np. TG, rys. 5.6.2) związane jest z oznaczeniem postaci konstrukcyjnej elementu (MTG), natomiast oznaczenie liczbowe stanowi numer kolejnego wymiaru. Z wymiarem związane jest oznaczenie rodzaju wymiaru (np. średnicy -  $\phi$ , promienia R, grubości g) oraz oznaczenie tolerancji, które w uporządkowanych rodzinach konstrukcji przyjęto głównie symbolicznie. Oznaczenia liczbowe wymiaru powinny spełniać kryterium: uporządkowania i ciągłości. Ma to

znaczenie w procesie komputerowego wspomaganie wyznaczania ilościowych cech konstrukcyjnych i zapisu konstrukcji, w którym zmienne wartości ujmowane są w postaci tablic. Uporządkowanie oznaczeń liczbowych ustalono według kryterium: pierwsze oznaczenia dotyczą wymiarów gabarytowych {TG1, TG2}, następne wymiarów sprzężonych przy uwzględnieniu sprzężenia postaci konstrukcyjnych części ze współdziałającymi elementami w grafie relacji sprzężeń {(TG3-TG7), (TG8, TG9), (TG10, TG11), (TG12), (TG13-TG15)}, na końcu oznaczenia wymiarów dodatkowych. W przykładzie, rys. 5.6.2, wymiary dodatkowe to wymiary stałe.

Przygotowane zgodnie z przedstawionymi zasadami zapisy konstrukcji elementów są zapisem konstrukcji z otwartym układem wymiarów zmiennych, rys. 5.6.2. Rozważanie wyłącznie zmiennych ilościowych cech konstrukcyjnych zmniejsza liczbę zmiennych zależnych w stadium dobierania i optymalizacji różnorodności ich wartości. W przedstawionym na rys. 5.6.1 przykładzie zamiast  $l_{z_{MTG}}=35$  występuje  $l_{z_{MTG}}=15$  zmiennych zależnych, rys. 5.6.2.



e) ILOŚCIOWE CECHY KONSTRUKCYJNE ELEMENTU MTG

tks <sup>z5</sup>	Grupy wymiarów geometrycznych			tks <sup>z5</sup>	Grupy wymiarów tworzywowych								
	WG <sup>1ej</sup>	WS <sup>1ej</sup>	WD <sup>1ej</sup>		WW <sup>1ej</sup>		WF <sup>1ej</sup>		WP <sup>1ej</sup>		WU <sup>1ej</sup>		
					R <sub>a</sub>	R <sub>m</sub>	p	R	ρ	C	Mn	Si	mm
π <sub>156</sub> <sup>z5</sup> MTG	TG1 TG2	TG3 TG4 TG5 TG6 TG7 2*45° 15° TG8 TG9 TG10 TG11 TG12 R0.2 TG13 TG14 TG15	0,5*45°	π <sub>156</sub> <sup>z5</sup>	MPa	MPa	kg/m	%					
					280	500	77	248	7850	0,28	0,5	0,13	0,02

Rys. 5.6.3. Wyróżnione grupy jakościowych i ilościowych cech konstrukcyjnych

Fig. 5.6.3. Distinguished groups of quality and quantity constructional features

Przykład transformacji typowego rozwiązania konstrukcyjnego, z zastosowaniem grafu relacji sprzężeń dla typowej postaci konstrukcyjnej elementu, układu ilościowych cech konstrukcyjnych, kończąc na utworzeniu wydzielonych grup ilościowych cech konstrukcyjnych wybranego elementu MTG, przedstawiono na rys. 5.6.3. Na rys. 5.6.3a przedstawiono zapis typowego rozwiązania konstrukcyjnego tks<sup>z1</sup>. Element wytwarzany MTG współdziała z elementami dobieranymi US, PWP, OZ oraz elementem MLB rozwiązania konstrukcyjnego tks<sup>z1</sup> i elementem MLG rozwiązania konstrukcyjnego tks<sup>z1</sup>. Fragment grafu relacji sprzężeń przedstawiono na rys. 5.6.3b. Postacie konstrukcyjne elementów wraz z typowymi układami wymiarów ujęto na rys. 5.6.3c. Układ wymiarów elementów dobieranych ograniczony jest do wybranych wymiarów gabarytowych i istotnych wymiarów sprzężonych. Minimalizuje się długość oznaczenia identyfikującego (np. US-US1\*US2\*US3), zapewniając jednocześnie jednoznaczność oznaczenia typowielkości. Ilościowe cechy konstrukcyjne dla elementu wytwarzanego MTG przedstawiono na rys. 5.6.3d i rys. 5.6.2. Siedem grup wymiarów przedstawiono na rys. 5.6.3e; tolerancje położenia i chropowatości powierzchni zostały przyporządkowane do grupy wymiarów sprzężonych. Przynależność wymiaru do określonych grup wymiarowych określają twórcy uporządkowanej rodziny konstrukcji, na podstawie przedstawionych w rozdziale zasad.

Wyniki dodatkowych przekształceń cech zostały zweryfikowane na przykładzie opracowanego systemu modułowego siłowników hydraulicznych dla branży górniczej, hutniczej i budowlanej. Typowe postacie konstrukcyjne elementów, na podstawie wspomaganie komputerowego, zostały zapisane w postaci parametryków lub modeli 3D, rozdz. 5.10.

### 5.7. Dobór wartości wymiarów

Przedmiotem rozważań w tym stadium są ilościowe cechy konstrukcyjne dobierane ze względu na zunifikowane wartości cech charakterystycznych (przyporządkowanie γ),

$$cch_{ic}^u \rightarrow w_{ij}^{zj} (j=1, zj). \quad (5.48)$$

Ze względu na formalizację zapisu wyróżniono ze zbioru głównych ilościowych cech charakterystycznych CCH<sub>c</sub><sup>u</sup> oraz cech charakterystycznych zależnych CCH<sub>c</sub><sup>z</sup>, parametry rodziny konstrukcji Pa<sub>a</sub><sup>u</sup>; (a=1, az), (rozdz. 3.2). Macierz parametrów pa<sub>ia</sub><sup>u</sup> stanowi zmienne niezależne przy wyznaczaniu ilościowych cech konstrukcyjnych elementów

$$x_{ia}^u = pa_{ia}^u. \quad (5.49)$$

Dobór cech konstrukcyjnych elementu dokonywany jest ze względu na potrzebę po<sup>u</sup>, reprezentowaną przez wiersz macierzy parametrów, nazywany **wektorem potrzeb**\*

$\bar{X}_1^u(x_{i1}^u, \dots, x_{ia}^u, \dots, x_{iaz}^u)$ . Ponadto wprowadzono dla wartości parametru określenie **ciąg parametru**

$\bar{X}_a^u(x_{1a}^u, \dots, x_{ia}^u, \dots, x_{iza}^u)$ .

\* Wektor w tym ujęciu rozumiany jest jako forma zapisu wartości uporządkowanych cech.

Koniec wektora potrzeb identyfikowany jest przez punkt w przestrzeni potrzeb, natomiast ciąg parametru określa zmienność wartości parametru. Przykład zapisu zunifikowanych parametrów przedstawiono w tabelicy 5.7.1.

Tabelicy 5.7.1

Fragment macierzy zunifikowanych wartości parametrów

$\bar{X}_a^u$	Średnica tłoka D [mm]	Średnica tłoczyska d [mm]	Ciśnienie nominalne $p_n$ [MPa]	Sila rozpychająca $S_r$ [kN]	Sila ściągająca $S_s$ [kN]	Wysięg dopuszczalny $W_d$ [mm]
$\bar{X}_1^u$	$X_1^u$	$X_2^u$	$X_3^u$	$X_4^u$	$X_5^u$	$X_6^u$
$\bar{X}_1^u$	50.0	25.0	16.0	31.4	23.6	600.0
$\bar{X}_2^u$	60.0	40.0	35.0	98.9	55.0	700.0
$\bar{X}_3^u$	63.0	40.0	32.0	99.7	59.5	700.0
$\bar{X}_4^u$	75.0	40.0	25.0	110.4	79.0	700.0
$\bar{X}_5^u$	80.0	40.0	16.0	80.4	60.3	800.0
$\bar{X}_6^u$	90.0	63.0	30.0	190.8	97.3	1000.0
$\bar{X}_7^u$	100.0	63.0	31.5	247.3	149.1	1500.0
$\bar{X}_8^u$	100.0	80.0	31.5	247.3	89.0	1600.0
$\bar{X}_9^u$	120.0	80.0	31.5	356.1	197.8	1900.0
$\bar{X}_{10}^u$	120.0	100.0	25.0	282.6	86.4	1900.0
$\bar{X}_{11}^u$	125.0	63.0	16.0	196.3	146.4	1500.0
$\bar{X}_{12}^u$	125.0	80.0	31.5	386.4	228.1	1900.0
$\bar{X}_{13}^u$	125.0	100.0	31.5	386.4	139.1	1900.0
$\bar{X}_{14}^u$	135.0	80.0	31.5	450.7	292.4	2300.0
$\bar{X}_{15}^u$	135.0	100.0	25.0	357.7	161.4	2300.0
$\bar{X}_{16}^u$	140.0	80.0	16.0	246.2	165.8	2500.0
$\bar{X}_{17}^u$	140.0	100.0	25.0	384.7	188.4	2300.0

Konstrukcje elementów  $ks_m^{tej}$  ( $j=1, jz$ ), których wzajemne powiązania ujęte są w grafie relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{tej})$  oraz określane na podstawie zunifikowanych wartości parametrów  $x_a^u$ , reprezentowane są przez grupy cech konstrukcyjnych: stałe (lub nieznacznie zróżnicowane [54]) postacie konstrukcyjne elementów  $\Pi_{rw}^{tej}$  ( $j=1, jz$ ) oraz układy wymiarów  $UW^{tej}$ . W układzie wymiarów występują zbiory wymiarów stałych  $WC^{tej}$  i wymiarów zmiennych  $WV^{tej}$ .

$$ks_m^{tej} = (\Pi_{rw}^{tej} \cup WC^{tej})_{const} \cup (WV^{tej})_{var}. \quad (5.50)$$

Na podstawie powyższego warunku, nazywanego *warunkiem kongruencji konstrukcyjnej*, zmienność konstrukcyjna elementów reprezentowana jest przez zbiór wymiarów zmiennych  $WV^{tej} \{wv_m^{tej} (l=1, lv_j)\}$ , których wartości dobierane są ze względu na wektory potrzeb  $\bar{X}_i^u$ . Tak zdefiniowane *konstrukcje kongruentne* określane są przez macierz wartości ilościowych cech konstrukcyjnych elementów (macierz zmiennych zależnych)

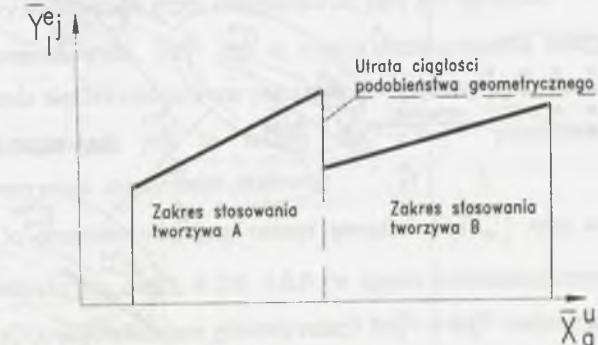
$$y_{ml}^{ej} (m=i, iz; l=1, lv_j) = wv_{ml}^{ej} (m=i, iz; l=1, lv_j). \quad (5.51)$$

Wiersz macierzy  $y_{ml}^{ej}$ , który reprezentuje konstrukcję elementu, nazwano *wektorem konstrukcji* \*  $\bar{Y}_m^{ej} (y_{ml}^{ej}, \dots, y_{mlv_j}^{ej})$ . Natomiast kolumnę macierzy, która określa zmienność wartości cechy konstrukcyjnej  $\bar{Y}_l^{ej} (y_{1l}^{ej}, \dots, y_{mzl}^{ej})$ , nazwano *ciągłem wymiaru*. W uporządkowanej rodzinie konstrukcji  $RK_m^u$  wartości ilościowych cech geometrycznych i tworzywowych podlegają *zasadzie ogólnej gradacji*, która jest następująca: dla wzrastających wartości parametrów  $x_a^u$ , najpierw dokonuje się modyfikacji wymiarów geometrycznych, a w ostateczności w sposób uzasadniony wymiarów tworzywowych.

Zasada ogólnej gradacji została wielokrotnie praktycznie zweryfikowana i wynika z zachowania:

- podobieństwa geometrycznego przez eliminację nieuzasadnionego zróżnicowania,
- stałości procesu technologicznego, dzięki wprowadzeniu seryjności wytwarzania i minimalizacji różnorodności zamawianych: półfabrykatów i dobieranych elementów, racjonalizacji gospodarki magazynowej,
- minimalnych i proporcjonalnie zmieniających się kosztów.

Na rys. 5.7.1 przedstawiono model graficzny utraty ciągłości podobieństwa geometrycznego wymiaru poprzez zmianę własności tworzywa.



Rys. 5.7.1. Model graficzny utraty ciągłości podobieństwa geometrycznego wymiaru poprzez zmianę własności tworzywa

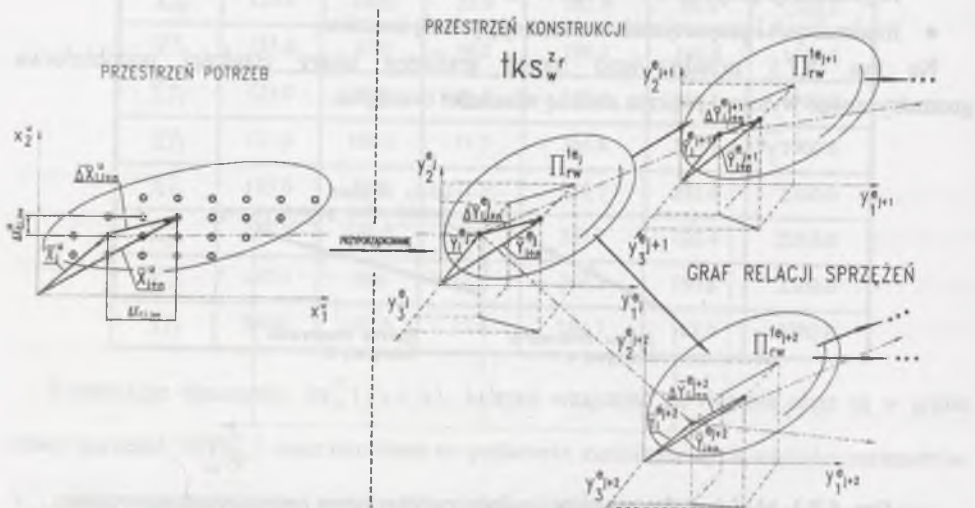
Fig. 5.7.1. Graphic model of losing of continuity of geometrical similarity of a dimension by changing the property of a material

W założonym modelu wartości wymiarów tworzywa A są wyższe aniżeli wartości wymiarów tworzywa B. W uporządkowanych rodzinach konstrukcji, ze względu na zasadę ogólnej gradacji, konstrukcje elementów powinny zachować stałość wartości wymiarów tworzywowych oraz ciągłość wartości wymiarów geometrycznych.

Wynikiem tego stadium jest przyporządkowanie  $\gamma$  określające zależność między macierzą potrzeb  $x_m^u$  a macierzami wartości wymiarów poszczególnych elementów  $y_{mj}^{ej}$  ( $j=1, jz$ ), ujętych w grafie relacji sprzężeń  $G\langle \Pi_{rw}^{tej} \rangle$ ,

$$\begin{bmatrix} po_1^u \\ po_2^u \\ \vdots \\ po_m^u \\ \vdots \\ po_w^u \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} x_{11}^u & x_{12}^u & \dots & x_{1a}^u & \dots & x_{1m}^u \\ x_{21}^u & x_{22}^u & \dots & x_{2a}^u & \dots & x_{2m}^u \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1}^u & x_{i2}^u & \dots & x_{ia}^u & \dots & x_{im}^u \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}^u & x_{m2}^u & \dots & x_{ma}^u & \dots & x_{mm}^u \end{bmatrix} \xrightarrow{\gamma} \begin{bmatrix} y_{11}^{e1} & y_{12}^{e1} & \dots & y_{1j}^{e1} & \dots & y_{1bz}^{e1} \\ y_{21}^{e1} & y_{22}^{e1} & \dots & y_{2j}^{e1} & \dots & y_{2bz}^{e1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1}^{e1} & y_{m2}^{e1} & \dots & y_{mj}^{e1} & \dots & y_{mbz}^{e1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{mz1}^{e1} & y_{mz2}^{e1} & \dots & y_{mzj}^{e1} & \dots & y_{mzbz}^{e1} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} ks_1^{te1} \\ ks_2^{te1} \\ \vdots \\ ks_m^{te1} \\ \vdots \\ ks_{mz}^{te1} \end{bmatrix} \quad (5.52)$$

W procesie doboru ilościowych cech konstrukcyjnych określonej liczbie potrzeb  $po_i^u$ , przyporządkowuje się taką samą liczbę konstrukcji elementów  $ks_m^{te1}$ , ( $i=m$ ). Danymi wejściowymi do wyznaczania wartości wymiarów są: zunifikowane wartości parametrów  $x_{ia}^u$ , zapisy konstrukcji elementów z wymiarami otwartymi  $zks_{rw}^{tej}$ , graf relacji sprzężeń rodziny konstrukcji  $G\langle \Pi_{rw}^{tej} \rangle$ . Model zmienności między wartościami parametrów a ilościowymi cechami konstrukcyjnymi przedstawiono na rys. 5.7.2.



Rys. 5.7.2. Model doboru ilościowych cech konstrukcyjnych  
 Fig. 5.7.2. Model of choosing the quantity constructional features

W przyjętym modelu tworzenia przyporządkowania  $\gamma$  różnym postaciom konstrukcyjnym elementów odpowiadają różne układy współrzędnych ilościowych cech konstrukcyjnych, powiązanych poprzez graf relacji sprzężeń  $G\langle \Pi_{rw}^{tej} \rangle$ . Określonymu wektorowi potrzeb  $\bar{X}_i^u$  przyporządkowane są wektory konstrukcji elementów  $\bar{Y}_j^{ej}$  ( $j=1, jz$ ), które są wektorami w wielowymiarowych przestrzeniach ilościowych cech konstrukcyjnych, odpowiadających liczbie wymiarów zmiennych  $lv_j$ . Zmiana wartości parametrów  $\bar{\Delta X}_{i,i+n}^u$  pociąga za sobą zmianę zmiennych wartości wymiarów w grafie relacji sprzężeń  $\bar{\Delta Y}_{i,i+n}^{ej}$ .

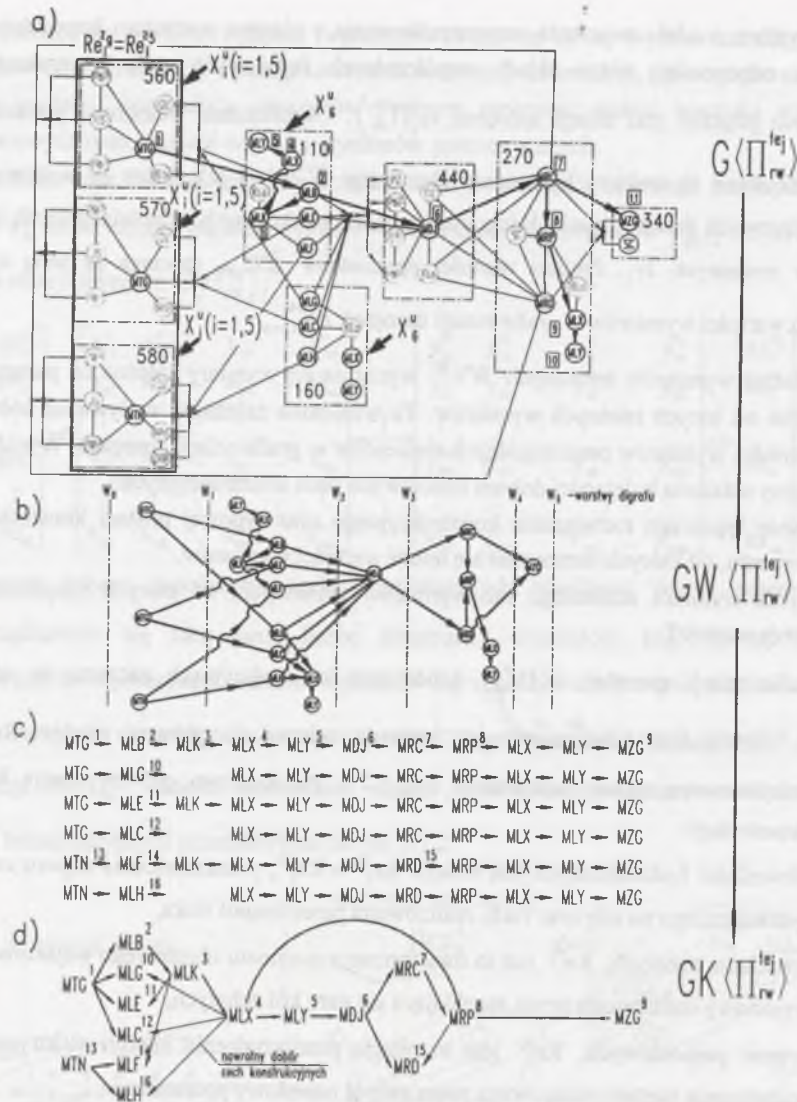
W układzie wymiarów zmiennych  $WV^{tej}$  wyróżnia się wymiary zależne od parametrów oraz zależne od innych istotnych wymiarów. Ta wzajemna zależność wpływa na kolejność doboru wartości wymiarów poszczególnych elementów w grafie relacji sprzężeń. Wyróżniono dwa poziomy ustalenia kolejności doboru ilościowych cech konstrukcyjnych:

- 1) wybór typowego rozwiązania konstrukcyjnego oraz typowej postaci konstrukcyjnej elementu, od których rozpocznie się dobór wartości wymiarów,
- 2) wybór wymiaru zmiennego lub wymiarów zmiennych, od których rozpocznie się dobór wartości.

W grafie relacji sprzężeń  $G\langle \Pi_{rw}^{tej} \rangle$  dobór cech konstrukcyjnych zaczyna się od tego typowego rozwiązania konstrukcyjnego, któremu odpowiada główna relacja  $Re_1^{zs}$  w strukturze systemowej rodziny konstrukcji, rys. 5.7.3. Przykładowo, główną relacją  $Re_1^{zs}$  w rodzinie konstrukcji:

- siłowników hydraulicznych jest relacja  $Re_1^{zs} = Re_1^{05}$ , przekształcenia naporu medium hydraulicznego na siłę oraz ruch, realizowana przez zespół tłoka,
- przekładni zębatach,  $Re_1^{zs}$  jest to transformacja momentu obrotowego wejściowego na wyjściowy realizowana przez zazębiające się pary kół zębatach,
- suwnic pomostowych,  $Re_1^{zs}$  jest to relacja przekształcenia energii elektrycznej na podnoszenie ciężaru realizowana przez zespół napędowy podnoszenia,
- wozów żuźlowych jest to relacja  $Re_1^{zs} = Re_1^{z11}$  pomieszczenia żuźła, realizowana przez zespół kadzi żuźlowej.

Na rys. 5.7.3a przedstawiono *graf relacji sprzężeń*  $G\langle \Pi_{rw}^{tej} \rangle$  oraz zaznaczono typowe rozwiązania konstrukcyjne 5.6.0, 5.7.0, 5.8.0 (w ujęciu metodologicznym oznaczone jako  $tkS_6^{zs}$ ,  $tkS_7^{zs}$ ,  $tkS_8^{zs}$ ), odpowiadające głównej relacji  $Re_1^{zs} = Re_1^{zs}$  rodziny konstrukcji.



Rys. 5.7.3. Model ustalania kolejność doboru ilościowych cech konstrukcyjnych na podstawie grafu relacji sprzężeń

Fig. 5.7.3. Model of determining the sequence of choosing the quantity constructional features basing on the graph of conjugation relations

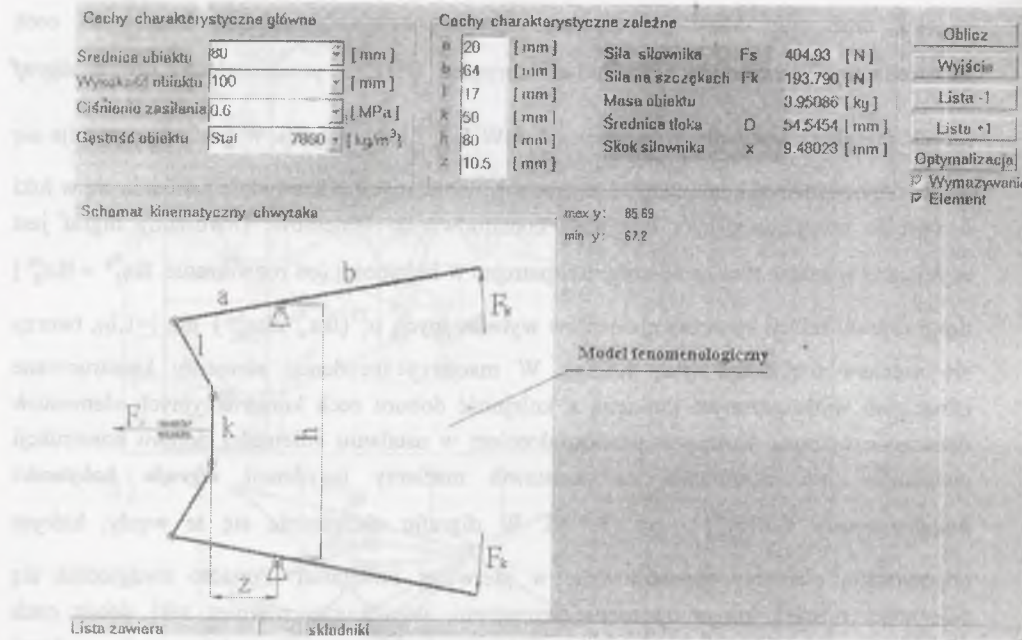
Dobór ilościowych cech konstrukcyjnych dla tych rozwiązań konstrukcyjnych zależny jest od pięciu parametrów. Jest to największa liczba parametrów mająca wpływ na dobór ilościowych cech konstrukcyjnych spośród wszystkich typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Stanowi to dodatkowe kryterium wyboru głównej relacji  $Re_1^{z_5}$ . Drogę grafu dla pierwszego typowego rozwiązania konstrukcyjnego  $tk_6^{z_5}$  (rys. 5.7.3a) zaznaczono za pomocą linii grubej,

strzałek oraz cyfr, które jednocześnie określają kolejność doboru ilościowych cech konstruowanych elementów. Graf relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$  przekształcony jest w **digraf relacji sprzężeń elementów wytwarzanych**  $GW(\Pi_{rw}^{te_j})$  (rys. 5.7.3b). W grafie tym pomija się węzły odpowiadające konstrukcjom elementów dobieranych, a krawędzie zamienia się w łuki o zwrocie uwzględniającym kolejność konstruowania elementów. Utworzony digraf jest acykliczny w sensie tworzenia dróg. Rozpatrując w kolejności (od rozwiązania  $tk_1^{z_p} = tk_6^{z_5}$ ) drogi digrafu relacji sprzężeń elementów wytwarzanych  $\mu_i^{\Pi}(tk_w^{z_p}, tk_w^{z_w})$  dla  $i=1, \Pi$ , tworzy się **macierz incydencji** (rys. 5.7.3c). W macierzy incydencji elementy konstruowane oznaczono wytłuszczonym drukiem, a kolejność doboru cech konstrukcyjnych elementów oznaczono cyframi. Kolejnym przekształceniem w ustalaniu kolejności doboru konstrukcji elementów jest utworzenie na podstawie macierzy incydencji **digrafu kolejności konstruowania**  $GK(\Pi_{rw}^{te_j})$ , rys. 5.7.3d. W digrafie uwzględnia się te węzły, którym odpowiadają elementy skonstruowane w pierwszej kolejności. Ponadto uwzględnia się zależności między konstruowanymi elementami, wyróżniając również taki dobór cech konstrukcyjnych elementów, który jest uwarunkowany już dobranymi cechami konstrukcyjnymi elementów sprzężonych z innego poziomu struktury wariantowej rodziny konstrukcji. Przykładowo, dobór cech konstrukcyjnych dla elementu MLE i MLF uwarunkowany jest wymiarami sprzężonymi już skonstruowanego elementu MLK. Ten sposób doboru cech konstrukcyjnych nazwano **nawrotnym**, co na rys. 5.7.3d oznaczono linią cienką. Kolejność doboru cech konstrukcyjnych elementów oznaczono w digrafie  $GK(\Pi_{rw}^{te_j})$  cyfrą w górnej części oznaczenia elementu. Przedstawiona na rys. 5.7.3 metoda określania kolejności konstruowania elementów pozwala uniknąć błędów i przyspieszyć w znacznym stopniu proces tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji.

Drugi poziom wyboru kolejności doboru ilościowych cech konstrukcyjnych polega na wyborze **istotnych wymiarów rodziny konstrukcji**  $WI_1^{te_j}; (1=1, l_{w_1})$ . Wybór wymiarów istotnych przedstawiono w rozdz. 5.8.2. Są to wymiary należące do zbioru wymiarów zmiennych  $WI_1^{te_j} \in WV_1^{te_j}$ , które bardzo silnie związane są z parametrami rodziny konstrukcji (w niektórych przypadkach nawet tożsamościowo). Przykładem tożsamościowej zależności między wymiarami elementów a parametrami jest wpływ średnicy tłoka  $Pa_1^u$ , na średnicę wewnętrzną rury, zewnętrzną uszczelki, zewnętrzną pierścienia prowadzącego.

Wyróżnionym w strukturze systemowej izomorficznym relacjom przyporządkowuje się modele fenomenologiczne oraz zależności fizyczne, które opisywane są w formie funkcji matematycznych. Funkcje te są podstawą doboru istotnych cech konstrukcyjnych,

$$y_a^{te_j} (1=1, l_{v_a}) = f_p(x_a^u). \quad (5.53)$$



Rys. 5.7.4. Parametry a istotne wymiary rodziny konstrukcji określone na podstawie modelu fenomenologicznego

Fig. 5.7.4. Parameters and essential dimensions of the construction family determined basing on phenomenological model

Zestawienie parametrów i istotnych wartości wymiarów na podstawie modelu fenomenologicznego chwytaka kleszczowego przedstawiono na rys. 5.7.4. Za pomocą utworzonego programu CHWYTSOFT tworzone jest przyporządkowanie  $\gamma$  w rodzinie konstrukcji chwytaka kleszczowego. W pierwszej fazie działania programu wyznacza się wymiary istotne konstrukcji chwytaka dźwigniowego, na podstawie funkcji matematycznych opisujących charakterystyki siłowe i przemieszczeniowe.

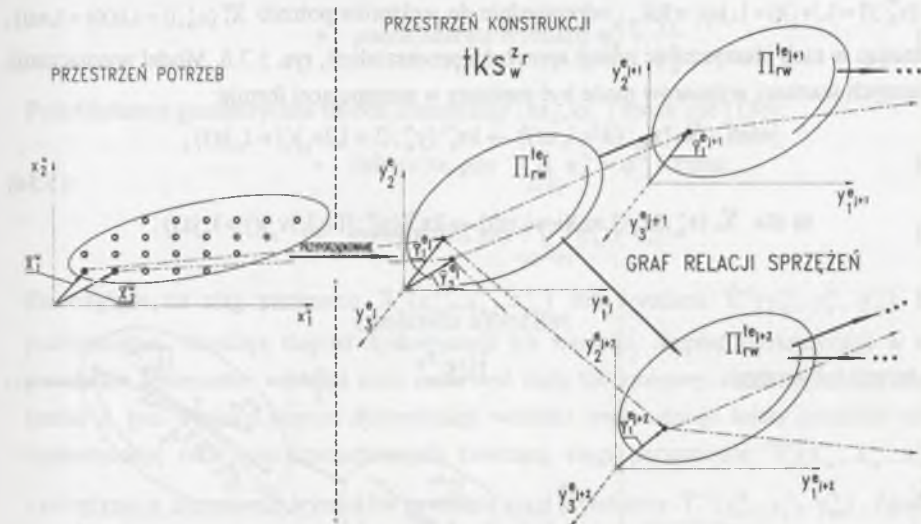
Na podstawie przeprowadzonych badań wyróżniono następujące metody wyznaczania wartości ilościowych cech konstrukcyjnych:

- 1) metoda tradycyjna,
- 2) metoda podobieństwa konstrukcyjnego,
- 3) metoda algorytmiczna.

### 5.7.1. Metoda tradycyjna doboru ilościowych cech konstrukcyjnych

Metoda tradycyjna doboru ilościowych cech konstrukcyjnych polega na podejmowaniu konstruowania dla kolejnych wektorów potrzeb  $\bar{X}_i^u$  w sposób tradycyjny (niealgorytmiczny). Tworzy się w ustalonej kolejności (od  $i=1$  do  $i=iz$ ) wektory konstrukcji poszczególnych elementów  $\bar{Y}_m^{c_j}$  ( $m=i$ ), ( $j=1, jz$ ). Model doboru cech konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 5.7.5. Dla wektora potrzeb  $\bar{X}_i^u$  tradycyjnie dobierane są cechy konstrukcyjne elementów

$\bar{Y}_1^{c_j}$  ( $j=1, jz$ ) należących do grafu relacji sprzężeń, po czym wybiera się następny wektor potrzeb  $\bar{X}_2^u$ , dla którego dobierane są kolejne cechy konstrukcyjne elementów.



Rys. 5.7.5. Model tradycyjnego doboru ilościowych cech konstrukcyjnych

Fig. 5.7.5. Model of traditional determining of quantity constructional features

Proces trwa tak długa, aż dla wszystkich wektorów potrzeb zostają dobrane cechy konstrukcyjne elementów.

### 5.7.2. Metoda podobieństwa konstrukcyjnego

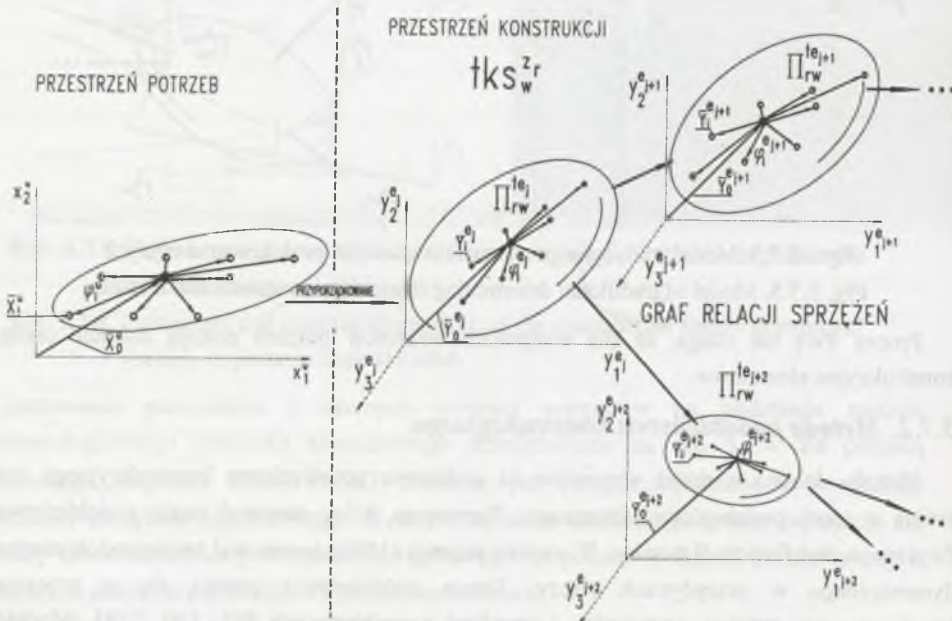
Metoda doboru wartości wymiarów na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego ma źródła w teorii podobieństwa fizycznego. Pierwszym, który stosował teorię podobieństwa fizycznego, był Osborn Reynolds. W swoich pracach (1883) zastosował teorię podobieństwa dynamicznego w przepływach cieczy. Teorię podobieństwa stosuje się w procesie konstruowania: statków, samolotów i urządzeń przepływowych [92, 140, 178]. Modele budowano w odpowiedniej skali, poddawano je badaniom symulując złożone zjawiska fizyczne. Na tej podstawie tworzone nowe rozwiązania konstrukcyjne, np. badając model samolotu wykonanego w odpowiedniej skali, w tunelu aerodynamicznym, modyfikowano geometryczną postać konstrukcyjną kadłuba. Praktyczne zastosowanie podobieństwa konstrukcyjnego w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji (szczególnie typoszeregów konstrukcji) datuje się od 1950 [91, 92] w zakładach wytwórczych. Pierwsze zastosowania dotyczyły takich grup rodzin konstrukcji, jak: silniki spalinowe, turbiny, wentylatory, pompy i obrabiarki [135]. Ponadto zastosowano podobieństwo konstrukcyjne w takich rodzinach konstrukcji, jak: łożyska toczne, łożyska ślizgowe, złącza śrubowe, połączenia postaciowe, sprzęgła, hamulce [91]. Pahl 1974 [135] formułuje zasady konstruowania z zastosowaniem podobieństwa konstrukcyjnego. W procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji z zastosowaniem podobieństwa konstrukcyjnego



modelowi odpowiada: wzorcowa konstrukcja  $ks_0\{y_{0a}^{e_j}; (l=1, lv_j)(j=1, jz)\}$  wraz z wektorem potrzeb  $\bar{X}_0\{x_{0a}; (a=1, az)\}$ . Na ich podstawie tworzy się konstrukcje geometrycznie podobne  $ks_i\{y_{ia}^{e_j}; (l=1, lv_j)(j=1, jz)\} \in RK_n$ , odpowiednio do wektorów potrzeb  $\bar{X}_i\{x_{ia}; (i=1, iz)(a=1, az)\}$ , spełniając w nich identyczność relacji sprzężeń i przekształceń, rys. 5.7.6. Model wyznaczenia zmiennych wartości wymiarów może być zapisany w następującej formie:

$$\text{jeżeli } \bar{X}_0\{x_{0a}; (a=1, az)\} \rightarrow ks_0^{te_j}\{y_{0a}^{e_j}; (l=1, lv_j)(j=1, jz)\}, \quad (5.54)$$

to dla  $\bar{X}_i\{x_{ia}; (a=1, az)(i=1, iz)\} \rightarrow ks_i^{te_j}\{y_{ia}^{e_j}; (l=1, lv_j)(j=1, jz)\}$ .



Rys. 5.7.6. Model doboru ilościowych cech konstrukcyjnych na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego

Fig. 5.7.6. Model of determining of quantity constructional features basing on the constructional similarity

Konstrukcja wzorcowa to konstrukcja praktycznie zweryfikowana, która była już podstawą wytwarzania, a uzyskany wytwór był poddany weryfikacji doświadczalnej. W uporządkowaniu wyprzedzającym rodzin konstrukcji są to prototypowe wytwory poddawane badaniom doświadczalnym. Konstrukcja może być przyjęta jako konstrukcja wzorcowa, gdy odpowiadający jej wytwór najlepiej spełnił kryteria weryfikacji doświadczalnej. Ze względu na dokładność obliczeń wartości  $y_a^e$ , zaleca się przyjmować konstrukcję wzorcową ze środkowego zakresu uporządkowanych wektorów potrzeb  $(\frac{iz}{2})$ .

Zdefiniowano dwie podstawowe liczby podobieństwa:

$$\bullet \text{ podobieństwo parametru } \varphi_a^u = \frac{x_a^u}{x_{0a}}, \quad (5.55)$$

$$\bullet \text{ podobieństwo wymiaru } \varphi_a^{e_j} = \frac{y_{ia}^{e_j}}{y_{0a}^{e_j}}. \quad (5.56)$$

Podobieństwo geometryczne dwóch konstrukcji  $\langle ks_0, ks_i \rangle$  może być [136]:

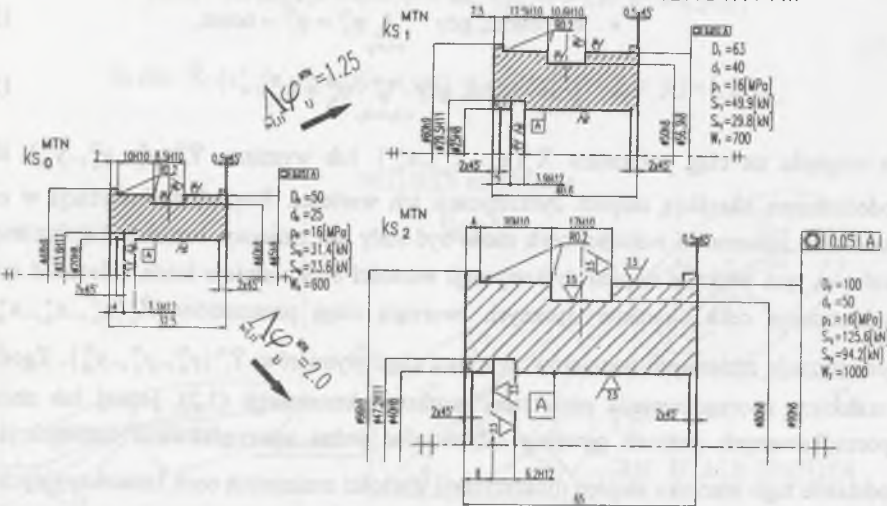
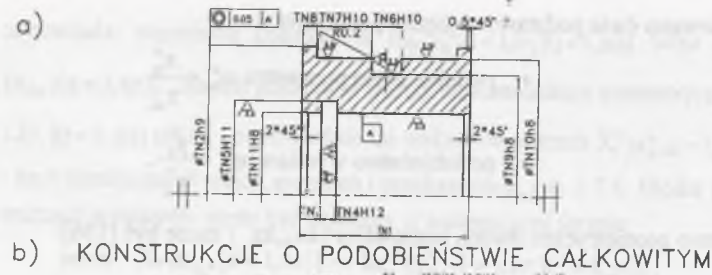
$$\bullet \text{ całkowite, gdy } \bigwedge_{l=1, lv_j} \varphi_{il}^{e_j} = \varphi_l^{e_j} = \text{const}, \quad (5.57)$$

$$\bullet \text{ połowiczne, gdy } \bigvee_{l_1, l_2=1, lv_j} \varphi_{il_1}^{e_j} \neq \varphi_{il_2}^{e_j}. \quad (5.58)$$

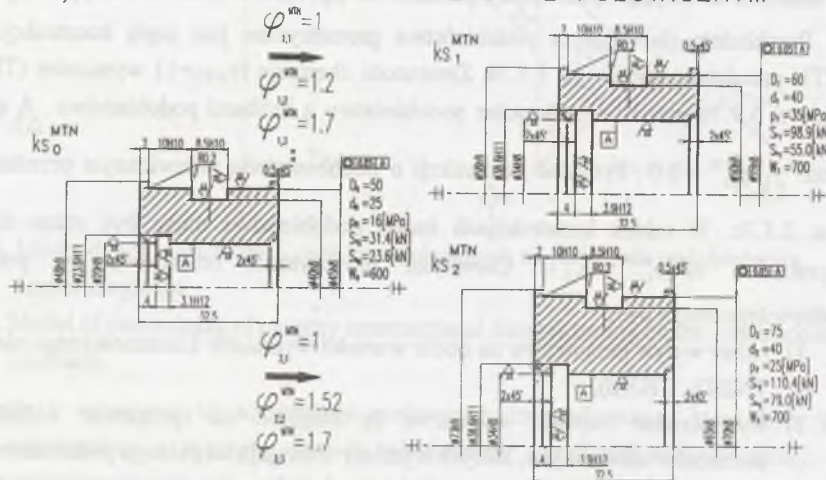
Ze względu na ciąg parametru  $\bar{X}_a^u(x_{ia}^u, \dots, x_{ia}^u, \dots, x_{ia}^u)$  lub wymiaru  $\bar{Y}_i^{e_j}(y_{il}^{e_j}, \dots, y_{il}^{e_j}, \dots, y_{il}^{e_j})$  liczby podobieństwa określają stopień dyskretyzacji ich wartości. Stopień dyskretyzacji w całym przedziale zmienności wartości cech może być stały lub zmienny, rozdz. 5.3.4. Im większa liczba  $\varphi$ , tym większy stopień dyskretyzacji wartości cech. Istnieje ścisła zależność między dyskretyzacją cech charakterystycznych tworzącą ciągi parametrów  $\bar{X}_i^u(x_{ia}^u, \dots, x_{ia}^u, \dots, x_{ia}^u)$  a dyskretyzacją zmiennych wymiarów tworzącą ciągi wymiarów  $\bar{Y}_i^{e_j}(y_{il}^{e_j}, \dots, y_{il}^{e_j}, \dots, y_{il}^{e_j})$ . Zgodnie z warunkiem uporządkowania przestrzeni potrzeb i konstrukcji (3.2), jednej lub zbiorowi uporządkowanych potrzeb powinna odpowiadać jedna uporządkowana konstrukcja. Na podstawie tego warunku stopień dyskretyzacji wartości zmiennych cech konstrukcyjnych  $\varphi_i^{e_j}$ , w stosunku do stopnia dyskretyzacji parametrów  $\varphi_a^u$ , spełnia nierówność,  $\varphi_i^{e_j} \geq \varphi_a^u$ .

Przykładem ilustrującym podobieństwo geometryczne jest zapis konstrukcji elementu MTN przedstawiony na rys. 5.7.7a. Zmiennosc obejmuje  $lv_{MTN}=11$  wymiarów (TN1-TN11). Na rys. 5.7.7b przedstawiono pełne podobieństwo z liczbami podobieństwa  $\bigwedge_{l=1, 11} \varphi_{l, l}^{MTN} = 1.25$  oraz  $\bigwedge_{l=1, 11} \varphi_{l, l}^{MTN} = 2.0$ . Przykład konstrukcji o podobieństwie połowicznym przedstawiono na rys. 5.7.7c. W takich konstrukcjach liczby podobieństwa mogą być różne dla różnych wymiarów, np.  $\varphi_{1, 1}^{MTN} \neq \varphi_{1, 2}^{MTN}$ . Głównymi przyczynami odstępstwa od podobieństwa całkowitego mogą być:

- 1) różny wpływ parametrów na dobór wartości wymiarów konstruowanego elementu, np. TN2(D), TN3(d),
- 2) wyznaczanie wartości wymiarów ze względu na sprzężenie z konstrukcjami elementów dobieranych, których wymiary odbiegają od pełnego podobieństwa,
- 3) wynik unifikacji, w której wartości parametrów w zakresie wartości granicznych posiadają zmienne liczby podobieństwa, szczególnie ze względu na spełnianie kryteriów KU3, KU5 i KU6,



c) KONSTRUKCJE O PODOBIENSTWIE POŁOWICZNYM



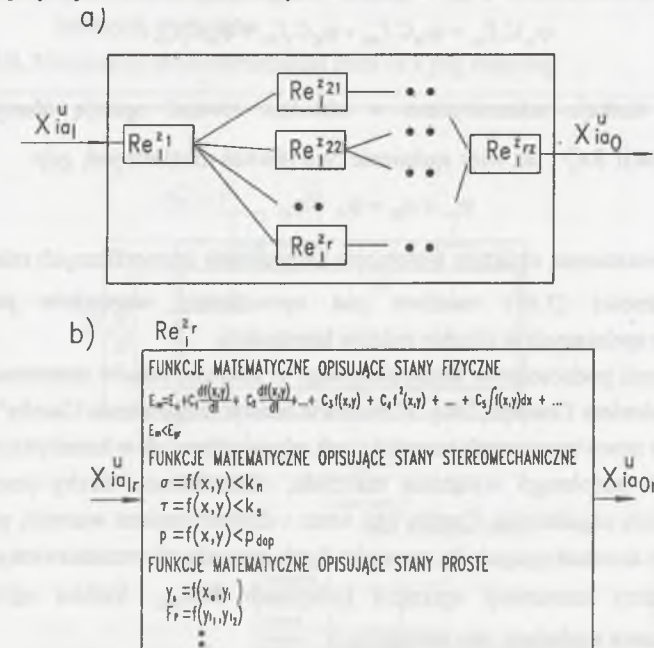
Rys. 5.7.7. Konstrukcje odpowiadające postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{MTN}$  o podobieństwie całkowitym i połowicznym

Fig. 5.7.7. Constructions corresponding to the constructional form  $\Pi^{MTN}$  with the whole and half similarity

- 4) niespełnianie warunku podobieństwa konstrukcyjnego (opisanego w dalszej części rozdziału),
- 5) dobór cech konstrukcyjnych elementu, wprowadzający zmienność tworzywowych cech konstrukcyjnych, rys. 5.7.1,
- 6) modyfikacji wartości cech ze względu na np. kryteria estetyczne, ergonomiczne,
- 7) nawrotny dobór cech konstrukcyjnych, rys. 5.7.3d.

Tworząc uporządkowane rodziny konstrukcji, tak dobiera się cechy konstrukcyjne, aby spełnić wszystkie relacje, jakie są spełnione w konstrukcji wzorcowej, a ich wartości dostosowuje się do szeregów liczb normalnych. Aby spełnić wyżej przedstawione wymagania, korzysta się z *teorii podobieństwa konstrukcyjnego*.

W teorii podobieństwa konstrukcyjnego dąży się do takiego doboru cech konstrukcyjnych, aby uzyskać takie relacje sprzężenia i przekształcenia w nowej konstrukcji, jak w konstrukcji wzorcowej, tworząc przy tym optymalnie zróżnicowane zbiory konstrukcji. Relacje mogą być reprezentowane przez funkcje matematyczne, których ogólny model przedstawiono na rys. 5.7.8. Na rys. 5.7.8a przedstawiono zapis blokowy systemu, gdzie każdej relacji  $Re_i^{zr}$  przypisany jest zbiór funkcji matematycznych (rys. 5.7.8b) opisujący: stany zjawisk fizycznych [152], stany stereomechaniczne (naprężenia kryterialne) oraz inne stany proste (np. warunki sprzężenia między wymiarami współdziałających elementów, geometryczne zależności między wymiarami elementów).



Rys. 5.7.8. Matematyczny opis stanów przyszłego środka technicznego  
Fig. 5.7.8. Mathematical description of states of the future technical means

Teoria podobieństwa konstrukcyjnego może być podstawą doboru cech konstrukcyjnych spełniając wyżej opisane stany odpowiadające konstrukcji wzorcowej. Niech konstrukcji wzorcowej odpowiada ogólna funkcja matematyczna,

$$C_0 f_{0A} = C_1 f_{0B} + C_2 f_{0C} + C_3 f_{0D}, \quad (5.59)$$

gdzie:  $\bigwedge_{I=A,B,C,D} f_{0I} \rightarrow f(y_{0j}^{aj}, x_{0a}^u); j \in 1, jz; l \in 1, lv_j; a \in 1, az,$

$C_0, C_1, C_2, C_3$  – stałe wartości funkcji.

Ogólna postać funkcji matematycznej odpowiadająca tworzonej konstrukcji,

$$C_0 f_{iA} = C_1 f_{iB} + C_2 f_{iC} + C_3 f_{iD}, \quad (5.60)$$

gdzie:  $\bigwedge_{I=A,B,C,D} f_{iI} \rightarrow f(y_{ij}^{cj}, x_{ia}^u); j \in 1, jz; l \in 1, lv_j; a \in 1, az.$

Na podstawie miar podobieństwa,

$$\varphi_{iA} = \frac{|f_{iA}|}{|f_{0A}|}, \varphi_{iB} = \frac{|f_{iB}|}{|f_{0B}|}, \varphi_{iC} = \frac{|f_{iC}|}{|f_{0C}|}, \varphi_{iD} = \frac{|f_{iD}|}{|f_{0D}|}, \quad (5.61)$$

gdzie:  $|f_{0I}|, |f_{iI}|$  - wartości funkcji.

Opisane funkcje matematyczne (5.59) i (5.60) wraz z zależnościami (5.61) tworzą układ równań,

$$C_0 f_{0A} = C_1 f_{0B} + C_2 f_{0C} + C_3 f_{0D},$$

$$\varphi_{iA} C_0 f_{0A} = \varphi_{iB} C_1 f_{0B} + \varphi_{iC} C_2 f_{0C} + \varphi_{iD} C_3 f_{0D}.$$

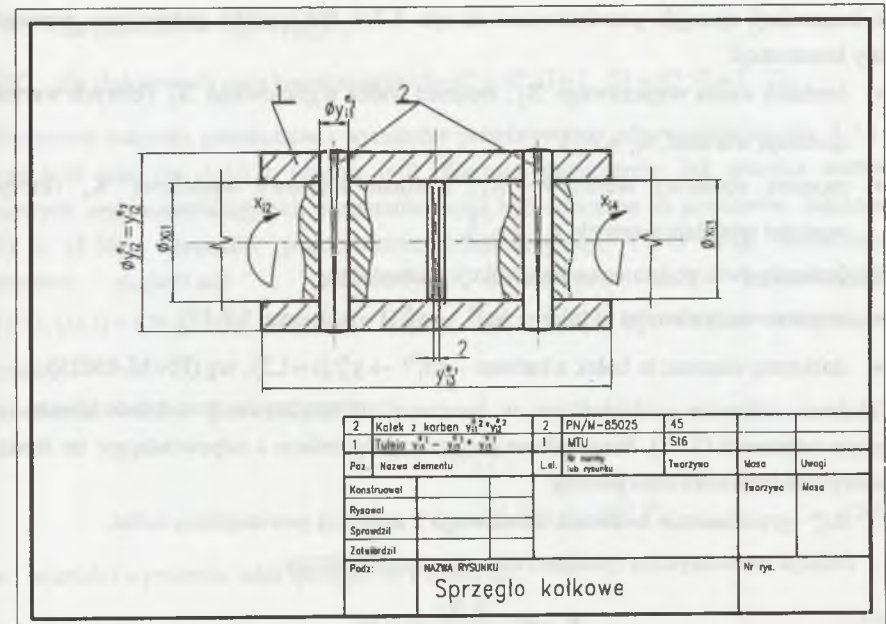
Ponieważ obie funkcje matematyczne w układzie równań opisują identyczne stany izomorficznej relacji  $Re_1^{2r}$ , tak więc spełnienie tych równań możliwe jest, gdy:

$$\varphi_{iA} = \varphi_{iB} = \varphi_{iC} = \varphi_{iD}. \quad (5.62)$$

Ze względu na niezmienną strukturę systemową na poziomie izomorficznych relacji  $Re_1^{2r}$  na podstawie zależności (5.62) możliwe jest opracowanie **warunków podobieństwa konstrukcyjnego** spełnianych w obrębie rodziny konstrukcji.

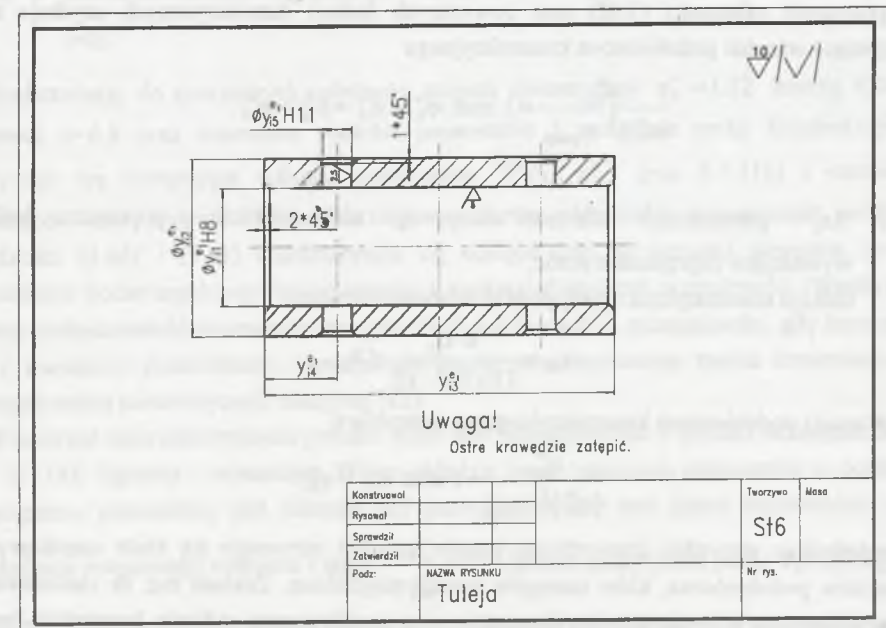
Spełnianie teorii podobieństwa konstrukcyjnego w zakresie stanów stereomechanicznych nazwano **zagadnieniem Cauchy** [136]. W budowie maszyn zagadnienie Cauchy'ego zmierza do zachowania w nowo tworzonych konstrukcjach odpowiednio jak w konstrukcji wzorcowej, identycznego lub podobnego wyężenia materiału, odkształcenia, liczby bezpieczeństwa. Przykład spełnienia zagadnienia Cauchy'ego wraz z dostosowaniem wartości parametrów i ilościowych cech konstrukcyjnych do szeregów liczb normalnych przedstawiony zostanie na przykładzie rodziny konstrukcji sprzęgieł kółkowych  $RK_{SK}$ . System ogólny rodziny konstrukcji, zapisany werbalnie, jest następujący:

„połączenie wałków i przeniesienie momentu obrotowego wejściowego na wałek wyjściowy z zastosowaniem połączenia kółkowego”.



Rys. 5.7.9. Zapis konstrukcji sprzęgła kółkowego wraz z oznaczeniem parametrów i istotnych wymiarów

Fig. 5.7.9. Notation of the constructional form of a peg coupling



Rys. 5.7.10. Zapis konstrukcji tulei z otwartym układem wymiarów zmiennych

Fig. 5.7.10. Notation of the constructional form of a sleeve with an open system of dimensions

Zapis konstrukcji sprzęgła przedstawiono na rys. 5.7.9. Na rysunku zaznaczono parametry rodziny konstrukcji:

- średnica wałka wejściowego  $X_1$ , średnica wałka wyjściowego  $X_3$  (których wartości spełniają warunek  $x_{11} = x_{13}$ ),
- moment obrotowy wejściowy  $X_2$ , moment obrotowy wyjściowy  $X_4$  (których wartości spełniają warunek  $x_{12} = x_{14}$ ).

Wyróżnia się dwie podstawowe konstrukcje elementów:

- konstruowany element to tuleja -  $ks_1^{te_1} \rightarrow y_{11}^{e_1} (l=1,5)$ , (rys. 5.7.10),
- dobierany element to kołek z karbem -  $ks_1^{te_2} \rightarrow y_{11}^{e_2} (l=1,2)$ , wg (PN/M-85025).

Założono całkowite podobieństwo w tworzonej uporządkowanej rodzinie konstrukcji, spełniając zależność (5.57). Przykładowe pierwsze dwie relacje i odpowiadające im funkcje matematyczne przedstawiono poniżej:

1.  $Re_1^{e_1}$  - przeniesienie momentu obrotowego z wałka na powierzchnię kołka, funkcja matematyczna opisująca stan stereomechaniczny,

$$P_{w2} = \frac{6 \cdot x_{12}}{(y_{11}^{e_1})^2 \cdot y_{11}^{e_2}} \leq P_{dop},$$

funkcja matematyczna opisująca stany proste

$$x_{11} = y_{11}^{e_1}; y_{11}^{e_2} = y_{15}^{e_1}.$$

Na podstawie zależności (5.62) oraz powyższych funkcji matematycznych uzyskuje się następujące warunki podobieństwa konstrukcyjnego

$$\frac{\varphi_{12}^u}{(\varphi_{11}^{e_1})^3 \cdot \varphi_{pdop}} = 1 \text{ oraz } \varphi_{11}^u = \varphi_{11}^{e_1} = \varphi_{11}^{e_2} = \varphi_{15}^{e_1}.$$

2.  $Re_1^{e_2}$  - przeniesienie momentu obrotowego na powierzchnię poprzeczną kołka wywołujące naprężenia styczne, funkcja matematyczna opisująca stan stereomechaniczny

$$\tau_{21} = \frac{4 \cdot x_{12}}{\Pi(y_{11}^{e_2})^2 \cdot y_{11}^{e_1}} \leq k_{tj}.$$

Warunki podobieństwa konstrukcyjnego są następujące

$$\frac{\varphi_{12}^u}{(\varphi_{11}^{e_2})^3 \cdot \varphi_{ktj}} = 1 \text{ oraz } \varphi_{11}^{e_2} = \varphi_{11}^{e_1}.$$

Uwzględniając wszystkie izomorficzne relacje sprzężeń otrzymuje się zbiór cząstkowych warunków podobieństwa, które następnie zostają uogólnione. Zakłada się, że zastosowane tworzywowe cechy konstrukcyjne elementów w uporządkowanej rodzinie konstrukcji będą identyczne ( $\varphi_{pdop} = \varphi_{ktj} = 1$ ). Uogólnione warunki podobieństwa konstrukcyjnego rodziny konstrukcji są następujące:

**W1** - dla parametrów  $\varphi_{12}^u = (\varphi_{11}^u)^3$ ,

**W2** - dla ilościowych cech konstrukcyjnych  $\varphi_{11}^u = \varphi_{11}^{e_1}; (l=1, 5) = \varphi_{11}^{e_2}; (l=1, 2)$ .

Wzorcowe wartości parametrów i wymiarów przedstawiono odpowiednio na rys. 5.7.11b (wiersz  $i=0$ ) oraz rys. 5.7.12b (wiersz  $i=0$ ). Wartości parametrów, jak również wartości ilościowych cech konstrukcyjnych elementów mogą być obliczane na podstawie: zależności (5.55) i (5.56), warunków podobieństwa konstrukcyjnego (W1, W2), wzorcowych parametrów  $x_{0a}(a=1,az)$  i wzorcowych ilościowych cech konstrukcyjnych  $y_{0j}^{e_i}; (j=1,jz), (l=1,lv_i)$ , dla przyjętego stopnia dyskretyzacji  $\varphi_{11}^u$ , według następujących zależności:

- zunifikowane wartości parametrów:

$$x_{11} = x_{01} \cdot (\varphi_{11}^u)^i,$$

$$x_{12} = x_{02} \cdot (\varphi_{11}^u)^i = x_{02} \cdot (\varphi_{11}^u)^{3i}, \quad (5.63)$$

- wartości wymiarów tulei sprzęgła  $te_1$  i kołka  $te_2$ :

$$y_{11}^{e_1} = y_{01}^{e_1} \cdot (\varphi_{11}^u)^i; (l=1,lv_1), \quad (5.64)$$

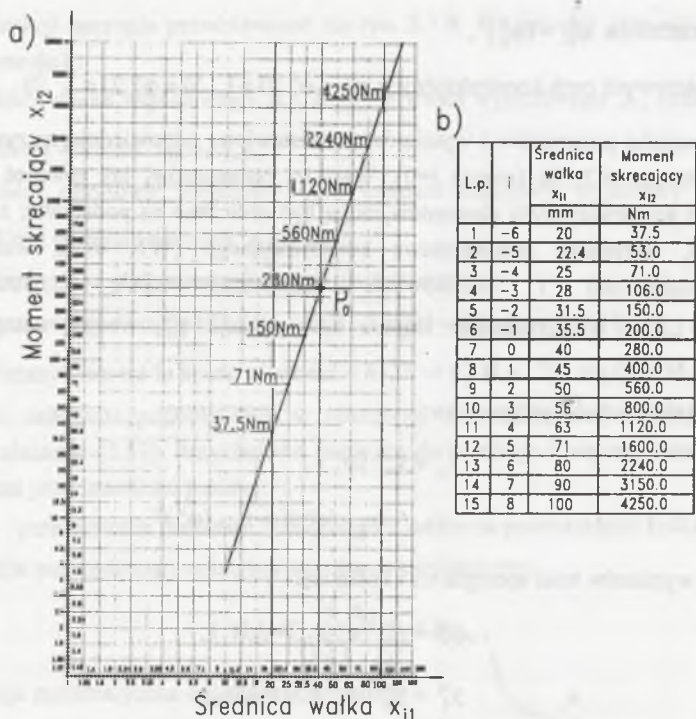
$$y_{11}^{e_2} = y_{01}^{e_2} \cdot (\varphi_{11}^u)^i; (l=1,lv_2). \quad (5.65)$$

gdzie:  $i$  - numer konstrukcji względem konstrukcji wzorcowej (dla konstrukcji wzorcowej  $i=0$ ).

Podstawiając do powyższych zależności stopień dyskretyzacji  $\varphi_{11}^u = 1.12$  (szereg R20), wartości  $i=-6,8$  oraz wzorcowe wartości parametrów i wzorcowe cechy konstrukcyjne otrzymuje się następujące wartości parametrów  $\bar{X}_1^u(x_{11}^u, x_{12}^u)$  (rys. 5.7.11b) i wartości wymiarów tulei (rys. 5.7.12b). Wartości wymiarów elementów wyznaczone według zależności (5.64) i (5.65) charakteryzują się odstępstwem od wartości szeregów liczb normalnych podawanych wg PN (co wynika z zaokrągleń do liczb normalnych). Określa to pewną niedoskonałość stosowania szeregów liczb normalnych w szczególności, gdy korzysta się z warunków podobieństwa konstrukcyjnego do parametrycznego zapisu konstrukcji z zastosowaniem parametryzacji relacyjnej [82].

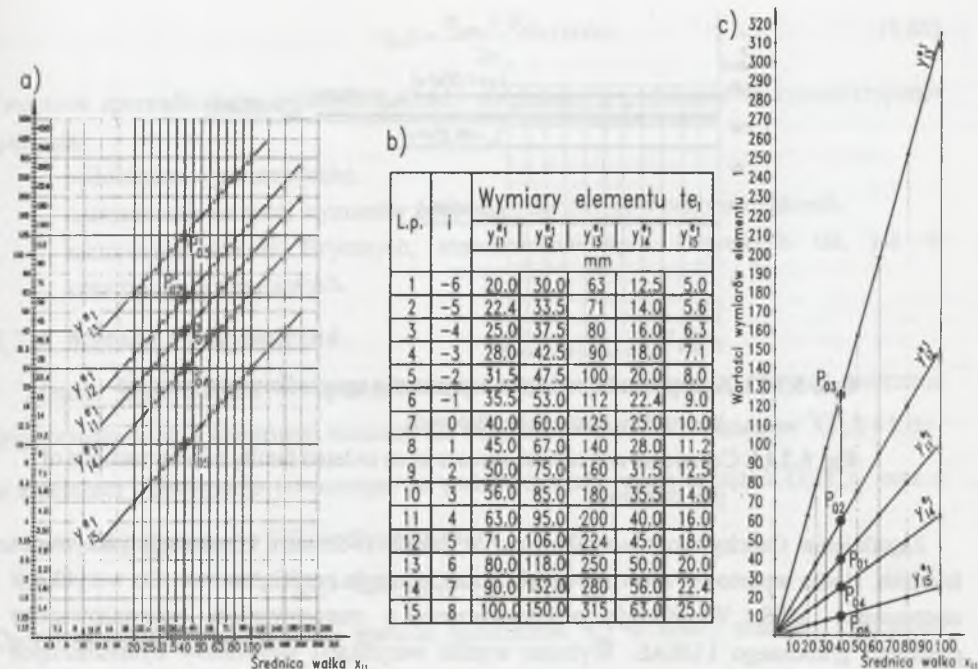
Przebieg uporządkowanych potrzeb może być przedstawiona w postaci nomogramów, rys. 5.7.11a. Zgodnie z warunkiem W1 w układzie logarytmicznym parametrów w postaci nomogramu, prowadzony jest odcinek linii prostej nachylony pod kątem odpowiednio do wykładnika potęgowego równania ( $\text{tg} \alpha = \frac{\lg \varphi_{12}^u}{\lg \varphi_{11}^u} = 3$ ) i przechodzący przez punkt  $P_0(x_{01}^u, x_{02}^u)$ ,

rys. 5.7.11a. Dyskretne wartości parametrów są w równych odległościach (jak to przedstawiają wartości mantys w tabl. 5.3.1) i odpowiadają wartościom szeregów liczb normalnych.



Rys. 5.7.11. Nomogram zunifikowanych wartości parametrów sprzęgła kołkowego  
 Fig. 5.7.11. Nomogram of unified values of parameters of a peg coupling

Zmienne wartości wymiarów tulei (rys. 5.7.10), odpowiadające wektorom potrzeb, przedstawiono również w formie nomogramu na rys. 5.7.12a. Nomogramy w układzie logarymicznym wymiarów zmiennych  $y_{il}^u; (l=1,5)$  (dla osi odciętych odpowiadającej parametrowi  $x_{12}^u$ ) przedstawiane są w postaci odcinków prostych równoległych nachylonych pod kątem 45° i przechodzących przez punkty  $P_{0l}; (l=1,5)$ . Dla dowolnej zunifikowanej wartości parametru, prowadząc linię równoległą do osi rzędnych, uzyskuje się wszystkie wartości wymiarów zmiennych, które w tym układzie również odpowiadają szeregom liczb normalnych. Spełnia się w ten sposób założenie pełnego podobieństwa i dostosowania wartości wymiarów do szeregów liczb normalnych. Dla tożsamościowego warunku podobieństwa (W2), między parametrem a wartościami wymiarów, w dziesiętnym układzie współrzędnych uzyskuje się pęk prostych. W przypadku zależności złożonej będą to krzywe wyższego rzędu. Zależności graficzne w postaci nomogramów oraz tablice są formami zapisu przestrzeni konstrukcji  $ks_i^{lc_i}$  o stałej postaci konstrukcyjnej.



Rys. 5.7.12. Zmienne wartości wymiarów dla konstrukcji  $ks_i^{lc_i}$  ( $i=-6,8$ )

Fig. 5.7.12. Variable values of dimensions for the construction  $ks_i^{lc_i}$  ( $i=-6,8$ )

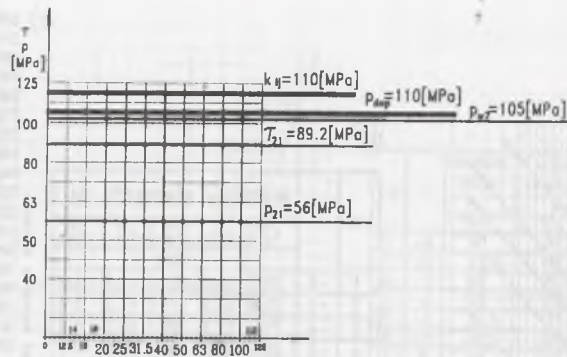
Dla różnych wektorów potrzeb, w tak uporządkowanej rodzinie konstrukcji, zagadnienie Cauchy'ego sprowadza się do stałości naprężeń kryterialnych:  $p_{w2}, \tau_{21}, p_{21}$ . Stałość tych naprężeń łatwo można udowodnić. Przykładowo, dla naprężeń stycznych, uwzględniając warunki podobieństwa W1 i W2:

$$\tau_{(21)0} = \frac{4 \cdot x_{02}^u}{\Pi(y_{01}^{e2})^2 \cdot y_{01}^{e1}}$$

$$\tau_{(21)i} = \frac{4 \cdot x_{i2}^u}{\Pi \cdot (y_{i1}^{e2})^2 \cdot y_{i1}^{e1}} = \frac{4 \cdot \varphi_{i2}^u \cdot x_{02}^u}{\Pi \cdot (\varphi_{i1}^{e2} \cdot y_{01}^{e2})^2 \cdot \varphi_{i1}^{e1} \cdot y_{01}^{e1}} = \frac{4 \cdot (\varphi_{i1}^{e1})^3 \cdot x_{02}^u}{\Pi \cdot (\varphi_{i1}^{e1})^3 \cdot (y_{01}^{e2})^2 \cdot y_{01}^{e1}} = \frac{4 \cdot x_{02}^u}{\Pi \cdot (y_{01}^{e2})^2 \cdot y_{01}^{e1}}$$

otrzymuje się  $\tau_{(21)0} = \tau_{(21)i}$

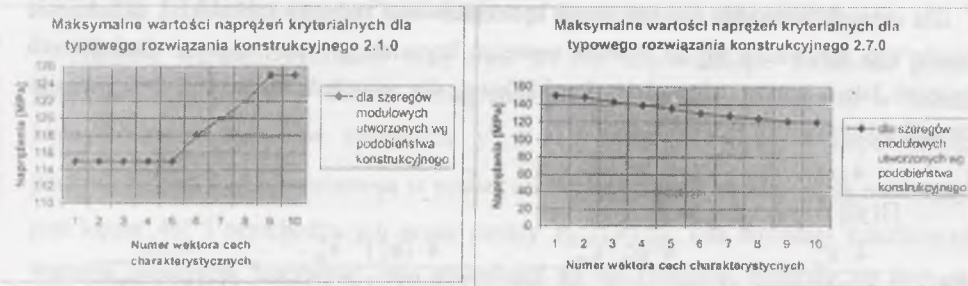
Graficzną interpretacją spełnienia zagadnienia Cauchy dla rodziny konstrukcji sprzęgieł kołkowych przedstawiono na rys. 5.7.13. Naprężenia krytyczne połączeń kołkowych zaznaczono pogrubioną linią.



Rys. 5.7.13. Naprężenia kryterialne i krytyczne w uporządkowanej rodzinie konstrukcji sprzegieł kołkowych

Fig. 5.7.13. Criterion and critical stresses in an ordered family of constructions of peg couplings

Zagadnienie Cauchy'ego zweryfikowano w takich rodzinach konstrukcji jak: złącza śrubowe, złącza wpustowe, siłowniki hydrauliczne, sprzegła przeciążeniowe. Do weryfikacji zastosowano MES. Weryfikację przeprowadzono z zastosowaniem zaawansowanego programu graficznego I-DEAS. Wybrane wyniki weryfikacji siłowników hydraulicznych przedstawiono na wykresach, rys. 5.7.14, dla rozwiązania konstrukcyjnego 2.1.0 i 2.7.0. Wymiary zmienne elementów składowych rozwiązań konstrukcyjnych dobrano na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego.



Rys. 5. 7.14. Przykładowe wyniki weryfikacji zagadnienia Cauchy w rodzinie konstrukcji siłowników hydraulicznych z zastosowaniem MES (I-DEAS)

Fig. 5. 7.14. Exemplar results of verification of the Cauchy problem in a family of constructions of hydraulic cylinders using FEA (I-DEAS)

W utworzonych w pracy, na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego, uporządkowanych rodzinach konstrukcji występowały odchylenia od wartości naprężeń kryterialnych konstrukcji wzorcowej  $\sigma_m$  dla pełnego podobieństwa  $\pm\Delta=3.8\%$ , natomiast ze względu na konieczność dostosowania wartości wymiarów do liczb normalnych i elementów dobieranych nawet  $\pm\Delta=22.1\%$ , określanych według zależności

$$\pm\Delta = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2\sigma_m} 100\% \quad (5.66)$$

Tworzone uporządkowane rodziny konstrukcji na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego spełniają:

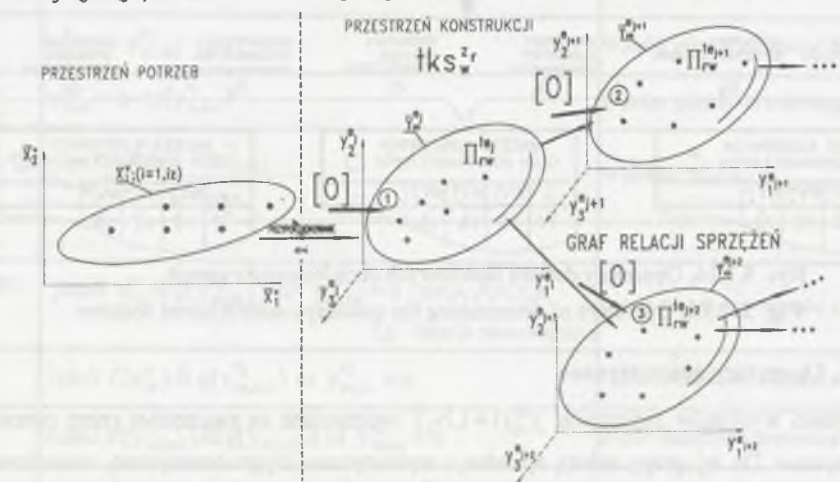
- podobieństwo geometryczne,
- dostosowanie wartości wymiarów zmiennych do szeregów liczb normalnych,
- zachowanie stanów fizycznych, stereomechanicznych i prostych tak, jak w konstrukcjach wzorcowych.

### 5.7.3. Metoda algorytmiczna

Metoda algorytmiczna w uporządkowanej rodzinie konstrukcji to metoda tworzenia przyporządkowania  $\gamma$  konstrukcji elementu dla wszystkich wektorów parametrów  $\bar{X}_i^u$ ; ( $i=1, iz$ ), w kolejności i powiązaniu utworzonym na podstawie grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{ic_j})$  oraz z zastosowaniem operatorów [O], według zależności,

$$y_{ml}^{c_j} (j=1, jz) = [O] \cdot x_{ia}^u, \text{ dla } m=i. \quad (5.67)$$

Operatory przekształcają macierz wartości parametrów  $x_{ia}^u$  w zbiory macierzy zmiennych wartości wymiarów  $y_{ml}^{c_j}$ ; ( $l=1, lv_j$ ) dla wszystkich konstrukcji elementów w rodzinie konstrukcji ( $j=1, jz$ ). Model tworzenia przyporządkowania przedstawiono na rys. 5.7.15.



Rys. 5.7.15. Model algorytmicznego tworzenia przyporządkowania  $\gamma$

Fig. 5.7.15. Model of the algorithmic creation of an assignment  $\gamma$

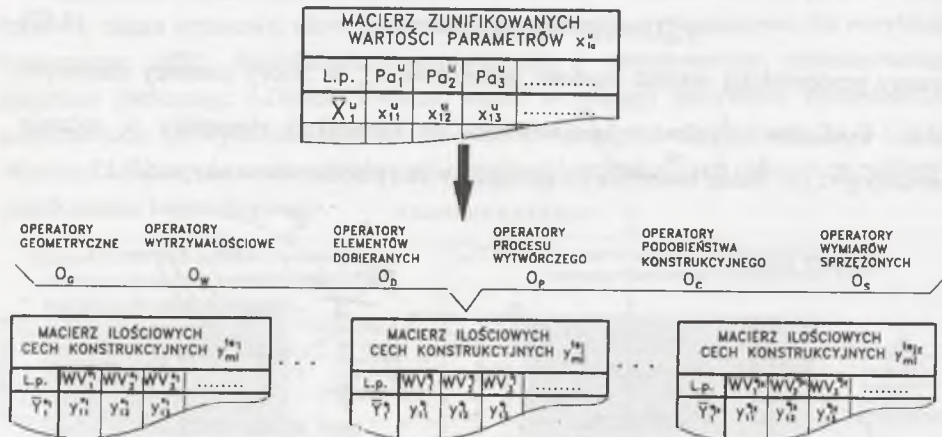
W metodzie tej na podstawie zunifikowanych wartości parametrów  $x_{ia}^u$  ( $a=1, az$ ) równocześnie dobierane są wszystkie zmienne wartości wymiarów  $y_{ml}^{c_j}$  ( $l=1, lv_j$ ) konstrukcji elementu, z uwzględnieniem kolejności ustalonej przez digraf kolejności konstruowania

$GK(\Pi_{rw}^{ij})$ , co na rys. 5.7.15 oznaczono liczbą w okręgu. Podstawą doboru ilościowych cech

konstrukcyjnych są operatory  $[O]$ , spośród których wyróżniono następujące, rys. 5.7.16:

- operatory geometryczne  $O_G$ ,
- operatory wytrzymałościowe  $O_W$ ,
- operatory elementów dobieranych  $O_D$ ,
- operatory procesu wytwórczego  $O_P$ ,
- operatory podobieństwa konstrukcyjnego  $O_C$ ,
- operatory wymiarów sprzężonych  $O_S$ .

Wybór operatorów do wyznaczania wartości wymiarów poszczególnych konstrukcji elementów ustalany jest przez twórców uporządkowanej rodziny konstrukcji. Określa się dla zunifikowanych wartości parametrów  $x_{ia}^u$  lub wartości wymiarów znanych  $y_{m,nz}^{ej}$ , wartości wymiarów nieznanych  $y_{m,nz}^{ej}$ . Dobierane wartości wymiarów podlegają również optymalizacji zgodnie z metodami przedstawionymi w pracach [132; 145, 167].



Rys. 5.7.16. Operatory doboru ilościowych cech konstrukcyjnych

Fig. 5. 7.16. Operators of determining the quantity constructional features

5.7.3.1. Operatory geometryczne

Wartości wymiarów zmiennych  $y_{ml}^{ei} (i=1, IV_1)$  wyznaczane są najczęściej przez operatory geometryczne. Do tej grupy należą operatory: arytmetyczne, trygonometryczne, warunkowe i dostosowania wartości do szeregów liczb normalnych,

$$O_G \in O_{AR} \cup O_{TR} \cup O_{WA} \cup O_{NO} \quad (5.68)$$

Operatory geometryczne pozwalają wyznaczyć wartości wymiarów nieznanych  $y_{m,nz}^{ej}$  na podstawie wartości parametrów  $x_{ia}^u$  lub wartości wymiarów znanych  $y_{m,nz}^{ej}$ ,

$$x_{ia}^u \xrightarrow{O_G} y_{m,nz}^{ej} \cup y_{m,nz}^{ej} \xrightarrow{O_G} y_{m,nz}^{ej} \quad (5.69)$$

Tablica 5.7.2

Przykłady operatorów geometrycznych

Operatory geometryczne	Przykład
$O_{AR}$ $y_{m,nz}^{ej} = a$ ; a-stała lub zalecana wartość z tablicy danych	Liczba otworów na obwodzie
$y_{m,nz}^{ej} = x_{ia}^u$	Średnica tłoczyska
$y_{m,nz}^{ej} = x_{ia}^u \pm a$	Średnica tulei tłoka
$y_{m,nz}^{ej} = y_{m,nz1}^{ej} \pm a$	Wymiar długości stopnia na wałku wraz z podcięciem
$y_{m,nz}^{ej} = y_{m,nz1}^{ej} \pm y_{m,nz2}^{ej} \pm \dots \pm a$	Łańcuch wymiarów
$y_{m,nz}^{ej} = a_1 y_{m,nz1}^{ej} \pm a_2 y_{m,nz2}^{ej} \pm \dots \pm a$ ; $a_i$ - udziały wymiaru	Łańcuch wymiarów z częściowym udziałem wymiarów
$y_{m,nz}^{ej} = \frac{y_{m,nz1}^{ej} + y_{m,nz2}^{ej}}{2}$	Średnica rozmieszczenia otworów na środkowym obwodzie
....	
$O_{TR}$ $y_{m,nz}^{ej} = a \cdot \text{tg} \alpha$ ; $\alpha$ - stały kąt lub zalecana wartość z tablicy danych	Wysokość ścięcia
$y_{m,nz}^{ej} = x_{ia}^u \cdot \text{tg} \alpha$	Wysokość pochylenia
$y_{m,nz}^{ej} = y_{m,nz1}^{ej} \cdot \text{tg} \alpha$	Wymiar zależny od stałego kąta
$y_{m,nz}^{ej} = a \cdot \text{tg}(y_{m,nz1}^{ej})$	Wymiar zależny od zmiennego kąta
$y_{m,nz}^{ej} = \frac{y_{m,nz1}^{ej} + y_{m,nz2}^{ej}}{2 \cdot \text{tg} \alpha}$	Wysokość ścięcia
....	
$O_{WA}$ jeżeli $x_{ia}^u$ & $g(y_{m,nz2}^{ej})$ to $y_{m,nz}^{ej} = a$ ; &=>, >, <, <=>, f,g - funkcje matematyczne	Dobór warunkowy wartości stałej
jeżeli $f(x_{ia}^u)$ & $g(y_{m,nz1}^{ej})$ to $y_{m,nz}^{ej} = a$	Dobór warunkowy wartości stałej
jeżeli $f(y_{m,nz1}^{ej})$ & $g(y_{m,nz2}^{ej})$ to $y_{m,nz}^{ej} = a$	Dobór warunkowy wartości stałej
jeżeli $f(x_{ia}^u)$ & $g(y_{m,nz2}^{ej})$ to $y_{m,nz}^{ej} = y_{m,nz1}^{ej}$	Dobór warunkowy wartości wymiaru
....	
$O_{NO}$ $y_{m,nz}^{ej} = N^>(y_{m,nz1}^{ej})$ ; $N^>$ - wartość najbliższa większa z szeregu liczb normalnych	Dobór z szeregu liczb normalnych
$y_{m,nz}^{ej} = N^<(y_{m,nz1}^{ej})$ ; $N^<$ - wartość najbliższa mniejsza z szeregu liczb normalnych	Dobór z szeregu liczb normalnych

### 5.7.3.2. Operatory wytrzymałościowe

Warunki weryfikacji wytrzymałościowej są zależne od dobieranych wymiarów, dlatego mogą być podstawą do wyznaczania wartości wymiarów zmiennych

$$\begin{aligned}\sigma &= f(y_{m,nz}^{ej}) \leq k_\sigma \\ \tau &= f(y_{m,nz}^{ej}) \leq k_\tau \xrightarrow{O_w} y_{m,nz}^{ej} \\ p &= f(y_{m,nz}^{ej}) \leq k_p\end{aligned}\quad (5.70)$$

Wyróżnia się operatory wytrzymałościowe: bezpośrednie  $O_{BE}$  oraz z warunkami ograniczającymi  $O_{OG}$

$$O_w = O_{BE} \cup O_{OG} \quad (5.71)$$

Operatory wytrzymałościowe bezpośrednie  $O_{BE}$  stosuje się do określenia wartości wymiarów nieznanymi  $y_{m,nz}^{ej}; (j=1,jz)$ , korzystając z wartości: zunifikowanych parametrów  $x_{ia}^u$ , wymiarów znanych  $y_{m,zn}^{ej}; (j=1,jz)$  oraz wymiarów tworzywowych  $y_{(t)m,zn}^{ej}$

$$x_{ia}^u, y_{m,zn}^{ej}, y_{(t)m,zn}^{ej} \xrightarrow{O_{BE}} y_{m,nz}^{ej} \quad (5.72)$$

Operatory wytrzymałościowe  $O_{OG}$  są podstawą do modyfikacji wstępnie dobranej wartości wymiaru  $y_{0,nz}$  (np. obliczonej na podstawie innego operatora) lub też wartości dobieranych z zakresu wartości granicznych  $y_{max,nz}, y_{min,nz}$ , (np. określanych przez warunki brzegowe), spełniając kryteria ograniczające  $K_{OG}$  według procedury

$$y_{max,nz}^{ej} \leq y_{0,nz}^{ej} \leq y_{min,nz}^{ej} \quad (5.73)$$

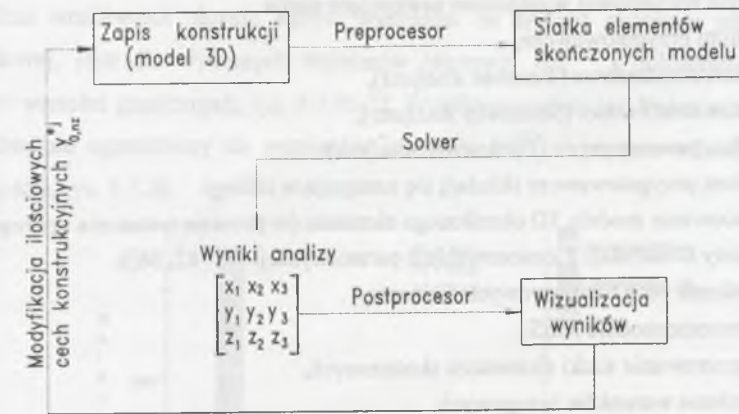
$$y_{m,nz}^{ej} = y_{0,nz}^{ej} \quad (5.74)$$

$$x_{ia}^u, y_{m,zn}^{ej}, y_{(t)m,zn}^{ej}, y_{0,nz}^{ej} \xrightarrow{O_{OG}} K_{OG} \quad (5.75)$$

Kryterium ograniczające to najczęściej nieprzekroczenie dopuszczalnych naprężeń  $K_\sigma$ , nieprzekroczenie dopuszczalnych odkształceń  $K_\delta$ , minimalna masa  $K_M$ .

Szczególnym narzędziem tej formy doboru zmiennych wartości wymiarów jest zastosowanie *analizy wariantowej* (Variational Analysis) rozwijanej przez firmę amerykańską SDRC (Structural Dynamics Research Corporation) w programie graficznym I-DEAS. W metodzie tej zastosowana jest parametryzacja VGX (Variational Design Technology) oraz weryfikacja z zastosowaniem MES.

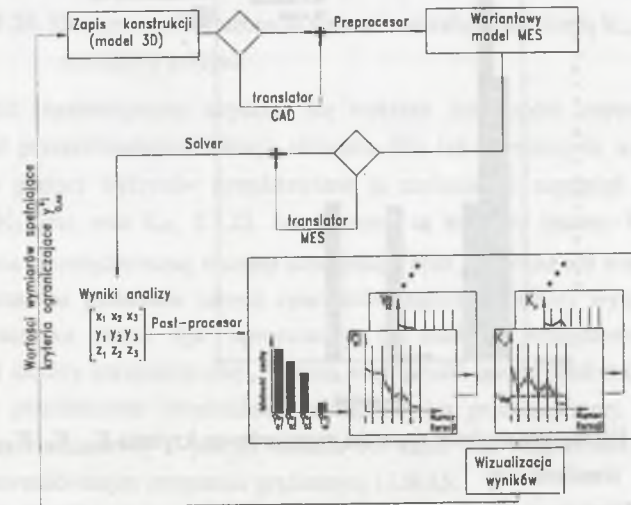
W tradycyjnej analizie MES, dla wektora potrzeb  $\bar{X}_i^u$ , geometryczne i tworzywowe cechy konstrukcyjne  $[y_{m,zn}^{ej}, y_{(t)m,zn}^{ej}, y_{0,nz}^{ej}]$  mają przypisaną stałą wartość. Ze względu na kryterium ograniczające (5.75) w sposób iteracyjny modyfikuje się wartości istotnych wymiarów elementu  $y_{max,nz}^{ej} \leq y_{0,nz}^{ej} \leq y_{min,nz}^{ej}$ , otrzymując wynik dla jednego punktu w przestrzeni konstrukcji (rys. 5.7.15). Każda iteracja to konieczność powtórnych obliczeń MES, rys. 5.7.17.



Rys. 5.7.17. Tradycyjny model weryfikacji ilościowych cech konstrukcyjnych z zastosowaniem MES [154, 155]

Fig. 5.7.17. Traditional model of verification of quantity constructional features using FEA [154, 155]

W analizie wariantowej, dla wektora potrzeb  $\bar{X}_i^u$ , nieznanne wartości ilościowych cech konstrukcyjnych przyjmują wartości graniczne  $[y_{min,nz}^{ej}, y_{max,nz}^{ej}]$ , jak np. grubość i szerokość końcówki chwytnej, rys. 5.7.21. Model przekształceń w analizie wariantowej przedstawia rys. 5.7.18. Analiza wariantowa za pomocą parametryzacji VGX pozwala na tworzenie jednego spójnego zapisu geometrii, uwzględniając całą przestrzeń możliwych wartości wymiarów zmiennych. Zapis ten pozwala na przeprowadzenie jednorazowej analizy MES, dzięki czemu znacznie przyspiesza się dobór wartości ilościowych cech konstrukcyjnych.



Rys. 5.7.18. Analiza wariantowa ilościowych cech konstrukcyjnych w programie I-DEAS

Fig. 5.7.18. Variant analysis of quantity constructional features using the program I-DEAS



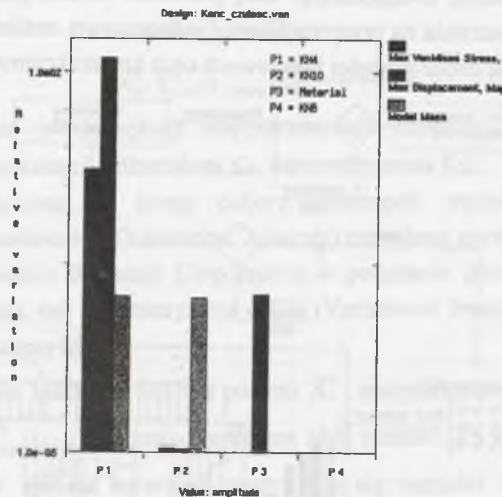
W analizie wariantowej wyróżniono następujące stadia:

- 1) stadium przygotowawcze,
- 2) analiza standardowa (*Baseline Analysis*),
- 3) analiza wrażliwości (*Sensitivity Analysis*),
- 4) analiza parametryczna (*Parametric Analysis*).

Na stadium przygotowawcze składają się następujące zabiegi:

- 1) opracowanie modelu 3D określonego elementu (w procesie tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji z zastosowaniem parametryzacji [73, 82, 86]),
- 2) określenie cech tworzywowych elementu,
- 3) utworzenie modelu MES,
- 4) wygenerowanie siatki elementów skończonych,
- 5) określenie warunków brzegowych,
- 6) określenie stanu obciążeń.

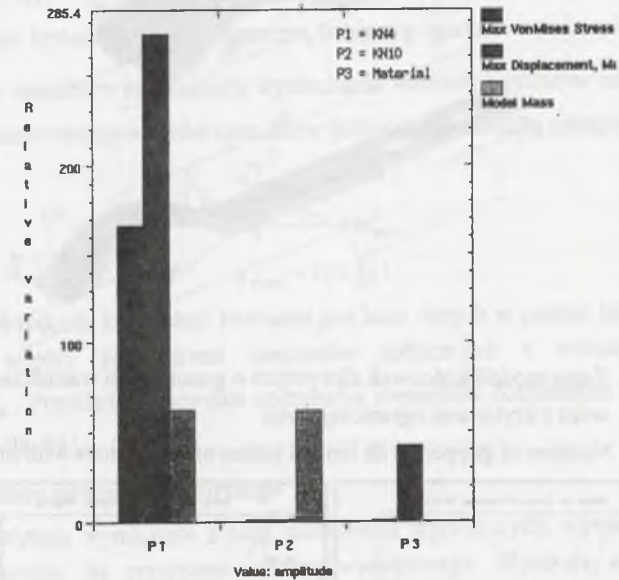
Analiza standardowa przeznaczona jest do wyboru wymiarów istotnych  $WI_i^{sj}$ , ze względu na kryteria:  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$ . Graniczne wartości wymiarów w stosunku do wymiarów modelu przyjmują wartości z zakresu określonego tolerancją  $\pm 20\%$ , która może być zmieniona. W rozważanym przykładzie do analizy standardowej wybrano cztery cechy konstrukcyjne: KN4, KN10, KN8, materiał. Wynikiem analizy są histogramy wrażliwości wymiarów na kryteria, rys. 5.7.19. Na podstawie histogramu, wymiarami istotnymi  $WI_i^{KN}$ , ze względu na kryteria:  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$ , są wymiary: KN4, KN10 i materiał. Pod pojęciem „materiał”, kryją się wymiary tworzywa  $W_{(i)}$ .



Rys. 5.7.19. Histogram wpływu wartości wymiarów na kryteria  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$  w analizie standardowej

Fig. 5.7.19. Histogram of influence of dimensions values on criteria  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$  in standard analysis

Analiza wrażliwości określa wpływ wymiarów na kryteria podobnie jak w analizie standardowej, lecz dla wybranych wymiarów istotnych  $WI_i^{KN}$  i dokładnie określonych zakresów wartości granicznych, rys. 5.7.21-22. Wynikiem analizy jest histogram wrażliwości wymiarów, ale ograniczony do wymiarów istotnych  $WI_i^{KN}$  i przeprowadzony z większą dokładnością, rys. 5.7.20.



Rys. 5.7.20. Histogram wpływu wartości wymiarów na kryteria  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$  w analizie wrażliwości

Fig. 5.7.20. Histogram of influence of dimensions values on criteria  $K_\sigma$ ,  $K_\delta$ ,  $K_M$  in sensitivity analysis

W analizie parametrycznej uzyskuje się wykresy zmienności wartości wymiarów w zależności od przeprowadzonej iteracji obliczeń. Dla tak określonych wariantów wartości wymiarów w postaci wykresów przedstawiane są zmienności: naprężeń kryterialnych  $K_\sigma$ , odkształceń  $K_\delta$  oraz mas  $K_M$ , 5.7.22. Jeżeli znane są wymiary istotne  $WI_i^{KN}$ , które może określić twórca uporządkowanej rodziny konstrukcji, oraz graniczne ich wartości, które mogą być wyznaczone na podstawie innych operatorów aniżeli operatory wytrzymałościowe, to analiza wariantowa może być uproszczona do stadiów przygotowawczych, analizy wrażliwości i analizy parametrycznej. Analiza wrażliwości ocenia wartości wymiarów, które są głównym przedmiotem optymalizacji różnorodności przedstawionej w rozdziale 5.8. Wynik analizy wariantowej w postaci modelu 3D może być bezpośrednio wyświetlony na ekranie w zaawansowanym programie graficznym I-DEAS.



5.7.3.5. Operatory podobieństwa konstrukcyjnego

W trakcie analizy istniejących rozwiązań konstrukcyjnych (rozdz. 5.2.4), w obrębie rozważanej rodziny konstrukcji tworzony jest liczny zbiór danych. Jest to bogate źródło informacji sprawdzonej poprzez działające już w praktyce środki techniczne. Bezpośrednie przejmowanie wartości wymiarów z istniejących konstrukcji  $\bar{Y}_0^{ej}(y_{0,zn}^{ej})$  do nowo tworzonej  $\bar{Y}_m^{ej}(y_{m,nz}^{ej})$  zachodzi wtedy, gdy istnieją zgodności wartości cech charakterystycznych, rozwiązań konstrukcyjnych, procesów wytwórczych. Jeżeli występuje niezgodność z wyżej wymienionymi warunkami, korzysta się z operatorów podobieństwa konstrukcyjnego. Operatory te można zinterpretować następująco: jeżeli dla danych wartości parametrów  $\bar{X}_0^u$  znane są wartości wymiarów  $\bar{Y}_0^{ej}(y_{0,zn}^{ej})$ , to przy zachowaniu warunku kongruencji konstrukcyjnej (5.50) jakie wartości wymiarów przyjmie nowo konstruowany element  $\bar{Y}_m^{ej}(y_{m,nz}^{ej})$  dla nowych wektorów potrzeb  $\bar{X}_i^u$ ,

$$\begin{aligned} \bar{X}_0^u &\rightarrow \bar{Y}_0^{ej}(y_{0,zn}^{ej}), \\ \bar{X}_i^u &\xrightarrow{O_c} \bar{Y}_m^{ej}(y_{m,nz}^{ej}). \end{aligned} \quad (5.78)$$

Zastosowanie w stadium doboru ilościowych cech konstrukcyjnych podobieństwa konstrukcyjnego szczegółowo opisano w rozdz. 5.7.2.

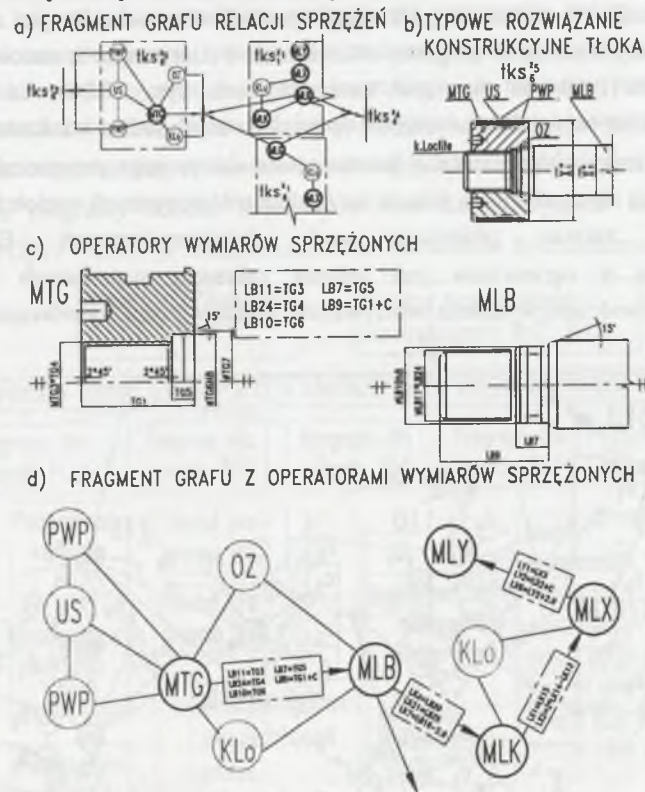
5.7.3.6. Operatory wymiarów sprzężonych

Operatory wymiarów sprzężeń dotyczą wymiarów sprzężonych  $WS_1^{ej}(j=1,jz)$ . Współdziałanie elementów będzie możliwe wtedy, gdy wymiary sprzężone współpracujących powierzchni będą w odpowiedniej zależności. Najczęściej są to zależności tożsamościowe. Podstawą tworzenia operatorów wymiarów sprzężonych jest graf relacji sprzężeń  $G(\Pi_m^{ej})$  (np. przedstawiony na rys. 5.7.23a). Na podstawie operatorów wymiarów sprzężonych  $O_s$  oraz wymiarów znanych  $y_{m,zn}^{ej}$  określa się wartości wymiarów nieznanymi,

$$y_{m,zn}^{ej} \xrightarrow{O_s} y_{m,nz}^{ej+1}. \quad (5.79)$$

Operatory wymiarów sprzężonych stanowią „spoiwo” łączące składniki rodziny konstrukcji. W rozdz. 5.4.2 (rys. 5.4.4) przedstawiono sposób postaciowego zwielokrotnienia liczby sprzężeń. Tutaj realizowane jest zwiększenie liczby sprzężeń poprzez powiązania między różnymi ilościowymi cechami konstrukcyjnymi. Podstawą metodologiczną jest graf relacji sprzężeń z określoną kolejnością doboru cech konstrukcyjnych, rys. 5.7.23a. W celu przedstawienia sposobu tworzenia operatorów wymiarów sprzężonych rozważane będzie typowe rozwiązanie konstrukcyjne  $tk_s^{ej}$ , rys. 5.7.23b. Wymiary sprzężone współdziałających typowych postaci konstrukcyjnych elementów MTG i MLB przedstawiono na rys. 5.7.23c. Prawidłowe współdziałanie między elementami określają operatory wymiarów sprzężonych w postaci zależności zapisanych w ramce na rys. 5.7.23d. Dla wybranego fragmentu grafu relacji

sprzężeń pogrubionym węzłom odpowiadają konstruowane elementy, natomiast okręgiem rysowanym linią cienką dobierane konstrukcje elementów.



Rys. 5.7.23. Model spełniania relacji sprzężeń między współdziałającymi elementami  
Fig. 5.7.23. Model of creating the graph of conjugated dimensions

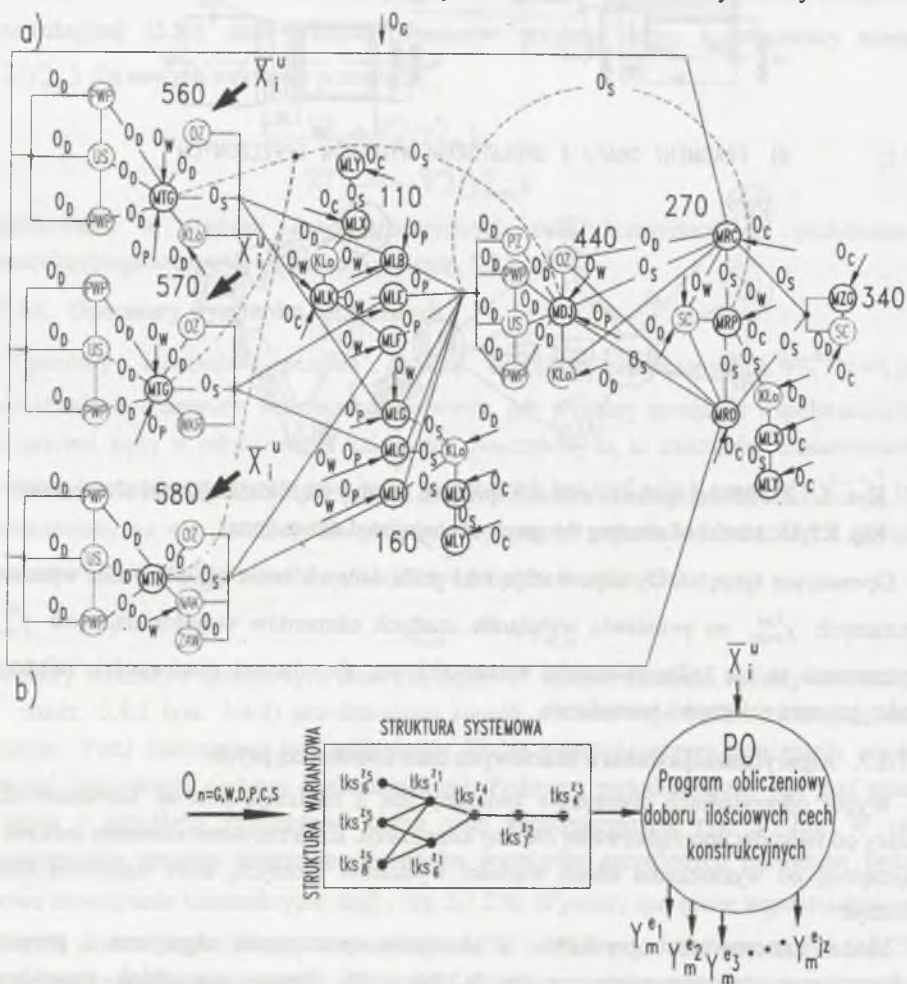
Operatorom sprzężeń  $O_s$  odpowiadają łuki grafu, których zwrot określa dobór wymiarów nieznanymi  $y_{m,nz}^{ej+1}$  na podstawie wymiarów znanych elementów współdziałających  $y_{m,zn}^{ej}$ . Operatorami są nie tylko zależności tożsamościowe, ale również nierówności, zależności funkcyjne oraz zależności warunkowe.

5.7.3.7. Algorytmizacja doboru ilościowych cech konstrukcyjnych

Wybór odpowiednich operatorów związany jest z realizacją procesu konstruowania i zależy od twórców uporządkowanej rodziny konstrukcji. Konstruowanie elementu zaczyna się najczęściej od wyznaczania takich wartości wymiarów istotnych, które najłatwiej można obliczyć.

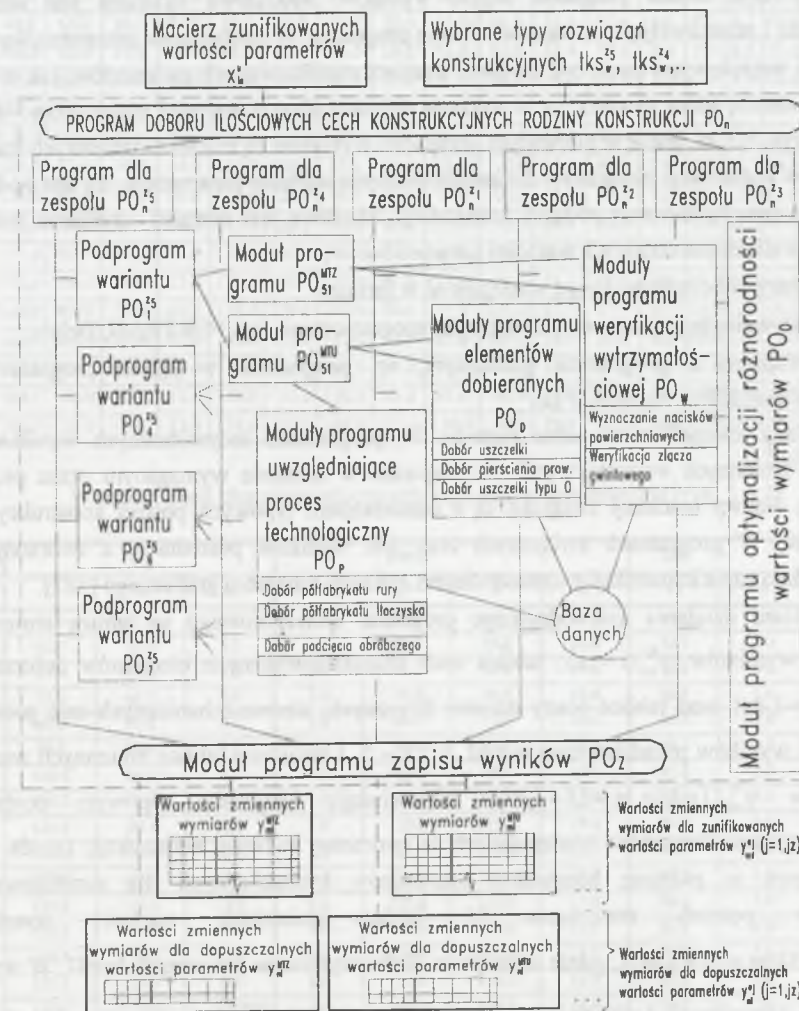
Model zastosowania operatorów, a następnie opracowania algorytmu i programu obliczeniowego, przedstawiono na rys. 5.7.24 – 25. Zestaw wszystkich stosowanych operatorów w grafie relacji sprzężeń w formie uogólnionej przedstawiono na rys. 5.7.24a. Rysunek ten przedstawia złożoność tworzenia przyporządkowania  $\gamma$ , którą można uprościć,

stosując programowanie zorientowane obiektowo dostosowane do struktury systemowej i wariantowej rodziny konstrukcji oraz bazujące na podprogramach uniwersalnych o różnym stopniu zagnieżdżenia. Na podstawie grafu relacji sprzężeń wraz z określonymi operatorami utworzono algorytmy, a następnie programy obliczeniowe o elastycznym dostosowaniu się do wybranego zestawu typowych rozwiązań konstrukcyjnych, rys. 5.7.24b. Ta cecha jest kolejnym składnikiem tworzenia elastycznych uporządkowanych rodzin konstrukcji. Kolejną zaletą stosowania metody algorytmicznej jest tworzenie elastycznego przyporządkowania  $\gamma$ , które charakteryzuje się możliwością doboru optymalnie zróżnicowanych wartości wymiarów dla szerokiego zakresu zmienności cech charakterystycznych. Elastyczność przyporządkowania  $\gamma$  ograniczona jest jedynie zakresem stosowanych elementów dobieranych, możliwościami wyłączenia tworzywa oraz możliwościami wytwórczymi.



Rys. 5.7.24. Model tworzenia programu obliczeniowego dla przyporządkowania  $\gamma$   
 Fig. 5.7.24. Model of creation the computer program for the assignment  $\gamma$

Na podstawie zestawionych operatorów tworzone są algorytmy, a następnie programy obliczeniowe, odpowiadające strukturze systemowej i wariantowej rodziny konstrukcji, rys. 5.7.24b. Struktura programowa wyznaczania zmiennych wartości wymiarów ma również strukturę modułową jak system modułowy konstrukcji, ale modułów programowych, rys. 5.7.25. Program doboru ilościowych cech konstrukcyjnych rodziny konstrukcji  $PO_n$  składa się z programów odpowiadających izomorficznym składnikom struktury systemowej  $Re_n^{zr}$ , wyróżnia się programy doboru ilościowych cech konstrukcyjnych zespołów rodziny konstrukcji  $PO_n^{zr}$  ( $r = 1, rz$ ), (w rodzinie konstrukcji siłowników hydraulicznych  $r=1, 5$ ).



Rys. 5.7.25. Struktura programu doboru ilościowych cech konstrukcyjnych  
 Fig. 5.7.25. The structure of the program for choosing quantity constructional features

Programy  $PO_n^{zr}$  ( $r=1, rz$ ) zawierają w sobie strukturę wariantową, wyróżniając w nich podprogramy wariantu  $PO_w^{zr}$ . Podprogramy wariantu dzielą się z kolei na moduły programu

$PO_{rw}^{zr}$  odpowiadające typowym postaciom konstrukcyjnym elementów  $\Pi_{rw}^{le,j}$ . W strukturze programowej występują również dodatkowe moduły programu odpowiadające operatorom doboru cech konstrukcyjnych oraz zapisu danych, na przykład: moduł programu weryfikacji wytrzymałościowej (zawierający operatory  $O_w$ ), moduł programu elementów dobieranych (zawierający operatory  $O_D$ ), moduł programu uwzględniający proces technologiczny (zawierający operatory  $O_P$ ), moduł programu podobieństwa konstrukcyjnego (zawierający operatory  $O_C$ ), moduł programu zapisu wyników. Modułowa struktura jest strukturą przejrzystą i umożliwiającą łatwą modyfikację programu. W elastycznym przyporządkowaniu  $\gamma$  danymi wejściowymi może być zarówno macierz zunifikowanych parametrów, jak również wektor potrzeb, który zawiera się w zakresie dopuszczalnych wartości parametrów. Wyniki ilustruje rys. 5.7.25, gdzie w pierwszym przypadku wynikiem są macierze zmiennych wartości wymiarów konstrukcji elementów dla zunifikowanych wartości parametrów. Są one podstawą tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji. Możliwe jest również uzyskanie wartości wymiarów dla dopuszczalnych wartości parametrów.

Programy obliczeniowe mogą występować w formie:

- indywidualnej z zastosowaniem języka programowania, np. FORTRAN, Delphi,
- związanej z programem graficznym, np. programem w języku programowania VisualLISP w AutoCAD'zie.

W pracy zweryfikowano obie metody. W programach indywidualnych wynikiem są macierze zmiennych wartości wymiarów, zapisane w formacie wymaganym przez program graficzny. Nazwy macierzy związane są z oznaczeniami typowych postaci konstrukcyjnych elementów. W programach związanych brak jest wyników pośrednich, a tworzony jest bezpośrednio zapis konstrukcji z zastosowaniem aplikacji programu graficznego [187].

Wynikiem działania indywidualnego programu obliczeniowego są tablice zmiennych wartości wymiarów  $y_{m,i}^{zr}$  ( $i=m$ ), tablica cech charakterystycznych elementów dobieranych  $ch_{m,d}^N$  ( $d=1, dz$ ) oraz tablice oceny stanów: fizycznych, stereomechanicznych oraz prostych. Fragment wyników przedstawiono w tabl. 5.7.3 – 5. Utworzone tablice zmiennych wartości wymiarów  $y_{m,i}^{zr}$  ( $j=1, jz, m=i, l=1, lv_j$ ) odpowiadają wszystkim typowym postaciom konstrukcyjnym elementów występujących w tworzonej rodzinie konstrukcji, (rozdz. 5.5). Przykładowo w rodzinie konstrukcji siłowników hydraulicznych dla zunifikowanych wektorów potrzeb utworzono 55 tablic zmiennych wartości wymiarów  $y_{m,i}^{zr}$  ( $j=1, 55; m=i; l=1, lv_j$ ), gdzie największa liczba wymiarów zmiennych  $lv_j=37$ . W wyniku unifikacji opracowano  $iz=20$  zalecanych wektorów potrzeb  $\bar{X}_i^u$ ; ( $i=1, 20$ ). Na tej podstawie można utworzyć 1100 konstrukcji elementów odpowiadających całej różnorodności

rozwiązań konstrukcyjnych. Ten liczny zbiór konstrukcji poddany został optymalizacji różnorodności wartości wymiarów, rozdz. 5.8.

Tablica 5.7.3

Zmienne wartości wymiarów konstrukcji  $ks_m^{MTG}$  (rys. 5.6.2)

L.p.	$\phi D$ [mm]	$\phi d$ [mm]	$P_{nom}$ [MPa]	TG1	TG2	TG3	TG4	TG5	TG6	TG7	TG8	TG9	TG10	TG11	TG12	TG13	TG14	TG15
1	50.0	25.0	16.0	34.0	48.0	45.0	35.0	16.0	20.0	40.0	13.2	22.2	8.0	5.0	8.5	10.0	1.5	10.0
2	60.0	40.0	35.0	46.0	58.0	55.0	45.0	32.0	36.0	50.0	14.4	38.4	8.0	5.0	8.5	10.0	1.5	20.0
3	63.0	40.0	32.0	46.0	61.0	58.0	45.0	32.0	36.0	53.0	14.4	38.4	8.0	5.0	8.5	10.0	1.5	20.0
4	75.0	40.0	25.0	46.0	73.0	70.0	50.0	32.0	36.0	65.0	14.4	38.4	8.0	7.0	8.5	10.0	1.5	20.0
5	80.0	40.0	16.0	46.0	78.0	75.0	50.0	32.0	36.0	70.0	14.4	38.4	8.0	7.0	8.5	10.0	1.5	20.0
6	90.0	63.0	30.0	54.0	88.0	85.0	70.0	50.0	55.0	80.0	14.4	57.4	8.0	7.0	8.5	10.0	1.5	30.0
7	100.0	63.0	31.5	54.0	98.0	95.0	70.0	50.0	55.0	90.0	14.4	57.4	8.0	7.0	8.5	15.0	1.5	15.0
8	100.0	80.0	31.5	68.0	98.0	95.0	80.0	70.0	75.0	90.0	13.7	77.3	8.0	7.0	8.5	15.0	1.5	30.0
9	120.0	80.0	31.5	68.0	118.0	115.0	90.0	70.0	75.0	105.0	13.7	77.3	8.0	7.0	12.7	15.0	1.5	30.0
10	120.0	100.0	25.0	72.0	118.0	115.0	100.0	90.0	95.0	105.0	18.1	98.0	8.0	7.0	12.7	15.0	2.0	30.0
11	125.0	63.0	16.0	54.0	123.0	120.0	85.0	50.0	55.0	110.0	14.4	57.4	8.0	7.0	12.7	15.0	1.5	15.0
12	125.0	80.0	31.5	68.0	123.0	120.0	90.0	70.0	75.0	110.0	13.7	77.3	8.0	7.0	12.7	15.0	1.5	30.0
13	125.0	100.0	31.5	72.0	123.0	120.0	105.0	90.0	95.0	110.0	18.1	98.0	8.0	7.0	12.7	15.0	2.0	30.0
14	135.0	80.0	31.5	68.0	133.0	130.0	100.0	70.0	75.0	120.0	13.7	77.3	8.0	10.0	12.7	15.0	1.5	30.0
15	135.0	100.0	25.0	72.0	133.0	130.0	110.0	90.0	95.0	120.0	18.1	98.0	8.0	10.0	12.7	15.0	2.0	30.0
16	140.0	80.0	16.0	68.0	138.0	135.0	100.0	70.0	75.0	125.0	13.7	77.3	8.0	10.0	12.7	15.0	1.5	30.0
17	140.0	100.0	25.0	72.0	138.0	135.0	110.0	90.0	95.0	125.0	18.1	98.0	8.0	10.0	12.7	15.0	2.0	30.0
18	160.0	80.0	16.0	68.0	158.0	155.0	110.0	70.0	75.0	140.0	13.7	77.3	8.0	10.0	16.0	20.0	1.5	20.0
19	160.0	100.0	31.5	72.0	158.0	155.0	120.0	90.0	95.0	140.0	18.1	98.0	8.0	10.0	16.0	20.0	2.0	20.0
20	160.0	125.0	16.0	72.0	158.0	155.0	130.0	115.0	120.0	140.0	19.4	123.2	8.0	10.0	16.0	20.0	2.0	20.0

Tablica 5.7.4

Wartości cech charakterystycznych elementów dobieranych (rys. 5.6.3)

Elem.	US			PWP			OZ		Loctite	
	L.p.	D	d	H	L. PWP	D	d	H		Ozn.
1	50.0	40.0	8.0	2.0	50.0	45.0	10.0	15.3	2.4	577.0
2	60.0	50.0	8.0	3.0	60.0	55.0	10.0	30.2	3.0	577.0
3	63.0	53.0	8.0	3.0	63.0	58.0	10.0	30.2	3.0	577.0
4	75.0	65.0	8.0	3.0	75.0	70.0	10.0	30.2	3.0	577.0
5	80.0	70.0	8.0	3.0	80.0	75.0	10.0	30.2	3.0	577.0
6	90.0	80.0	8.0	4.0	90.0	85.0	10.0	49.2	3.0	577.0
7	100.0	90.0	8.0	2.0	100.0	95.0	15.0	49.2	3.0	577.0
8	100.0	90.0	8.0	3.0	100.0	95.0	15.0	70.0	3.0	577.0
9	120.0	105.0	12.0	3.0	120.0	115.0	15.0	70.0	3.0	577.0
10	120.0	105.0	12.0	3.0	120.0	115.0	15.0	85.0	5.0	577.0
11	125.0	110.0	12.0	2.0	125.0	120.0	15.0	49.2	3.0	577.0
12	125.0	110.0	12.0	3.0	125.0	120.0	15.0	70.0	3.0	577.0
13	125.0	110.0	12.0	3.0	125.0	120.0	15.0	85.0	5.0	577.0
14	135.0	120.0	12.0	3.0	135.0	130.0	15.0	70.0	3.0	577.0
15	135.0	120.0	12.0	3.0	135.0	130.0	15.0	85.0	5.0	577.0
16	140.0	125.0	12.0	3.0	140.0	135.0	15.0	70.0	3.0	577.0
17	140.0	125.0	12.0	3.0	140.0	135.0	15.0	85.0	5.0	577.0
18	160.0	140.0	15.0	2.0	160.0	155.0	20.0	70.0	3.0	577.0
19	160.0	140.0	15.0	2.0	160.0	155.0	20.0	85.0	5.0	577.0
20	160.0	140.0	15.0	2.0	160.0	155.0	20.0	109.2	5.7	577.0

Tablica 5.7.5

Zapis stanów stereomechanicznych w postaci wyróżnionych naprężeń kryterialnych oraz naprężeń dopuszczalnych

L.p.	p1 [MPa]	$\sigma_1$ [MPa]	p2 [MPa]	$\sigma_2$ [MPa]
1	75.0	102.0	9.0	12.0
2	57.0	75.0	25.0	33.0
3	60.0	80.0	23.0	31.0
4	76.0	101.0	18.0	24.0
5	58.0	76.0	12.0	15.0
6	54.0	71.0	28.0	36.0
7	76.0	99.0	28.0	37.0
8	25.0	33.0	29.0	38.0
9	51.0	66.0	29.0	38.0
10	19.0	25.0	30.0	39.0
11	72.0	94.0	15.0	19.0
12	58.0	76.0	29.0	38.0
13	30.0	39.0	38.0	49.0
14	73.0	95.0	29.0	38.0
15	33.0	43.0	30.0	39.0
16	41.0	54.0	15.0	19.0
17	38.0	50.0	30.0	39.0
18	59.0	77.0	15.0	19.0
19	76.0	99.0	38.0	49.0
20	21.0	27.0	25.0	32.0
<b>Naprężenia dopuszczalne</b>	77.0	248.0	77.0	248.0

p1 - naciski powierzchniowe na zwojach gwintu,

$\sigma_1$  - naprężenia zredukowane na zwojach gwintu,

p2 - naciski powierzchniowe na zwojach gwintu od uderzenia tłoka o dławnicę,

$\sigma_2$  - naprężenia zredukowane na zwojach gwintu od uderzenia tłoka o dławnicę.

### 5.8. Optymalizacja różnorodności wartości wymiarów

W tym stadium procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji występuje ujednocnianie ilościowych cech konstrukcyjnych poprzez optymalne zróżnicowanie wartości wymiarów według głównie dwóch przeciwstawnych kryteriów, rys. 5.8.1:

**KI1** - maksymalnej powtarzalności konstrukcji w zakresie zunifikowanych wartości parametrów (maksymalne ujednocnienie  $mo_j \rightarrow 1$ ),

**KI2** - minimalnej straty niedopasowania konstrukcji dla zunifikowanych wartości parametrów (minimalizacja przewymiarowania  $mo_j = iz$ ).

Stadium to ma istotny wpływ na licznosc modułów konstrukcyjnych (typowielkości) uporządkowanej rodziny konstrukcji, a jego wynikiem jest przyporządkowanie  $\delta$ , określające zależność między wektorami potrzeb  $\bar{X}_i^u$  a wektorami modułów konstrukcyjnych  $\bar{Y}_m^c$ ; ( $j = 1, jz; m = 1, mo_j$ ). Wektory konstrukcji elementów  $\bar{Y}_m^c$ ; ( $j = 1, jz; m = i$ ) podlegają

przekształceniu w wektory uporządkowanych konstrukcji  $\bar{Y}_m^c$ ; ( $j = 1, jz; m = 1, mo_j$ ), spełniając warunek,

$$mo_j \leq iz. \quad (5.80)$$

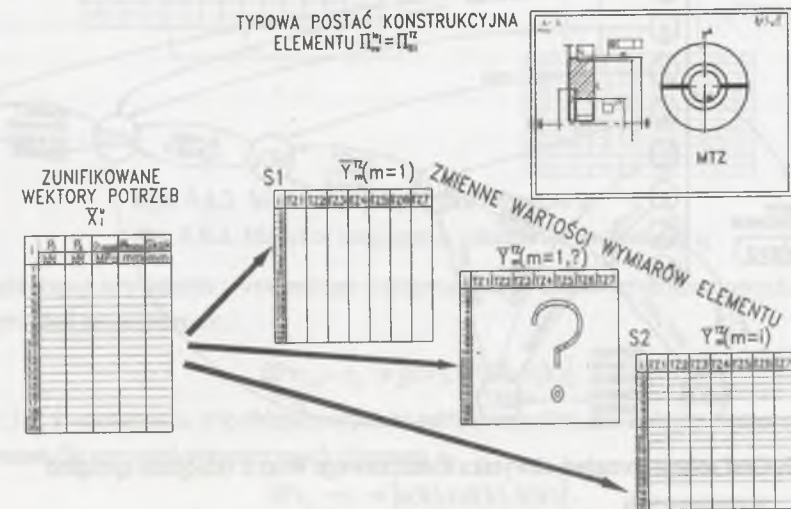
Wynikiem optymalizacji różnorodności ilościowych cech konstrukcyjnych jest dyskretyzacja wartości wymiarów elementów rodziny konstrukcji  $RK_n$ . W wielu pracach dotyczących utworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji poprzestaje się na utworzeniu przyporządkowania  $\gamma$  [185], rezygnując z optymalizacji różnorodności wartości wymiarów. Takie tworzenie uporządkowanych rodzin konstrukcji skazuje zakład wytwórczy na straty ekonomiczne [18, 26, 38, 39, 182]. Rezygnuje się tym samym z efektów ekonomicznych wynikających z seryjności wytwarzania oraz racjonalnej recyrkulacji uporządkowanych środków technicznych.

Danymi wejściowymi w tym stadium są: macierz parametrów  $x_{ia}^u$ ; ( $i = 1, iz, a = 1, az$ ) oraz macierze zmiennych wartości wymiarów  $y_{ml}^c$ ; ( $m = i; l = 1, lv_j$ ). Aby zilustrować problem optymalizacji dla zunifikowanych wektorów potrzeb i typowej postaci konstrukcyjnej elementu  $\Pi_{rv}^{to}$ , rozważa się jako wynik przyporządkowania  $\delta$  dwa następujące skrajne stany, (rys. 5.8.1):

**S1** - wszystkim wektorom potrzeb odpowiada jedna uporządkowana konstrukcja,

**S2** - każdemu wektorowi potrzeb odpowiada jedna uporządkowana konstrukcja.

Stan S1, wynikający ze spełnienia kryterium **KI1**, jest korzystny głównie ze względu na seryjność wytwarzania oraz wymiennosc elementów, natomiast stan S2, powstały w wyniku spełnienia kryterium **KI2**, jest korzystny ze względu na minimalizację przewymiarowania konstrukcji, a więc minimalizację masy i maksymalne wyężenie materiału.



Rys. 5.8.1. Ilustracja zagadnienia optymalizacji różnorodności wartości wymiarów  
Fig. 5.8.1. Illustration of the problem of optimizing the variety of dimensions values

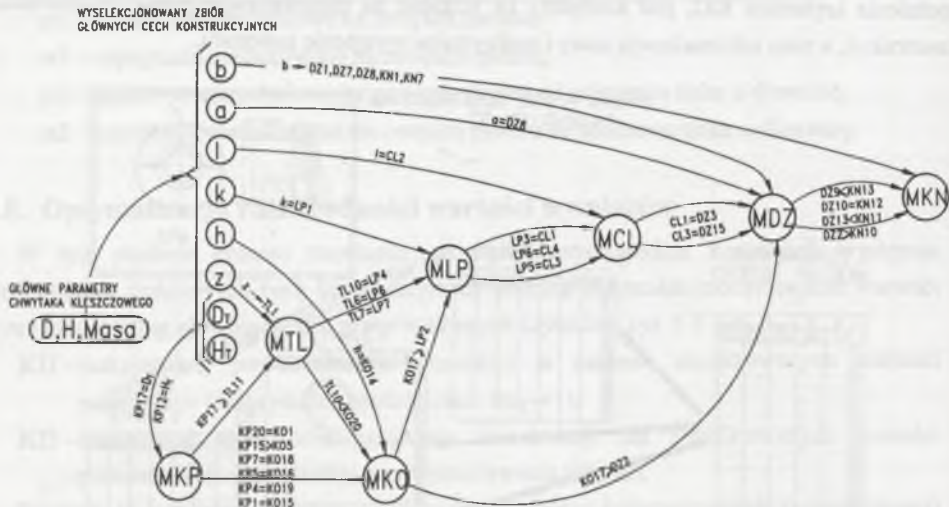
W celu rozwiązania problemu optymalizacji różnorodności wartości wymiarów zastosowano w pracy automatyczną klasyfikację dostosowaną do potrzeb klasyfikacji konstrukcji. Wyróżniono trzy podstawowe metody tworzenia przyporządkowania  $\delta$ :

- 1) **metoda selekcji wymiarów**  $\delta_A$  – polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{X}_i^u$  konstrukcji, których dyskretyzację wartości wymiarów przeprowadza się na podstawie optymalizacji różnorodności wartości istotnych wymiarów rodziny konstrukcji  $WI_i^{rk}$ ,
- 2) **metoda relacji sprzężeń**  $\delta_B$  – polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{X}_i^u$  konstrukcji, których dyskretyzację wartości wymiarów  $WV_1^{t_{ij}}; (i=1, l_{v_j})$  przeprowadza się na podstawie optymalizacji różnorodności wartości wymiarów, spełniając jednocześnie relacje sprzężeń według grafu  $G(\Pi_{rw}^{t_{ij}})$ ,
- 3) **metoda iteracyjnego doboru**  $\delta_C$  - polega na przyporządkowaniu wektorom potrzeb  $\bar{X}_i^u$  konstrukcji, których optymalizacja różnorodności wartości wymiarów przeprowadzana jest w trakcie dobierania cech konstrukcyjnych według grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{t_{ij}})$ .

W celu racjonalnego utworzenia przyporządkowania  $\delta$  niezbędne jest określenie relacji sprzężeń oraz zastosowanie metod pozwalających na wybór wymiarów istotnych rodziny konstrukcji.

**5.8.1. Sprzężenia zewnętrzne i wewnętrzne między wymiarami elementów**

Optymalizacja zróżnicowania wartości wymiarów elementów związana jest z zachowaniem relacji sprzężeń między wymiarami elementów.

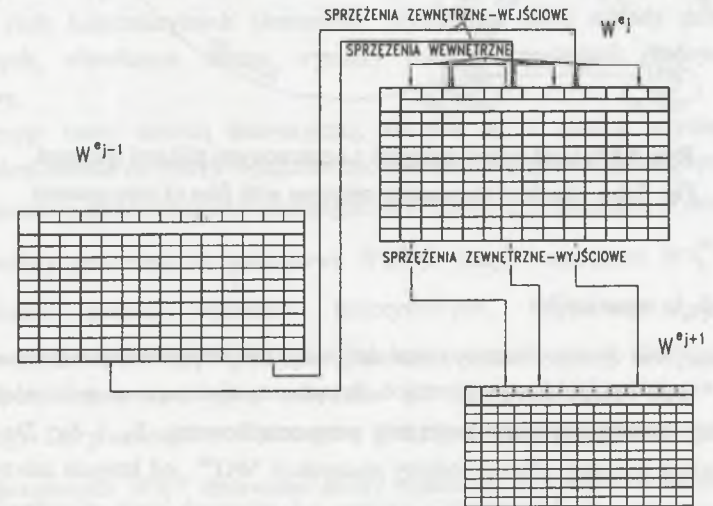


Rys. 5.8.2. Graf relacji sprzężeń chwytaka kleszczowego wraz z relacjami sprzężeń wymiarowych

Fig. 5.8.2. Graph of conjugation relations for the tongs gripper with relations of dimensions conjugations

Spełnia się przez to możliwość kombinatorycznego doboru różnych konstrukcji elementów, przez minimalizację ich liczby i objęcie nimi jak najszerszego zakresu potrzeb. Podstawą zapisu sprzężeń jest graf relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{t_{ij}})$ .

Przykład takiego grafu rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych przedstawiono na rys. 5.8.2. 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 ( $W_1^{e_{j-1}} (i=1, l_{v_{j-1}}) \uparrow W_1^{e_j} (i=1, l_{v_j})$ ) oraz sprzężenia zewnętrzne – wyjściowe między wymiarami elementów ( $W_1^{e_j} (i=1, l_{v_j}) \downarrow W_1^{e_{j-1}} (i=1, l_{v_{j-1}})$ ). 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. 5.8.3.



Rys. 5.8.3. Model relacji sprzężeń elementu  $e_j$

Fig. 5.8.3. 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  $e_j$ ,

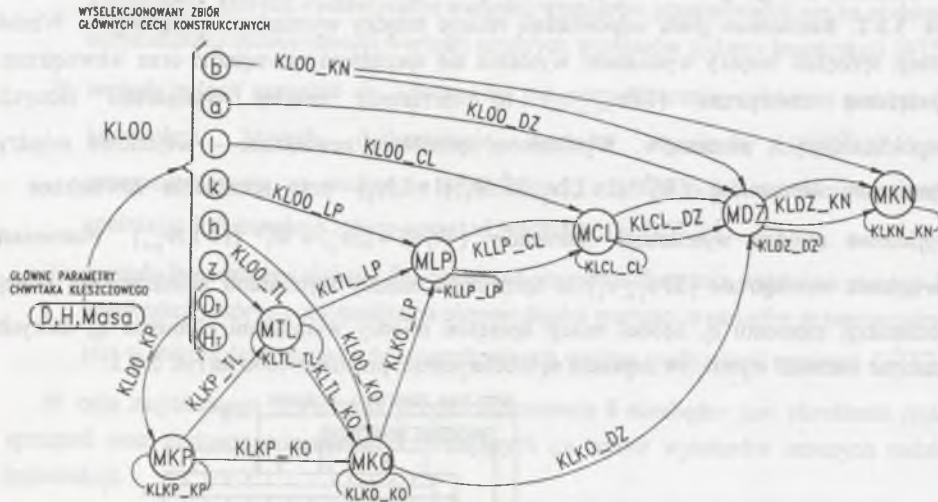
$$SPe_{j-e_j} \rightarrow [a(k), rel(k), b(k)].$$

Oznaczeniom kolumn odpowiadają:

- $a(k)$  – numer wymiaru elementu sprzężonego,

- rel(k) – relacja między wymiarami (przyjęto następujące oznaczenia: 1=, 2->, 3->, 4-<, 5-<, 6-> (odpowiednio)),
- b(k) – numer wymiaru elementu sprzęganego.

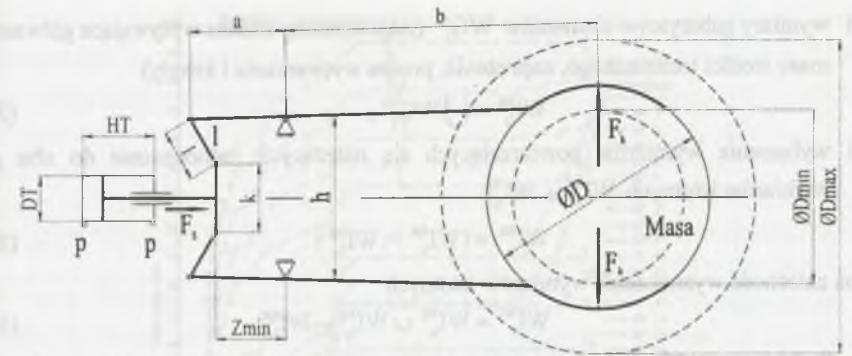
Graf relacji sprzężeń wraz z oznaczonymi plikami sprzężeń przedstawiono na rys. 5.8.4.



Rys. 5.8.4. Graf relacji sprzężeń z oznaczonymi plikami sprzężeń  
Fig. 5.8.4. Graph of conjugation relations with files of conjugations

5.8.2. 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  $WG_{11}^{RK}$ , od których zależy działanie środka technicznego. Są bezpośrednio zależne od głównych cech charakterystycznych. Spośród wymiarów głównych wyznacza się cechy charakterystyczne zależne  $CCH_2^*$  (rozd. 3.2). Przykładowo dla rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych wymiarami głównymi są wymiary zapisane w modelu fenomenologicznym, (rys. 5.8.5), od których zależy działanie chwytaka kleszczowego. Należą do nich wymiary  $WG_{11}^{RK} \{a, b, l, k, h, z, DT, HT\}$ , które uwzględniane są szczególnie przy tworzeniu przyporządkowania  $\delta_B$ .



Rys. 5.8.5. Model fenomenologiczny rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych  $RK^{KL}$   
Fig. 5.8.5. Phenological model of the family of constructions of tongs grippers  $RK^{KL}$

Do grupy wymiarów reprezentatywnych należą również wymiary istotne  $WI_1^{RK} (l=1, lz_s)$ . Istotność wymiaru wynika z wpływu ilościowych cech charakterystycznych na dobór ilościowych cech konstrukcyjnych elementów. Wyróżniono dwie metody selekcji cech konstrukcyjnych, określające istotne wymiary 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  $WV_1^{Lc_j} (l=1, lz_v)$ , określonych w rozdziale 5.6, stanowią wymiary geometryczne: gabarytowe  $WG_1^{Lc_j} (l=1, lz_s)$  i sprzężone  $WS_1^{Lc_j} (l=1, lz_s)$  (przy założeniu stałości wymiarów tworzywowych,  $W_{(t)}^{Lc_j} = const$  - warunek monotworzywości, w przeciwnym razie również będą uwzględniane w zbiorze wymiarów istotnych). Spośród grup wymiarów zmiennych dokonuje się selekcji wymiarów istotnych  $WI_1^{RK} (l=1, lz_s)$ . Dla poszczególnych elementów ( $j=1, jz$ ), z wymiarów gabarytowych  $WG_1^{Lc_j}$  i wymiarów sprzężonych  $WS_1^{Lc_j}$  zestawiano zbiory wymiarów, w których określono również rodzaj sprzężenia:

$$WG_1^{Lc_j} (l=1, lz_s) \cup WS_1^{Lc_j} \{WS_1^{Lc_{j-1}} (l \in I_1^{Lc_{j-1}}) \uparrow WS_1^{Lc_j} (l \in I_1^{Lc_j}) \dots WS_1^{Lc_s} (l \in I_1^{Lc_s}) \downarrow WS_1^{Lc_{j+1}} (l \in I_1^{Lc_{j+1}}) \dots\}, \quad (5.81)$$

dla  $j=1, jz$ .

Selekcja wymiarów istotnych polega na wyeliminowaniu wymiarów powtarzających się i skorelowanych, aby uniknąć dominacji cech. Przyjęto następujące kryteria selekcji w wyróżnionych zbiorach wymiarów gabarytowych i sprzężonych:

- 1) wymiary sprzężone związane z głównymi cechami charakterystycznymi  $CCH_2^*$  i głównymi wymiarami  $WG_1^{RK}$

$$WI_1^{RK} = W_1^{Lc_j} f(CCH_2^* \cup WG_1^{RK}), \quad (5.82)$$



- 2) wymiary gabarytowe elementów  $WG_i^{M3}$  (jako wymiary istotne wpływające głównie na masę środka technicznego, naprężenia, proces wytwarzania i koszty)

$$WI_i^{RK} = \bigcup WG_i^{M3}, \quad (5.83)$$

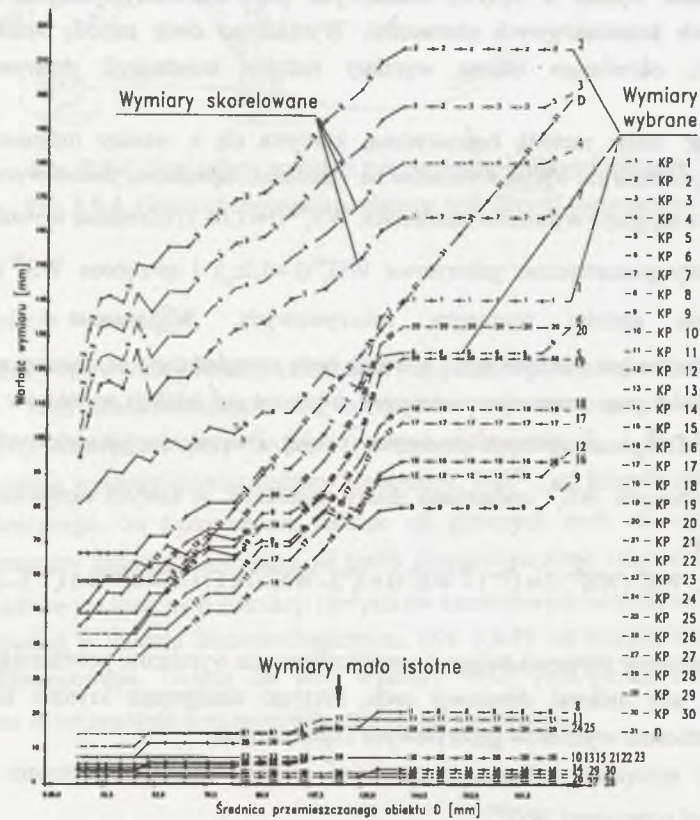
- 3) wyłączenie wymiarów powtarzających się, należących jednocześnie do obu grup wymiarów istotnych  $WI_i^{RK}$  i  $WI_j^{RK}$

$$WI_i^{RK} = (WI_i^{RK} \cap WI_j^{RK}). \quad (5.84)$$

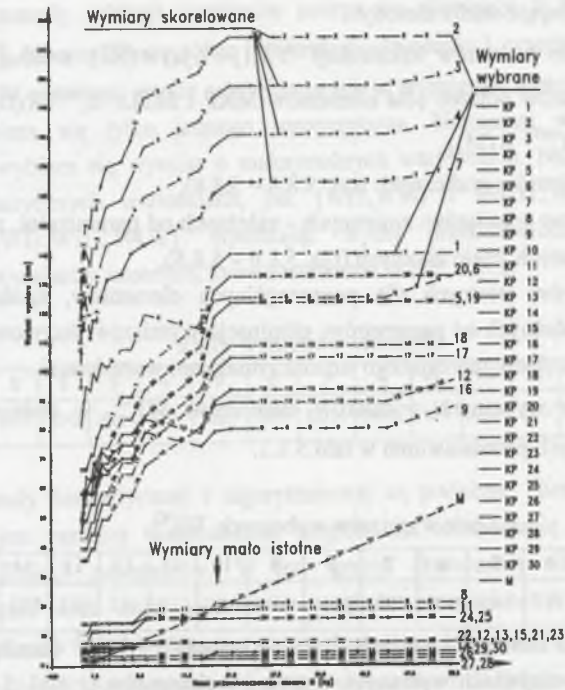
Ogólna zależność wyznaczenia wymiarów istotnych

$$WI_i^{RK} = WI_i^{RK} \cup WI_j^{RK} - WI_j^{RK}. \quad (5.85)$$

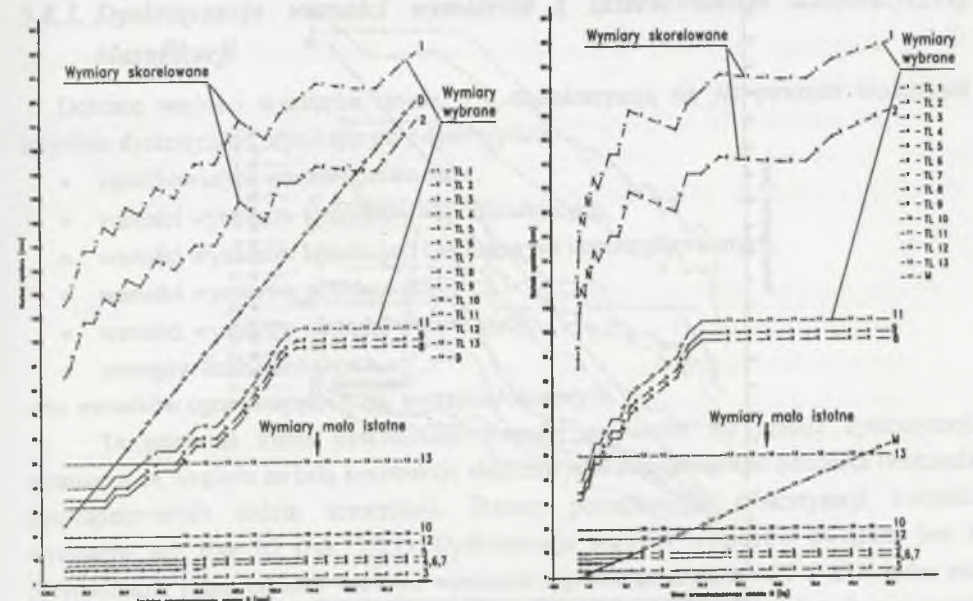
Kolejną metodą selekcji wymiarów jest metoda algorytmiczna, która polega na analizie zmienności wartości wymiarów elementów w zależności od wartości głównych cech charakterystycznych zapisanych w postaci wykresów. Przykłady zmienności wymiarów elementów MKP i MTL dla dwóch głównych cech charakterystycznych (D - średnicy przemieszczanego obiektu i M - masy obiektu), przedstawiono na rys. 5.8.6-5.8.8.



Rys. 5.8.6. Zmienność wymiarów elementu MKP w zależności od D  
 Fig. 5.8.6. Variability of dimensions of the element MKP as a function of D



Rys. 5.8.7. Zmienność wymiarów elementu MKP w zależności od M  
 Fig. 5.8.7. Variability of dimensions of the element MKP as a function of M



Rys. 5.8.8. Zmienność wymiarów elementu MTL w zależności od D i M  
 Fig. 5.8.8. Variability of dimensions of the element MTL as a function of D and M

Wyróżniono następujące stadia metody:

- 1) uporządkowanie wektorów konstrukcji  $\bar{Y}_m^j; (j=1, jz) \prec (\bar{X}_i^u)$  według wzrastających wartości wektorów potrzeb (dla elementów MKP i MTL:  $Y_1^{MKP} \prec (D)$ ,  $Y_1^{MKP} \prec (M)$ ,  $Y_1^{MTL} \prec (D)$  i  $Y_1^{MTL} \prec (M)$ ),
- 2) utworzenie wykresów graficznych (rys. 5.8.6 – 5.8.8),
- 3) wyróżnienie grup wymiarów: zmiennych - zależnych od parametrów, zmiennych – ze sobą skorelowanych, mało istotnych (rys. 5.8.6 – 5.8.8),
- 4) wybór wymiarów istotnych dla poszczególnych elementów, spośród wymiarów zmiennych - zależnych od parametrów, eliminację wymiarów skorelowanych poprzez wybór wymiaru charakteryzującego się maksymalnymi wartościami.

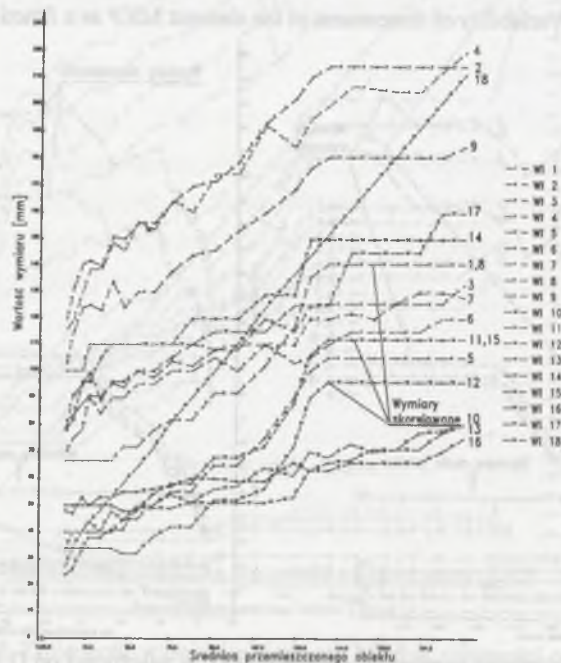
Przykładowy zbiór wybranych wymiarów elementów  $WI_1^{KL}$  w rodzinie konstrukcji chwytaków kleszczowych przedstawiono w tabl.5.8.1.

Tablica 5.8.1

Zbiór wymiarów wybranych  $WI_1^{KL}$

L.p.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$WI_1^{KL}$	KP1	KP2	KP6	TL1	TL11	KO9	KO14	KO15	KO19	LP1	LP2	CL1	CL2	DZ1	DZ2	DZ8	KN1	KN3

W celu wyróżnienia istotnych wymiarów rodziny konstrukcji  $RK^{KL}$  określa się w postaci wykresów zmienność wszystkich wybranych wymiarów elementów (z tabl. 5.8.1) w funkcji parametrów, rys. 5.8.9.



Rys. 5.8.9. Zmienność wybranych wymiarów

Fig. 5.8.9. Variability of chosen dimensions

Drugi etap metody selekcji wymiarów polega na eliminacji z wyróżnionego zbioru wymiarów  $WI_1^{RK}$  (obejmującego różne konstrukcje elementów), wymiarów powtarzanych i skorelowanych. W pierwszej grupie selekcjonowane są wymiary o identycznych wartościach, z których wybiera się tylko jednego reprezentanta. Natomiast w grupie wymiarów skorelowanych wybiera się wymiar o maksymalnych wartościach. Na rys. 5.8.9 pokazano wymiary o identycznych wartościach, jak  $\{WI1, WI8\}$  i  $\{WI11, WI15\}$  oraz wymiary skorelowane  $\{WI1, WI11, WI12\}$ . Spełniając wyżej przedstawione kryteria selekcji, wyróżniono 14 wymiarów istotnych, które zestawiono w tabl. 5.8.2.

Tablica 5.8.2

Zbiór wymiarów istotnych

L.p.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$WI_1^{KL}$	KP1	KP2	KP6	TL1	TL11	KO9	KO14	KO19	LP1	CL2	DZ1	DZ8	KN1	KN3

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. Prawdopodobnie wybrany zbiór wymiarów istotnych rodziny konstrukcji  $WI_1^{KL}$  ma wpływ na przebieg optymalizacji różnorodności wartości wymiarów i decyduje o przyporządkowaniu  $\delta_A$ .

### 5.8.3. Dyskretyzacja wartości wymiarów z zastosowaniem automatycznej klasyfikacji

Dobre wartości wymiarów, rozdz. 5.7, charakteryzują się już pewnym istniejącym stopniem dyskretyzacji, wynikającym z dyskretyzacji:

- zunifikowanych wartości parametrów,
- wartości wymiarów elementów współdziałających,
- wartości wymiarów konstrukcji katalogowych i znormalizowanych,
- wartości wymiarów półfabrykatów,
- wartości wymiarów narzędzi wytwórczych,
- szeregów liczb normalnych,

oraz warunków ograniczających, np. wytrzymałościowych.

Ta naturalna forma dyskretyzacji wartości wymiarów nie ujmuje dyskretyzacji wymiarów ze względu na całą konstrukcję elementu jako podstawowego składnika tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Stanem początkowym dyskretyzacji wartości wymiarów jest stan S2 (rys. 5.8.1). Dyskretyzacja wartości wymiarów związana jest z optymalizacją różnorodności wartości wymiarów, spełniając kryteria  $KI1$  i  $KI2$ , które nie zawsze prowadzą do zmniejszenia liczby konstrukcji elementów odpowiadających przestrzeni potrzeb. Stanowi narzędzie do podjęcia takiej próby w sposób racjonalny, w dużym stopniu algorytmizowalnym, dla wielu konstrukcji elementów rodziny konstrukcji. Jest to zagadnienie

multiwariantowe [25], uwzględniające zbiór konstrukcji reprezentowanych przez zbiór zmiennych wartości wymiarów  $Y_m^{ej}; (j=1, lz; m=i)$ .

Podstawowym zagadnieniem metody jest: *takie ujęcie zbioru konstrukcji elementów w układ klas  $U_N = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_N\}$ , 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.*

Jest to zagadnienie automatycznej klasyfikacji [5, 6, 12], które zostało w pracy [54, 78, 79, 82, 84] i w pracy niniejszej dostosowane do zagadnień klasyfikacji konstrukcji elementów porządkowanej rodziny konstrukcji  $RK_n$ . W pracy [54] przeanalizowano, ze względu na automatyczną klasyfikację konstrukcji elementów spełniających warunek kongruencji konstrukcji (5.7.3), miary zróżnicowania konstrukcyjnego  $d_{jk}$  (podobieństwa konstrukcyjnego  $s_{jk}$ ), miary oceny klasy (pod względem rozproszenia)  $h(A_i)$ , miary odseparowania między dwoma klasami  $D_{A_i A_j}$ , miary oceny układu klas: sumarycznego rozproszenia układu klas  $H(U_N)$ , sumarycznego odseparowania układu klas  $D(U_N)$ , funkcji celu wyboru optymalnego układu klas  $FC(U_N)$ . Miary te zmodyfikowano na podstawie opracowanych uporządkowanych rodzin konstrukcji i przedstawiono poniżej w kolejności ich stosowania w algorytmach obliczeniowych. Przedmiotem analizy są również metody automatycznej klasyfikacji, z których wyróżniono, zgodnie z wynikami prac [5, 12, 54, 79], metody hierarchicznej klasyfikacji i metody iteracyjnej klasyfikacji, które dostosowano do potrzeb klasyfikacji konstrukcji reprezentowanych przez wymiary główne (lub istotne) oraz wymiary zmienne elementów.

Danymi wejściowymi do optymalizacji różnorodności wartości wymiarów jest macierz danych z dobranymi i zweryfikowanymi wartościami wymiarów elementu  $e_j$ :  $y_{ij}^{ej}; (i=m; j=1, lz_j)$ . W celu uproszczenia zapisu w następnych zależnościach przyjęto  $lv_j = lz$ .

Wprowadzono następujące założenia klasyfikacji:

- tworzony układ klas jest układem rozłącznym  $A_i \cap A_j = 0$ ,
- danymi wejściowymi są dane zdeterminowane,
- dopuszcza się klasy jednoelementowe.

Najlepsze wyniki klasyfikacji konstrukcji dały klasyfikacje z zastosowaniem miar Euklidesa [54]:

- ❖ pierwszego rzędu stosując klasyfikację hierarchiczną

$$d_{jk} = \sqrt{\sum_{l=1}^{lz} (y_{jl} - y_{kl})^2} \quad (5.86)$$

- ❖ drugiego rzędu stosując klasyfikację iteracyjną

$$d_{jk}^2 = \sum_{l=1}^{lz} (y_{jl} - y_{kl})^2 \quad (5.87)$$

Miary te spełniają następujące założenia:

- $d_{jk}^2 \geq 0$ ,
- $d_{kk}^2 = 0$ ,
- $d_{jk}^2 = d_{kj}^2$ ,
- $d_{jk}^2 \leq d_{jm}^2 + d_{km}^2$  - warunek metryczności.

Podstawą oceny klasy z układu klas  $U_N = \{A_1, \dots, A_i, \dots, A_N\}$  jest miara rozproszenia klasy  $h(A_i)$  (heterogenności) wyznaczana według zależności:

$$h(A_i) = \sum_{k \in A_i} \sum_{l=1}^{lz} (y_{kl} - \bar{y}_{A_i l})^2 \quad (5.89)$$

gdzie:

$$\bar{y}_{A_i l} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{A_i} y_{jl} \quad (5.90)$$

$n_i$  - liczba konstrukcji w klasie  $A_i$ .

Zależność (5.89) może być zastąpiona zależnością:

$$h(A_i) = \frac{1}{2n_i} \sum_{k \in A_i} \sum_{j \in A_i} d_{kj}^2 \quad (5.91)$$

Drugą miarą oceny klas jest odległość między dwoma klasami  $A_i$  a  $A_n$

$$D_{A_i A_n} = \sum_{l=1}^{lz} (\bar{y}_{A_i l} - \bar{y}_{A_n l})^2 = \frac{1}{n_i n_n} \sum_{k \in A_i} \sum_{j \in A_n} d_{kj}^2 \quad (5.92)$$

Celem klasyfikacji jest uzyskanie takiego optymalnego układu klas  $U_N^* \{A_1^*, \dots, A_N^*\}$ , przy założonej liczbie klas  $N$ , który spełnia kryteria:

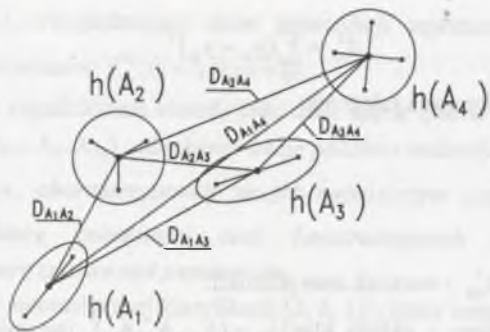
- KK1** - układ klas powinien się charakteryzować jak najmniej rozproszonymi klasami,

$$H(U_N) = \sum_{i=1}^N h(A_i) \rightarrow \text{Min}, \quad (5.93)$$

- KK2** - układ klas powinien się charakteryzować jak największym odseparowaniem między klasami,

$$D(U_N) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{n>i}^N D_{A_i A_n} \rightarrow \text{Max}. \quad (5.94)$$

Miary:  $H(U_N)$  – sumarycznego rozproszenia oraz  $D(U_N)$  – sumarycznego odseparowania, są podstawą oceny układów klas  $U_N$ . Na rys. 5.8.10 przedstawiono graficznie sumaryczne rozproszenie układu klas jako sumę odległości składników klasy  $A_i$  od jej środka. Suma tych miar dla wszystkich klas określa sumaryczne rozproszenie  $H(U_N)$ . Natomiast sumaryczne odseparowanie między klasami  $D(U_N)$  to suma odległości między środkami wszystkich klas  $D_{A_i A_n}$ .



Rys. 5.8.10. Interpretacja graficzna sumarycznego rozproszenia i sumarycznego odseparowania układu klas

Fig. 5.8.10. Graphic interpretation of summary dissipation and summary separation of a class system

W programach obliczeniowych przyjęto następujące oznaczenia zastępcze: iz → M, az → L1, lz → L2.

5.8.3.1. Metody hierarchicznej klasyfikacji

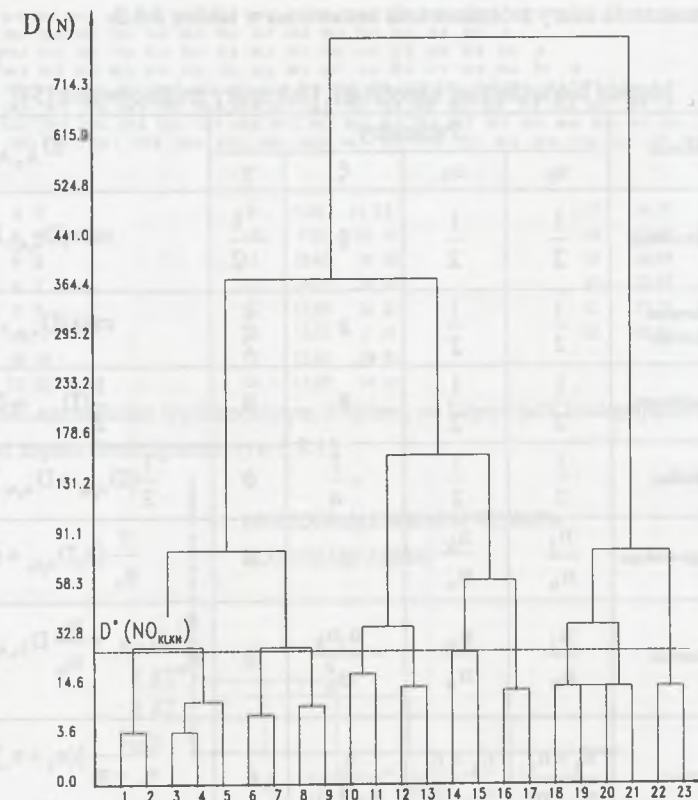
Metody hierarchicznej klasyfikacji to metody przedstawiające różnorodność cech obiektów (w niniejszej pracy zbiorów konstrukcji elementów  $ks_m^{te,j} (m=1, iz)$ ) w postaci dendrogramów. Wyróżniono następujące stadia hierarchicznej klasyfikacji konstrukcji (zbieżnej), które algorytmizowano i ujęto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

- 1) czytanie macierzy parametrów  $x_m^i$  i macierzy danych  $y_{ij}^c$ ,
- 2) zapis cech w formie tablic,
- 3) obliczenie zróżnicowania między konstrukcjami z zastosowaniem miary euklidesowej pierwszego rzędu (5.86),
- 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. 5.8.11.

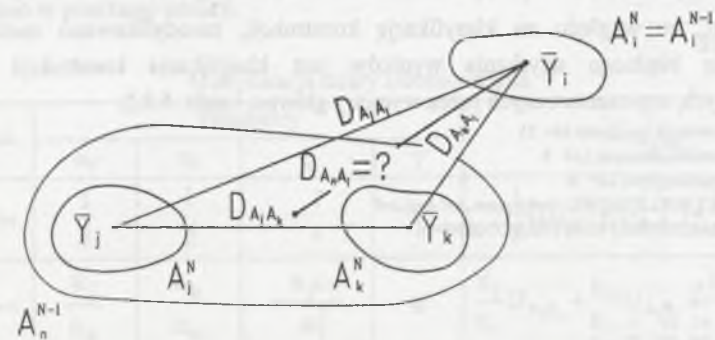
W pracy podjęto szczegółową analizę siedmiu metod klasyfikacji hierarchicznej, które różnią się między sobą sposobem wyznaczania miary zróżnicowania między nowo utworzoną klasą  $A_n^{N-1} = A_j^N \cup A_k^N$  układu klas  $U_{N-1}$  a zróżnicowaniem między klasami  $A_i^{N-1} = A_i^N$  z poprzedniego układu klas  $U_N$ , (rys. 5.8.12). Zakłada się, że występuje zbieżny model klasyfikacji hierarchicznej. Ogólna zależność wyznaczania miary zróżnicowania jest następująca [5, 12, 54]

$$D_{A_n A_i} = \alpha_j D_{A_j A_i} + \alpha_k D_{A_k A_i} + \xi D_{A_j A_k} + \gamma |D_{A_j A_i} - D_{A_k A_i}| \quad (5.95)$$



Rys. 5.8.11. Dendrogram zmiennych wartości wymiarów konstrukcji elementów o typowej postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{te_{KLKN}}$

Fig. 5.8.11. Dendrogram of variable values of construction dimensions of elements of the constructional form  $\Pi^{te_{KLKN}}$



Rys. 5.8.12. Model wyznaczania zróżnicowania między nowo tworzoną klasą a pozostałymi konstrukcjami lub klasami

Fig. 5.8.12. Model of determining of variability between the newly created class and the other classes or constructions

Metody wyznaczania miary zróżnicowania zestawiono w tablicy 5.8.3.

Tablica 5.8.3

Metody hierarchicznej klasyfikacji i ich miary zróżnicowania [54]

GEND	Metoda	Parametry				$D_{A_n A_i}$
		$\alpha_j$	$\alpha_k$	$\xi$	$\gamma$	
1	Single Linkage	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$\min\{D_{A_j A_i}, D_{A_k A_i}\}$
2	Complete Linkage	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\max\{D_{A_j A_i}, D_{A_k A_i}\}$
3	Sokal/Sneath	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0	$\frac{1}{2}(D_{A_j A_i} + D_{A_k A_i})$
4	Median	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{2}(D_{A_j A_i} + D_{A_k A_i}) - \frac{1}{4}D_{A_j A_k}$
5	Average-Linkage	$\frac{n_j}{n_n}$	$\frac{n_k}{n_n}$	0	0	$\frac{1}{n_n}(n_j D_{A_j A_i} + n_k D_{A_k A_i})$
6	Centroid	$\frac{n_j}{n_n}$	$\frac{n_k}{n_n}$	$-\frac{n_j n_k}{n_n^2}$	0	$\frac{n_j}{n_n} D_{A_j A_i} + \frac{n_k}{n_n} D_{A_k A_i} - \frac{n_j n_k}{n_n^2} D_{A_j A_k}$
7	Ward	$\frac{n_j + n_i}{n_n + n_i}$	$\frac{n_k + n_i}{n_n + n_i}$	$-\frac{n_i}{n_n + n_i}$	0	$\frac{1}{n_n + n_i} [(n_j + n_i) D_{A_j A_i} + (n_k + n_i) D_{A_k A_i} - n_i D_{A_j A_k}]$

Zróżnicowania między klasami  $D_{A_n A_i}$  przedstawiono graficznie na rys. 5.8.12, natomiast oznaczenia  $n_j, n_k, n_i, n_n = n_j + n_k$  to moce klas. Na podstawie analizy metod hierarchicznej klasyfikacji, ze względu na klasyfikację konstrukcji, zmodyfikowano metodę 4 i 6. Przykładem błędnego uzyskania wyników jest klasyfikacja konstrukcji chwytaków kleszczowych, reprezentowanych przez wymiary główne, rozdz. 5.8.2.

Liczba klasyfikowanych konstrukcji M= 23

Liczba cech charakterystycznych L1= 9

Liczba cech konstrukcyjnych L2= 6

RODZAJ MIARY EUKLIDESOWEJ (it=0-z pierw., it=1-bez) it=0

RODZAJ HIERARCHICZNEJ KLASYFIKACJI GEND=6

```

O 1 0
O 2 19.8 0
O 3 30.3 14.4 0
O 4 34.8 19.2 7.5 0
O 5 32.7 17.6 6.2 5.6 0
O 6 49.4 32.1 19.8 15.2 17.1 0
O 7 44.5 27.7 14.9 11.5 12.1 6.1 0
O 8 53.2 36.7 23.5 18.9 21.0 6.2 9.9 0
O 9 53.0 35.7 23.2 19.7 20.7 5.8 8.7 6.2 0
O 10 64.5 47.1 34.5 30.5 32.2 15.8 20.2 12.0 12.0 0
O 11 70.4 52.6 40.5 37.4 38.6 22.8 26.6 19.8 18.1 8.7 0
O 12 77.2 59.1 47.6 44.2 45.3 29.2 33.4 26.6 24.8 14.9 8.4 0
O 13 81.3 63.4 51.3 47.9 49.5 33.2 37.5 29.7 28.9 18.0 11.4 8.2 0
O 14 93.3 75.4 63.4 59.4 61.1 44.5 49.1 40.9 40.6 29.1 23.8 17.5 13.4 0
O 15 102.2 84.4 72.3 69.1 70.5 54.4 58.4 50.8 49.9 39.0 32.0 26.5 21.5 13.9 0
    
```

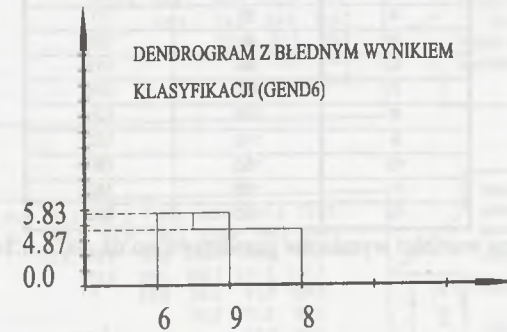
```

O 16 113.8 95.9 83.8 80.0 81.8 65.3 69.8 61.5 61.3 49.9 43.7 37.9 32.6 21.9 13.2 0
O 17 118.5 100.5 88.4 85.0 86.7 70.3 74.6 66.5 66.1 54.8 48.2 42.5 37.3 27.1 16.8 6.3 0
O 18 125.4 107.3 95.4 91.9 93.5 77.0 81.4 73.4 72.8 61.6 55.1 48.8 44.2 33.2 23.6 12.6 8.0 0
O 19 129.4 111.3 99.6 96.3 97.6 81.4 85.6 77.9 77.0 66.0 59.1 52.7 48.6 38.1 27.5 18.5 13.6 7.1 0
O 20 145.2 126.9 115.3 112.1 113.6 97.5 101.5 93.8 93.0 82.0 75.0 69.0 64.3 54.1 43.3 32.9 27.6 21.3 17.3 0
O 21 154.1 136.1 124.4 121.5 122.8 106.8 110.8 103.2 102.3 91.5 84.3 78.4 73.7 64.0 52.5 43.0 37.5 31.4 26.5 10.8 0
O 22 164.3 146.2 134.4 131.2 132.8 116.6 120.8 112.9 112.3 101.2 94.3 88.5 83.5 73.4 62.5 51.8 46.6 40.4 36.6 19.7 12.1 0
O 23 168.8 150.7 138.9 135.7 137.1 120.8 125.0 117.2 116.5 105.4 98.5 92.2 87.9 77.1 66.8 56.4 51.0 44.1 39.9 24.8 17.2 12.0 0
    
```

GEND=6

1	5.57	4 5	9	7.55	11 12	17	14.19	2 3
2	5.83	6 9	10	9.01	10 11	18	17.43	14 16
3	4.87	6 8	11	10.03	16 18	19	20.69	1 2
4	5.81	6 7	12	10.77	20 21	20	32.97	1 6
5	5.83	3 4	13	12.00	22 23	21	37.22	14 20
6	6.32	16 17	14	13.72	6 10	22	62.94	1
7	7.14	18 19	15	13.81	20 22			
8	8.25	12 13	16	13.89	14 15			

Błędne wyniki zaznaczono wytłuszczonym drukiem, co odpowiada następującemu fragmentowi zapisu dendrogramu, rys. 5.8.13.



Rys. 5.8.13. Błędny wynik klasyfikacji

Fig. 5.8.13. The incorrect result of classification

Wyniki takie wystąpiły wyłącznie po zastosowaniu metody Median (GEND=4) oraz metody Centroid (GEND=6). W metodach tych zmieniono sposób wyznaczania zróżnicowania, jak to przedstawiono w poniższej tablicy.

Tablica 5.8.4

Modyfikacja miary zróżnicowania

GEND	Metoda	Parametry				$D_{A_n A_i}$
		$\alpha_j$	$\alpha_k$	$\xi$	$\gamma$	
4	Median	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{2}(D_{A_j A_i} + D_{A_k A_i}) + \frac{1}{4}D_{A_j A_k}$
6	Centroid	$\frac{n_j}{n_n}$	$\frac{n_k}{n_n}$	$+\frac{n_j n_k}{n_n^2}$	0	$\frac{n_j}{n_n} D_{A_j A_i} + \frac{n_k}{n_n} D_{A_k A_i} + \frac{n_j n_k}{n_n^2} D_{A_j A_k}$

Dla zmodyfikowanych miar zróżnicowania uzyskano następujące wyniki hierarchicznej klasyfikacji:

GEND=6

1	5.57	4 5	4	7.14	18 19	7	8.31	3 4
2	5.83	6 9	5	7.46	6 8	8	8.66	10 11
3	6.32	16 17	6	8.25	12 13	9	10.06	6 7

10	10.77	20	21	15	18.57	2	3	20	67.63	1	6
11	12.00	22	23	16	23.93	20	22	21	69.71	14	20
12	13.89	14	15	17	30.59	1	2	22	142.71	1	14
13	16.02	16	18	18	30.90	6	10				
14	17.48	10	12	19	32.32	14	16				

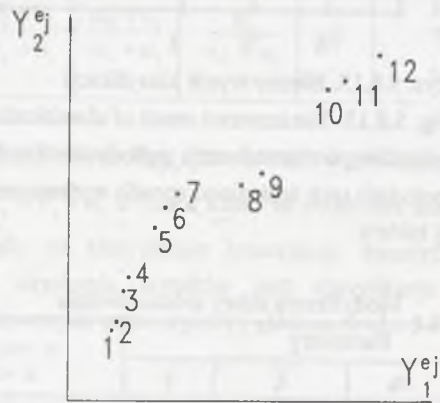
W celu przedstawienia metody klasyfikacji hierarchicznej dostosowanej do klasyfikacji konstrukcji, rozważany jest zbiór danych, który mógłby dotyczyć konstrukcji sworzni (konstrukcji o dwóch zmiennych wymiarach  $y_i^j$ ;  $i=1,2$ ), tabl.5.8.5).

Tabl. 5.8.5

Przykładowa macierz wymiarów zmiennych

L.p.	$y_{i1}^1$	$y_{i2}^1$
	mm	
1	25	40
2	28	45
3	32	63
4	35	71
5	50	100
6	56	112
7	63	120
8	100	125
9	112	132
10	150	180
11	160	185
12	180	200

Interpretację graficzną wartości wymiarów przedstawiono na rys. 5.8.14.



Rys. 5.8.14. Zapis graficzny ilościowych cech konstrukcyjnych  
Fig. 5.8.14. Graphic notation of quantity constructional features

Przebieg klasyfikacji hierarchicznej:

KLASYFIKACJA HIERARCHICZNA KONSTRUKCJI  
Liczba klasyfikowanych konstrukcji M= 12  
Liczba cech konstrukcyjnych L2= 2  
Rodzaj miary Euklidesowej (it=0-z pierw.,it=1-bez) it=0  
Rodzaj hierarchicznej klasyfikacji GEND=1

Aby przedstawić krok po kroku przebieg analizy różnorodności konstrukcji korzystając z metody Single Linkage, przeprowadzono poniżej przekształcenia tablicy zróżnicowań  $d_{ij}$ .

O 1	5.8	24.0	32.6	65.0	78.4	88.6	113.4	126.6	187.7	198.1	222.8
O 2		18.4	26.9	59.2	72.6	82.8	107.6	120.9	182.0	192.4	217.1
O 3			8.5	41.1	54.6	64.9	92.0	105.6	166.2	176.8	201.7
O 4				32.6	46.1	56.4	84.5	98.2	158.4	169.2	194.1
O 5					13.4	23.9	55.9	69.8	128.1	139.0	164.0
O 6						10.6	45.9	59.5	116.0	127.1	152.1
O 7							37.3	50.4	105.7	116.8	141.7
O 8								13.9	74.3	84.9	109.7
O 9									61.2	71.5	96.2
O 10										11.2	36.1
O 11											25.0

Każda konstrukcja tworzy klasę  
 $U(12)=\{O1\}\{O2\}\{O3\}\{O4\}\{O5\}\{O6\}\{O7\}\{O8\}\{O9\}\{O10\}\{O11\}\{O12\}$   
Wybór konstrukcji o najmniejszej wartości zróżnicowania  $d(O1, O2)=5.8$

O 1,2	18.4	59.2	72.6	82.8	107.6	120.9	182.0	192.4	217.1		
O 3,4			32.6	46.1	56.4	84.5	98.2	158.4	169.2	194.1	
O 5				13.4	23.9	55.9	69.8	128.1	139.0	164.0	
O 6					10.6	45.9	59.5	116.0	127.1	152.1	
O 7						37.3	50.4	105.7	116.8	141.7	
O 8							13.9	74.3	84.9	109.7	
O 9								61.2	71.5	96.2	
O 10									11.2	36.1	
O 11										25.0	

Połączenie konstrukcji O3 i O4 w klasę i obliczenie nowego zróżnicowania z pozostałymi konstrukcjami wg zależności  $\min\{D_{A_jA_i}, D_{A_kA_i}\}$   
 $U(12)=\{O1, O2\}\{O3, O4\}\{O5\}\{O6\}\{O7\}\{O8\}\{O9\}\{O10\}\{O11\}\{O12\}$   
Wybór konstrukcji o najmniejszej wartości zróżnicowania  $d(O6, O7)=10.6$

O 1,2	18.4	59.2	72.6	107.6	120.9	182.0	192.4	217.1			
O 3,4			32.6	46.1	84.5	98.2	158.4	169.2	194.1		
O 5				13.4	55.9	69.8	128.1	139.0	164.0		
O 6,7					37.3	50.4	105.7	116.8	141.7		
O 8						13.9	74.3	84.9	109.7		
O 9							61.2	71.5	96.2		
O 10								11.2	36.1		
O 11									25.0		

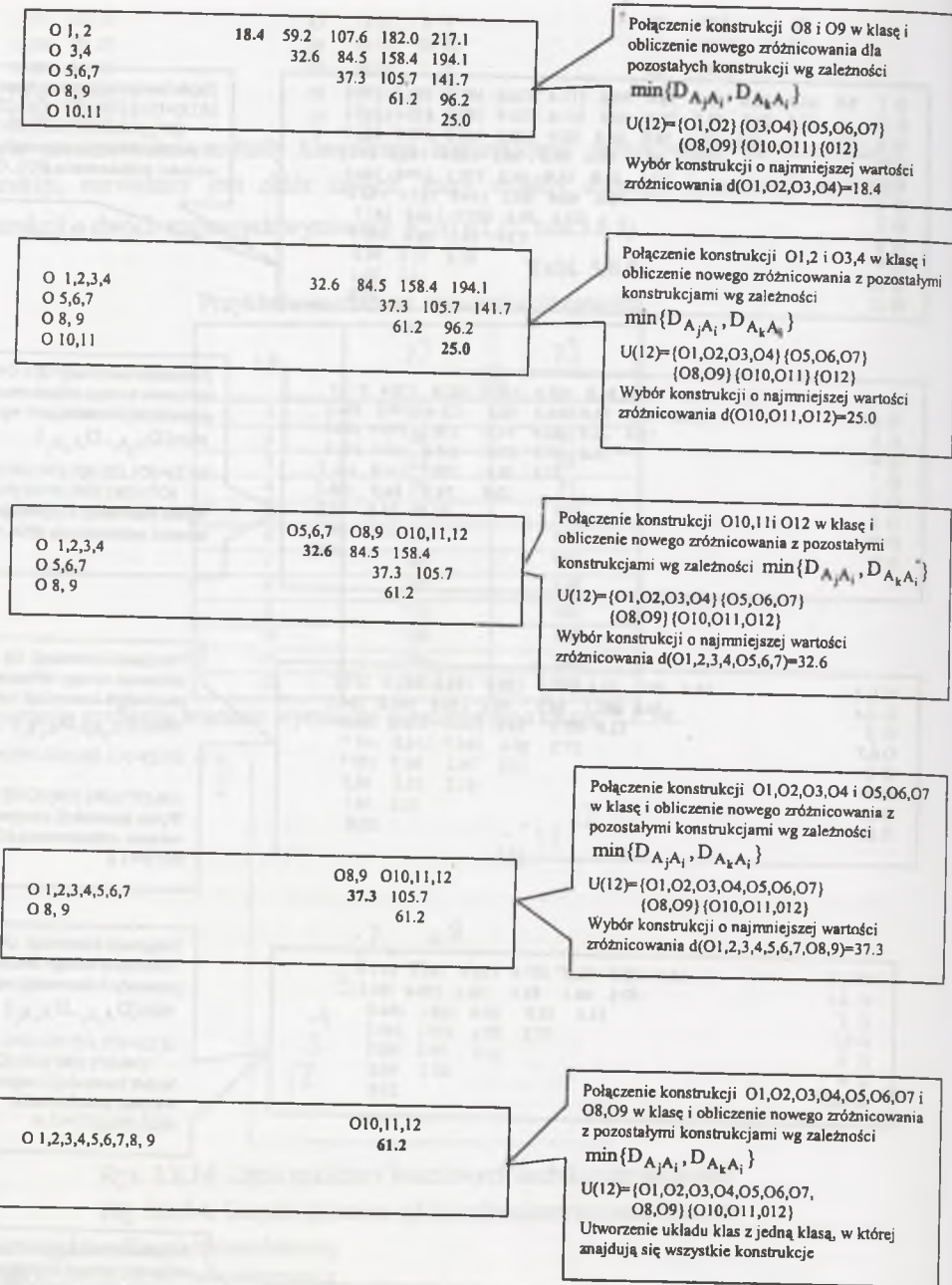
Połączenie konstrukcji O6 i O7 w klasę i obliczenie nowego zróżnicowania dla pozostałych konstrukcji wg zależności  $\min\{D_{A_jA_i}, D_{A_kA_i}\}$   
 $U(12)=\{O1, O2\}\{O3, O4\}\{O5\}\{O6, O7\}\{O8\}\{O9\}\{O10\}\{O11\}\{O12\}$   
Wybór konstrukcji o najmniejszej wartości zróżnicowania  $d(O10, O11)=11.2$

O 1,2	18.4	59.2	72.6	107.6	120.9	182.0	217.1				
O 3,4			32.6	46.1	84.5	98.2	158.4	194.1			
O 5				13.4	55.9	69.8	128.1	164.0			
O 6,7					37.3	50.4	105.7	141.7			
O 8						13.9	74.3	109.7			
O 9							61.2	96.2			
O 10,11									25.0		

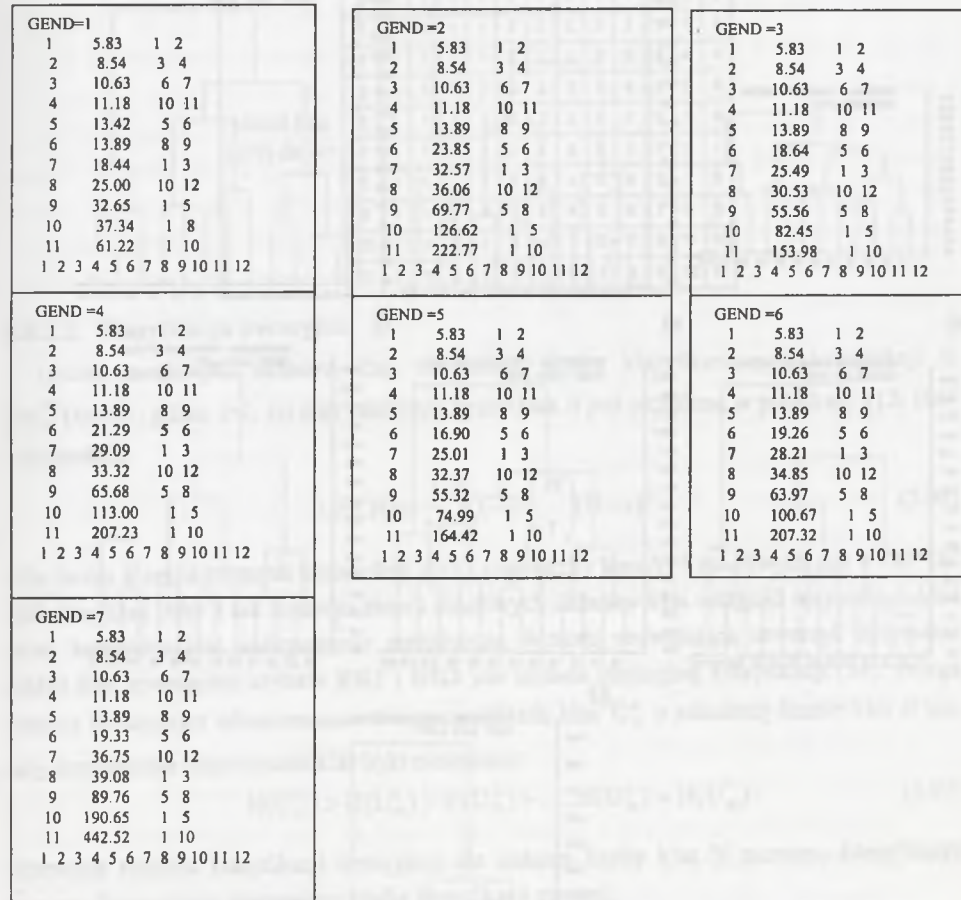
Połączenie konstrukcji O10 i O11 w klasę i obliczenie nowego zróżnicowania dla pozostałych konstrukcji wg zależności  $\min\{D_{A_jA_i}, D_{A_kA_i}\}$   
 $U(12)=\{O1, O2\}\{O3, O4\}\{O5\}\{O6, O7\}\{O8\}\{O9\}\{O10, O11\}\{O12\}$   
Wybór konstrukcji o najmniejszej wartości zróżnicowania  $d(O5, \{O6, O7\})=13.4$

O 1,2	18.4	59.2	107.6	120.9	182.0	217.1					
O 3,4			32.6	84.5	98.2	158.4	194.1				
O 5,6,7				37.3	50.4	105.7	141.7				
O 8					13.9	74.3	109.7				
O 9						61.2	96.2				
O 10,11								25.0			

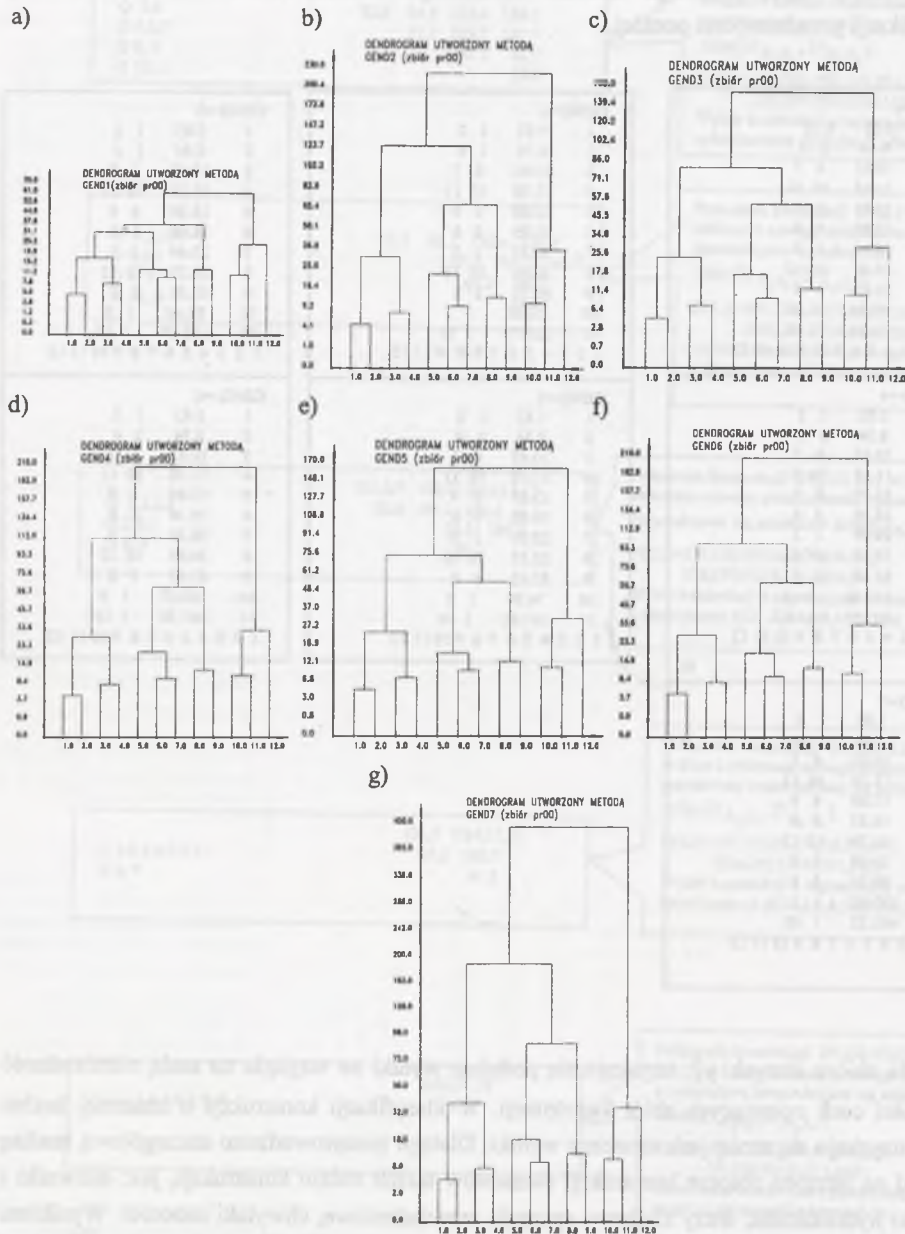
Połączenie konstrukcji O5,6 i O7 w klasę i obliczenie nowego zróżnicowania z pozostałymi konstrukcjami wg zależności  $\min\{D_{A_jA_i}, D_{A_kA_i}\}$   
 $U(12)=\{O1, O2\}\{O3, O4\}\{O5, O6, O7\}\{O8\}\{O9\}\{O10, O11\}\{O12\}$   
Wybór konstrukcji o najmniejszej wartości zróżnicowania  $d(O8, O9)=13.9$



Uproszczony zapis przebiegu łączenia konstrukcji w klasy dla metod hierarchicznej klasyfikacji przedstawiono poniżej.



Dla zbioru danych  $y_i^c$  uzyskuje się podobne wyniki ze względu na małą różnorodność wartości cech opisujących zbiór konstrukcji. W klasyfikacji konstrukcji o znacznej liczbie cech uzyskuje się mniej jednoznaczne wyniki. Dlatego przeprowadzono szczegółową analizę metod na licznyim zbiorze konstrukcji elementów takich rodzin konstrukcji, jak: siłowniki i stojaki hydrauliczne, wozy żuźlowe, sprzęgła przeciążeniowe, chwytaki robotów. Wynikiem tych prac jest wybór metody Warda jako metody tworzącej układy klas najlepiej spełniające kryteria klasyfikacji konstrukcji na potrzeby wstępnych układów klas klasyfikacji iteracyjnej. Wyniki hierarchicznej klasyfikacji konstrukcji dokonanej siedmioma opisanymi metodami przedstawiono w postaci macierzy danych (tabl. 5.8.5) i dendrogramów na rys. 5.8.15.



Rys. 5.8.15. Dendrogramy hierarchicznej klasyfikacji utworzone metodą GEND 1 - 7

Fig. 5.8.15. Dendrograms of hierarchical classification created using the method GEND 1-7

W programie GEN 323 generowany jest również zapis układów klas  $U_N^0 \{A_1^0, \dots, A_n^0\}$  dla  $N=2-(M-1)$  w formie pliku (RK\_kla), tabl. 5.8.6, które stanowią wstępny układ klas dla klasyfikacji iteracyjnej.

Tablica 5.8.6

Zapis układów klas dla  $N=2-(M-1)$

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	2	2	2	
	3	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	
	4	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	
	5	1	1	2	2	3	3	3	4	4	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

5.8.3.2. Klasyfikacja iteracyjna

Liczba możliwych układów klas dla znanej liczby klasyfikowanych konstrukcji  $iz$  ( $ks_m^{iz}$  ( $m = i$ ), gdzie:  $i=1, iz$ ) oraz założonej liczby klas  $N$  jest określona w publikacji [12, 161] zależnością:

$$L(iz, N) = \frac{1}{N!} \sum_{r=0}^N (-1)^r \binom{N}{r} (N-r)^{iz} \quad (5.96)$$

Dla liczby klasyfikowanych konstrukcji  $iz=15$  oraz liczby klas  $N=5$  możliwych jest  $2.734 \cdot 10^9$  układów klas. Aby z tak licznego zbioru możliwych układów klas osiągnąć optymalny układ klas, konieczne jest postępowanie metodyczne. Metodą pozwalającą utworzyć optymalny układ klas spełniający kryteria **KK1** i **KK2** jest metoda iteracyjnej klasyfikacji [54]. Polega ona na iteracyjnym udoskonalaniu wstępnego układu klas  $U_N^0$  o założonej liczbie klas  $N$  tak, aby sumaryczne rozproszenie klas było minimalne:

$$H(U_N^0) > H(U_N^1) > H(U_N^2) > \dots > H(U_N^z) = H(U_N^*). \quad (5.97)$$

Pierwsze stadium klasyfikacji iteracyjnej dla zadanej liczby klas  $N$  nazwano **klasyfikacją prostą**. Opracowano następujące stadia klasyfikacji prostej:

- 1) dla każdej konstrukcji  $k_j$  sprawdza się, czy jej przemieszczenie z klasy  $A_i^N$  do jednej z pozostałych klas  $A_n^N$  powoduje spełnienie nierówności:

$$\frac{n_i}{n_i - 1} |y_i - y_j|^2 > \frac{n_n}{n_n + 1} |y_n - y_j|^2 \quad (5.98)$$

- (dla  $n_i=1$  nie jest realizowane przemieszczenie konstrukcji  $k_j$  z klasy  $A_i^N$  do klasy  $A_n^N$ ),
- 2) jeżeli spełniona jest powyższa nierówność, to konstrukcja  $k_j$  jest przenoszona do nowej klasy i obliczane są ponownie miary oceny układu klas,
- 3) proces iteracyjny trwa tak długo, aż żadne przeniesienie konstrukcji nie zmniejszy sumarycznego rozproszenia klas  $H(U_N^z)$ ,
- 4) dla tak wyznaczonego układu klas oblicza się następnie sumaryczne odseparowanie między klasami  $D(U_N)$ .



Dla zadanej liczby klas  $N=2-(M-1)$ , spełniając kryterium **KK1**, wyznacza się układy klas  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_N^*\}$  oraz wartości  $H(U_N^*)$  i  $D(U_N^*)$ .

**5.8.3.2.1. Wstępny układ klas klasyfikacji iteracyjnej**

Wyniki iteracyjnej klasyfikacji konstrukcji są silnie zależne od wstępnego układu klas  $H(U_N^0)$ . Wynika to z iteracyjnego poprawiania wstępnego układu klas ze względu na  $H(U_N^1)$  i możliwość osiągnięcia optimum lokalnego, z którego dalsze przenoszenie konstrukcji z klasy do klasy nie poprawia sumarycznego rozproszenia układu klas. Należałoby od nowa przebudować układ klas dla liczby klas  $N$ , aby uzyskać nowe optimum lokalne, któremu będzie odpowiadać mniejsze sumaryczne rozproszenie układu klas. Nie gwarantuje to nadal osiągnięcia optimum globalnego. Dlatego bardzo istotne jest przyjęcie właściwego wstępnego układu klas, aby uzyskać wynik iteracyjnej klasyfikacji w postaci optimum globalnego. Podjęto szczegółowe badanie dotyczące określenia wstępnego układu dla 195 konstrukcji elementów o bardzo szerokim zakresie złożoności (o liczbie zmiennych wymiarów  $l=4, 162$ ). Przyjęto następujące rodzaje wstępnych układów klas:

- 1) uporządkowanie szeregowo  $US_N^0$ , np: 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 (dla  $N=4$  oraz liczby klasyfikowanych konstrukcji  $m=14$ ),
- 2) uporządkowanie równoległe  $UR_N^0$ : 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 (dla  $N=3$  oraz liczby klasyfikowanych konstrukcji  $m=14$ ),
- 3) uporządkowanie przejęte z wyniku klasyfikacji hierarchicznej  $UH_N^0$  (zapisane w pliku \*\_kla),
- 4) uporządkowanie przejęte z wyniku klasyfikacji iteracyjnej głównych cech konstrukcyjnych  $UG_N^0$  (zapisane w pliku \*\_00\_kla),
- 5) uporządkowanie przejęte z wyniku klasyfikacji iteracyjnej elementu o największej liczbie sprzężeń zewnętrznych – wejściowych  $UN_N^0$  (zapisanych w pliku \*\_kla), np. dla klasyfikacji konstrukcji elementów MKO wstępne układy klas przejęte są z wyniku klasyfikacji iteracyjnej elementu MKP, rys. 5.8.2 (o liczbie wymiarów sprzężonych równej 6), a ujętych w pliku **KLKP\_kla**.

W programie klasyfikacji iteracyjnej GEN261 dokonuje się takiego wyboru układu klas, dla którego otrzymuje się minimalne sumaryczne rozproszenie w układzie klas  $H(U_N^*)$ , spośród powyżej wyróżnionych wstępnych układów klas. Fragmenty przebiegu klasyfikacji iteracyjnej dla konstrukcji elementu MDZ (rys. 5.8.2, o liczbie zmiennych wymiarów  $l=15$ ) dla trzech wstępnych układów klas:  $US_N^0, UR_N^0$  i  $UH_N^0$  oraz liczby klas  $N=7$  przedstawiono poniżej:

**LICZBA KLAS N= 7**

Wstępny układ klas

Nr konstrukcji zmieniającej klasę	US=1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2	Sumaryczne rozproszenie	Układ klas
1		50408.17	3 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
2		45372.40	3 3 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
4		42381.34	3 3 3 3 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2

5	39680.91	3 3 3 3 3 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
6	36861.04	3 3 3 3 3 3 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
7	33483.89	3 3 3 3 3 3 3 1 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
8	29674.23	3 3 3 3 3 3 3 2 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
9	24029.77	3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
11	21193.58	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 5 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
12	18910.12	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 6 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
13	16769.07	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 1 2 3 4 5 6 7 1 2
14	15631.10	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 1 2 3 4 5 6 7 1 2
15	15373.60	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 2 3 4 5 6 7 1 2
16	15156.10	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 4 3 4 5 6 7 1 2
17	6906.31	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 4 4 4 5 6 7 1 2
18	6877.65	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 4 4 6 5 6 7 1 2
21	5944.15	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 4 4 6 5 6 6 1 2
12	5894.08	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 4 4 6 5 6 6 1 2
13	5300.17	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 7 3 7 4 4 6 5 6 6 1 2
14	3759.10	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 7 7 7 4 4 6 5 6 6 1 2
17	3758.10	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 7 7 7 4 5 6 5 6 6 1 2
19	3741.10	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 7 7 7 4 5 6 6 6 6 1 2
11	3299.22	3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 7 7 7 7 4 5 6 6 6 6 1 2

SUMARYCZNE ROZPROSZENIE KLAS H=3299.2

SUMARYCZNE ODSEPAROWANIE MIĘDZY KLASAMI D= 82831.3

Rozproszenie klasy	Nr konstrukcji należący do klasy	
KLASA 1	.0	22
KLASA 2	.0	23
KLASA 3	2298.4	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
KLASA 4	.0	16
KLASA 5	.0	17
KLASA 6	.0	18 19 20 21
KLASA 7	1000.8	11 12 13 14 15

LICZBA KLAS N= 7

Wstępny układ klas

Nr konstrukcji zmieniającej klasę	UR=1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7	Sumaryczne rozproszenie	Układ klas
3		2460.70	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7
14		1553.37	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 7
15		1546.17	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 7 7 7
17		1538.67	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 7 7 7
21		1401.33	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7
11		1282.20	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7

SUMARYCZNE ROZPROSZENIE KLAS H=1282.2

SUMARYCZNE ODSEPAROWANIE MIĘDZY KLASAMI D=126518.6

Rozproszenie klasy	Nr konstrukcji należący do klasy	
KLASA 1	.0	1 2
KLASA 2	279.2	3 4 5 6 7
KLASA 3	223.0	8 9 10 11
KLASA 4	712.0	12 13 14 15
KLASA 5	18.0	16 17
KLASA 6	.0	18 19 20 21
KLASA 7	50.0	22 23

LICZBA KLAS N= 7

Wstępny układ klas z klasyfikacji hierarchicznej

Nr konstrukcji zmieniającej klasę	UH=1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 6 7 7	Sumaryczne rozproszenie	Układ klas
8		953.87	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 6 6 6 6 7 6 7 7
11		912.03	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 7 6 7 7
18		851.97	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 7 6 7 7
20		720.37	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7

SUMARYCZNE ROZPROSZENIE KLAS H=720.4

## SUMARYCZNE ODSEPAROWANIE MIĘDZY KLASAMI D=109315.1

Rozproszenie klasy	Nr konstrukcji należący do klasy
KLASA 1 .0	1 2
KLASA 2 279.2	3 4 5 6 7
KLASA 3 53.3	8 9 10
KLASA 4 262.5	11 12 13 14
KLASA 5 .0	15
KLASA 6 75.3	16 17 18 19 20 21
KLASA 7 50.0	22 23

Przed klasyfikacją zbiory konstrukcji podlegały uporządkowaniu według wzrastających wartości parametrów  $ks_{ij}^u \prec (x_{ij}^u)$ . Na podstawie przeprowadzonych badań w takich rodzinach konstrukcji jak siłowniki hydrauliczne, sprzęgła przeciążeniowe, przekładnie pasowe - zębate, chwytaki kleszczowe, chwytaki imadłowe, stwierdza się, że najlepsze wyniki uzyskuje się dla wstępnego uporządkowania  $UH_N^0$  - 90%, jedynie 8% wyników uzyskało lepsze lub równe układy klas dla wstępnego układu klas  $UR_N^0$ . Najgorsze wyniki klasyfikacji uzyskano dla wstępnego układu klas  $US_N^0$ . Tylko w 2% uzyskano lepsze wyniki klasyfikacji iteracyjnej aniżeli z wstępnym układem klas  $UR_N^0$ . Przeprowadzono dodatkowe badania dla wstępnych układów klas:  $UG_N^0$  i  $UN_N^0$ . Przykład wyników zestawiono w tabl. 5.8.7.

Tablica 5.8.7

Zestawienie sumarycznego rozproszenia klas  $H(U_N^z)$  i odseparowania między klasami  $D(U_N)$ , dla wstępnych układów klas ( $US_N^0$ ,  $UR_N^0$ ,  $UH_N^0$ ),  $UG_N^0$ ,  $UN_N^0$ , elementu MKP

Wstępny układ klas	Najlepszy wynik spośród: $\{US_N^0, UR_N^0, UH_N^0\}$		$UG_N^0$		$UN_N^0$	
	$H(U_N^z)$	$D(U_N)$	$H(U_N^z)$	$D(U_N)$	$H(U_N^z)$	$D(U_N)$
Liczba klas						
2	35420.4	35840.2	35420.4	35840.2	35420.4	35840.2
3	14264.7	75392.7	14264.7	75392.6	14264.7	75392.6
4	8058.8	128914.3	8058.8	128914.	8058.8	128914.2
5	5385.0	174839.0	5385.0	174839.0	5385.0	174839.0
6	3203.3	283779.6	3203.3	283779.7	3203.3	283779.7
7	2132.5	367249.7	2902.6	474099.4	2902.6	474099.4
8	1801.7	470544.7	2786.7	648146.8	2786.7	648146.8
9	1513.7	624845.4	2455.9	830728.4	2455.9	830728.4
10	1245.0	701297.5	1385.2	952348.4	1385.2	952348.4
11	944.3	1056806.0	1101.8	1061642.0	1101.8	1061642.0
12	661.0	1157361.0	813.9	1359277.0	813.9	1359277.0
13	444.4	1314680.0	813.8	1697559.0	813.8	1697559.0
14	334.3	1492453.0	597.2	1948327.0	597.2	1948327.0
15	218.5	1937503.0	328.6	2131143.0	328.6	2131143.0
16	120.5	2070982.0	264.1	2567631.0	264.1	2567631.0
17	56.0	2585444.0	154.0	2906747.0	154.0	2906747.0
18	2.0	2790010.0	152.1	3260565.0	152.1	3260565.0
19	.0	3098423.0	152.0	3794068.0	152.0	3794068.0
20	.1	3692291.0	100.0	4179060.0	100.0	4179060.0
21	.0	4286159.0	2.0	4402461.0	2.0	4402461.0
22	.1	4880027.0	2.0	4939942.0	2.0	4939942.0

W procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji  $RK_N^*$  zaleca się stosować w klasyfikacji iteracyjnej wstępny układ klas  $UH_N^0$  wraz z układem klas równoległym  $UR_N^0$  i szeregowym  $US_N^0$ .

## 5.8.3.2.2. Kryterialny wybór optymalnego układu klas

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  $U_{NO}^* = \{A_1^*, \dots, A_N^*\}$  o optymalnej liczbie klas  $NO$ . W celu osiągnięcia optymalnego układu klas  $U_{NO}^* = \{A_1^*, \dots, A_N^*\}$  podjęte jest drugie stadium klasyfikacji konstrukcji, nazywane *klasyfikacją złożoną*.

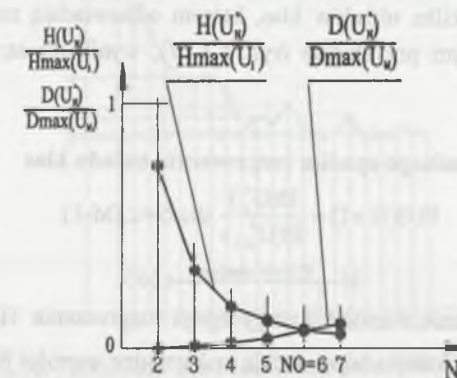
Wyboru optymalnego układu klas dokonuje się na podstawie miar oceny układów klas  $H(U_N^*)$  i  $D(U_N^*)$ . Złożoność klasyfikacji wynika z monotoniczności (bez ekstremów) obu miar oceny wraz ze wzrostem liczby klas  $N$ . Funkcja wyznaczenia optymalnej liczby klas powinna być tak opracowana, aby pozwalała na wybór tych układów klas, które najlepiej odpowiadają strukturze zmienności cech konstrukcyjnych. Podstawą oceny tej struktury są funkcje celu FC1 - FC7. Ich przydatność w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji zweryfikowano na zbiorach konstrukcji analizowanych w pracy. Graficzne interpretacje funkcji celu dotyczą wymiarów istotnych rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych.

## FC1 - funkcja celu względnego rozproszenia i odseparowania

$$FC1(N) = \frac{H(U_N^*)}{H_{\max}(U_1)} - \frac{D(U_N^*)}{D_{\max}(U_M)}, \quad (5.99)$$

$$N \xrightarrow{FC1(N)=0} NO \quad (5.100)$$

Interpretacją graficzną wyznaczenia  $NO$  jest punkt przecięcia względnych miar oceny układu klas, rys. 5.8.16.



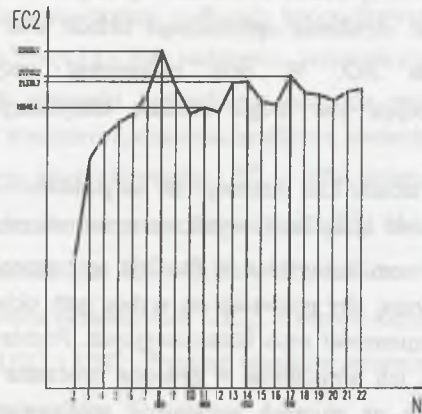
Rys. 5.8.16. Graficzne interpretacja funkcji celu FC1

Fig. 5.8.16. Graphic interpretation of the objective function FC1

### FC2 – funkcja celu średniego rozproszenia i odseparowania

$$FC2(N) = \frac{D(U_N^*)}{\binom{N}{2}} - \frac{H(U_N^*)}{N}, \text{ dla } N=2, (M-1) \quad (5.101)$$

$$N \xrightarrow{FC2(N) \rightarrow \text{ekstr(max)}} NO. \quad (5.102)$$



Rys. 5.8.17. Zmienność wartości funkcji celu FC2 dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.17. Variability of the values of the objective function FC2 for essential dimensions of tongs grippers

Pierwszy składnik funkcji celu odpowiada średniej wartości odseparowania układu klas  $D(U_N^*)$ , natomiast drugi średniej wartości rozproszenia układu  $H(U_N^*)$ . Spełniając kryteria **KK1** i **KK2**, zmierza się do wyboru takiego  $NO$ , któremu odpowiada maksymalna wartość funkcji celu FC2. Zmienność funkcji celu przedstawia rys. 5.8.17.

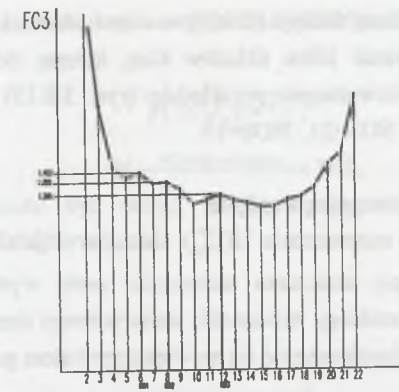
Wynikiem wyboru, za pomocą funkcji  $FC2(N)$ , w całym przedziale rozważanych układów klas  $(2-(M-1))$ , może być kilka układów klas, którym odpowiadają maksymalne wartości funkcji celu. W rozważanym przykładzie (rys. 5.8.17), wynikiem są:  $NO_1=8$ ,  $NO_2=17$ ,  $NO_3=14$ ,  $NO_4=11$ .

### FC3- funkcja celu maksymalnego spadku rozproszenia układu klas

$$FC3(N+1) = \frac{H(U_N^*)}{H(U_{N+1}^*)} \text{ dla } N=2, (M-1) \quad (5.103)$$

$$N \xrightarrow{FC3(N) \rightarrow \text{ekst(max)}} NO. \quad (5.104)$$

Funkcja uwzględnia wyłącznie wartości sumarycznego rozproszenia  $H(U_N^*)$ . Przedmiotem wyboru są takie układy klas, którym odpowiadają maksymalne wartości funkcji celu. Przykład zmienności wartości funkcji celu przedstawiono na rys. 5.8.18. Wynikiem wyboru, za pomocą funkcji  $FC3(N)$ , może być kilka układów klas z całego przedziału układów klas  $(2-(M-1))$ . W rozważanym na rys. 5.8.18 przykładzie wynikiem są:  $NO_1=6$ ,  $NO_2=8$ ,  $NO_3=12$ .



Rys. 5.8.18. Zmienność wartości funkcji celu FC3 dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

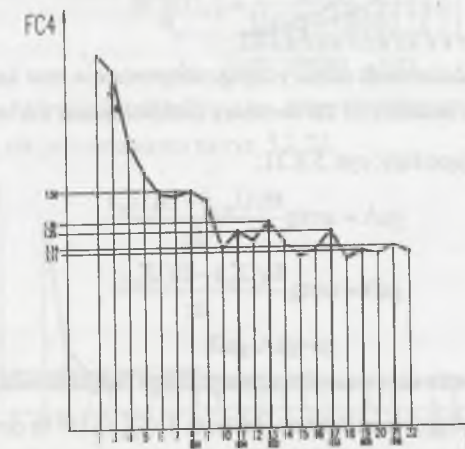
Fig. 5.8.18. Variability of the values of the objective function FC3 for essential dimensions of tongs grippers

### FC4- funkcja celu maksymalnego wzrostu odseparowania układu klas

$$FC4(N+1) = \frac{D(U_{N+1}^*)}{D(U_N^*)} \text{ dla } N=2 \rightarrow FC4(2)=1000, \quad (5.105)$$

$$N \xrightarrow{FC4(N) \rightarrow \text{ekst(max)}} NO. \quad (5.106)$$

Funkcja uwzględnia wyłącznie wartości sumarycznego odseparowania  $D(U_N^*)$ . Dla układu klas  $N=2$  przyjmuje się stałą wartość funkcji celu  $FC4=1000$  ze względu na to, że  $D(U_1^*)=0$ . Przedmiotem wyboru są takie układy klas, którym odpowiadają maksymalne wartości funkcji celu. Przykład zmienności wartości funkcji celu przedstawiono na rys. 5.8.19.



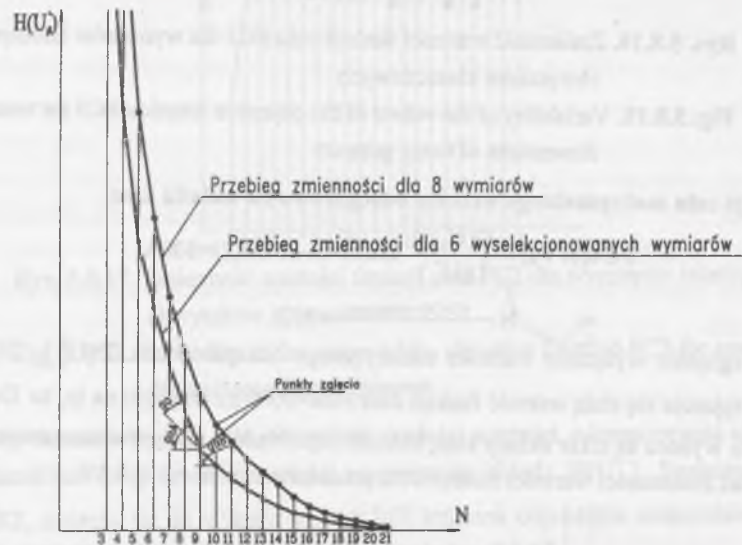
Rys. 5.8.19. Zmienność wartości funkcji celu FC4 dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.19. Variability of the values of the objective function FC4 for essential dimensions of tongs grippers

W wyniku wyboru za pomocą funkcji  $FC4(N)$  w całym przedziale rozważanych układów klas  $(2-(M-1))$  można otrzymać kilka układów klas, którym odpowiadają maksymalne wartości funkcji celu. W rozważanym przykładzie (rys. 5.8.19) wynikiem są:  $NO1=8$ ,  $NO2=13$ ,  $NO3=17$ ,  $NO4=11$ ,  $NO5=21$ ,  $NO6=19$ .

#### FC5- funkcja celu maksymalnego kąta zgięcia

Zmienność sumarycznego rozproszenia  $H(U_N^*)$  charakteryzuje się tym, że dla liczby klas  $N$ , najbardziej odpowiadającej strukturze zmienności cech, występują wyraźne zgięcia przebiegu funkcji. Przykład przebiegu zmienności sumarycznego rozproszenia przedstawiono na rys. 5.8.20. Punkt zgięcia charakteryzuje się największym kątem  $ga$ , rys. 5.8.20.



Rys. 5.8.20. Zmienność sumarycznego rozproszenia oraz kąt zgięcia  $ga$

Fig. 5.8.20. Variability of the summary dissipation and the bend angle  $ga$

Wyróżniono następujące kąty, rys. 5.8.21:

$$gaA = \arctg \frac{H(U_{N-1}^*) - H(U_N^*)}{dz}, \quad (5.107)$$

$$gaB = \arctg \frac{H(U_N^*) - H(U_{N+1}^*)}{dz}, \quad (5.108)$$

$$ga = gaA - gaB, \quad (5.109)$$

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  $dz=10^{p-3}$ .

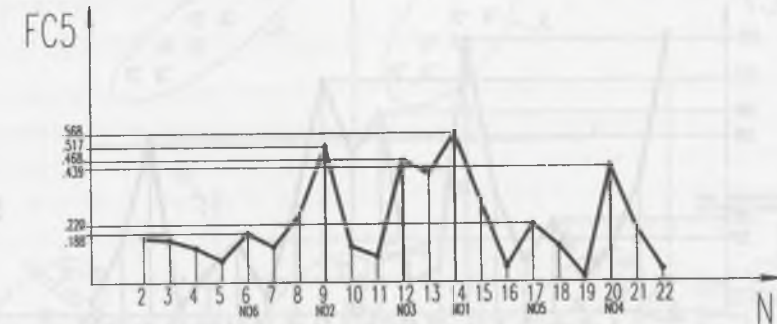
Dzielnik wrażliwości  $dz$  został wprowadzony ze względu na możliwość łatwiejszego zidentyfikowania punktu zgięcia. Przy dużych wartościach  $H(U_N^*)$  uzyskiwano kąty  $gaA$  i  $gaB \sim 90^\circ$  i bardzo mały kąt  $ga$ .

Aby wyróżnić zgięcia funkcji celu o najmniejszej liczbie klas, kąt  $ga$  podzielono przez  $N$ -liczbę klas.

$$FC5(U_N^*) = \frac{ga}{N}, \quad (5.110)$$

$$N \xrightarrow{FC5(N) \rightarrow \text{ekst}(\max)} NO. \quad (5.111)$$

Wynikiem wyboru może być więcej punktów zgięcia. Przykład wraz z wynikami przedstawiono na rys. 5.8.21.



Rys. 5.8.21. Zmienność wartości funkcji celu  $FC5$  dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.21. Variability of the values of the objective function  $FC5$  for essential dimensions of tongs grippers

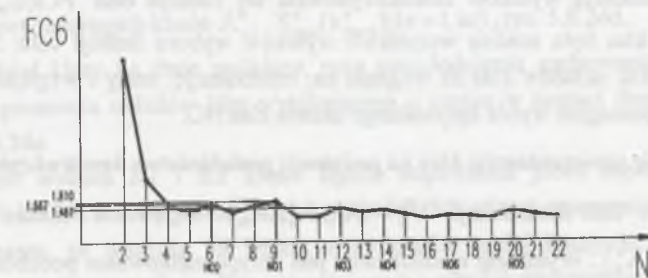
#### FC6- funkcja celu ilorazu przyrostów

Należy do grupy funkcji celu analizującej zmienność sumarycznego rozproszenia  $H(U_N^*)$ .

$$FC6(U_N^*) = \frac{H(U_{N-1}^*) - H(U_N^*)}{H(U_N^*) - H(U_{N+1}^*)}, \quad (5.112)$$

$$N \xrightarrow{FC6(N) \rightarrow \text{ekst}(\max)} NO \quad (5.113)$$

Wynikiem wyboru może być kilka układów klas, które charakteryzują się maksymalnymi wartościami  $FC6(N)$ , jak przedstawiono na rys. 5.8.22.



Rys. 5.8.22. Zmienność wartości funkcji celu  $FC6$  dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.22. Variability of the values of the objective function  $FC6$  for essential dimensions of tongs grippers

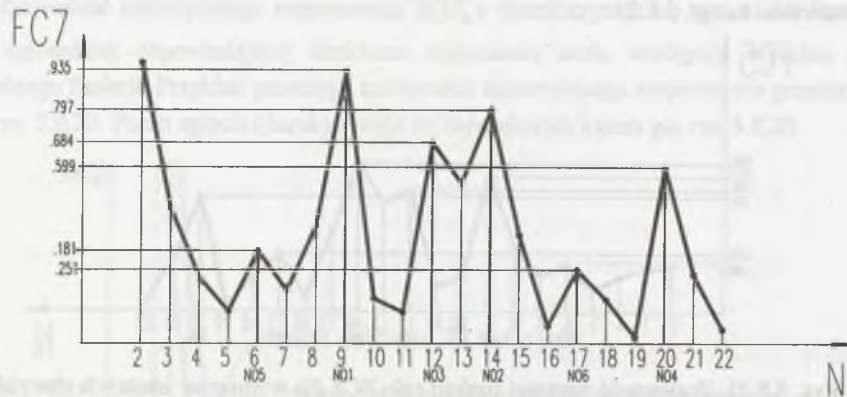
**FC7- funkcja celu iloczynny FC5\*FC6**

Funkcja celu uwzględnia wartości FC5 i FC6,

$$FC7(U_N^*) = FC5(U_N^*) \cdot FC6(U_N^*) \quad (5.114)$$

$$N \xrightarrow{FC7(N) \rightarrow \text{maks}} NO \quad (5.115)$$

Wynikiem wyboru może być kilka układów klas, które charakteryzują się maksymalnymi wartościami FC7(N), jak przedstawiono na rys. 5.8.23.



Rys. 5.8.23. Zmienność wartości funkcji celu FC7 dla wymiarów istotnych chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.23. Variability of the values of the objective function FC7 for essential dimensions of tongs grippers

Na podstawie przeprowadzonych badań nie uzyskiwano pełnej zgodności wyników, stosując różne funkcje celu FC1-FC7. Im struktura zmienności wartości wymiarów rozważanego zbioru konstrukcji była bardziej rozmyta, tym wyniki wyboru układów klas  $U_{NO}^*$  były mniej jednoznaczne, a zbiór wartości  $NO_i$  liczniejszy. Najlepsze wyniki wyboru uzyskiwano z zastosowaniem funkcji celu  $FC5(U_N^*)$ . Dotyczy to 86% klasyfikowanych konstrukcjach elementów.

Dużą rozbieżnością wyników charakteryzowała się funkcja celu  $FC1(U_N^*)$ . Podstawą wyboru układu klas była analiza wszystkich wyników wyboru funkcji celu: FC2 - FC7. Dodatkowa analiza układów klas ze względu na, redundancję: masy i względnych kosztów wytwarzania wspomagała wybór optymalnego układu klas NO.

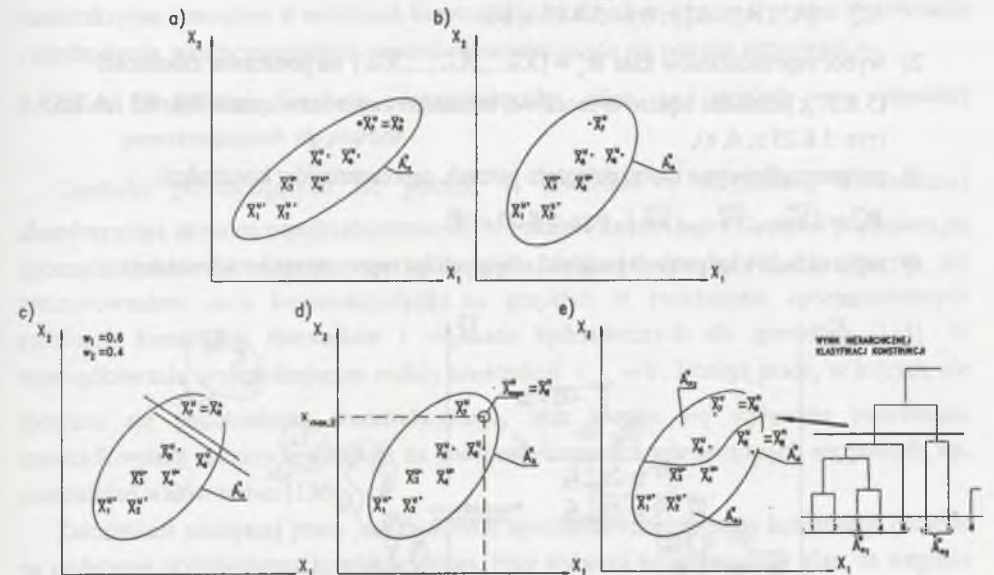
**5.8.3.2.3. Wybór reprezentantów klas na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego**

Układowi klas konstrukcji  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$  odpowiada układ klas potrzeb  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$ . Wynikiem ujednocnienia jest przyporządkowanie podzbiorowi potrzeb jednej konstrukcji, co wiąże się z przewymiarowaniem. Podstawą wyboru reprezentanta klasy  $ks_R^*$  są maksymalne wartości parametrów  $x_{ia}^*$  ( $i \in A_n^*$ ), odpowiadające klasie  $A_n^*$ . Jeżeli spełniony zostanie warunek, rys. 5.8.24a,

$$\bigwedge_{x_i \in A_n} \bigvee_{x_{ia} \in A_n} x_{ia}^* \geq x_{ia}^* ; (a = 1, az) \quad (5.116)$$

to reprezentantem klasy  $A_n^*$  jest konstrukcja,

$$\overline{X_R^*} \rightarrow \overline{Y_R^*} \rightarrow ks_{R_n}^* \quad (5.117)$$



Rys. 5.8.24. Wybór reprezentantów klas

Fig. 5.8.24. Choosing the representatives of classes

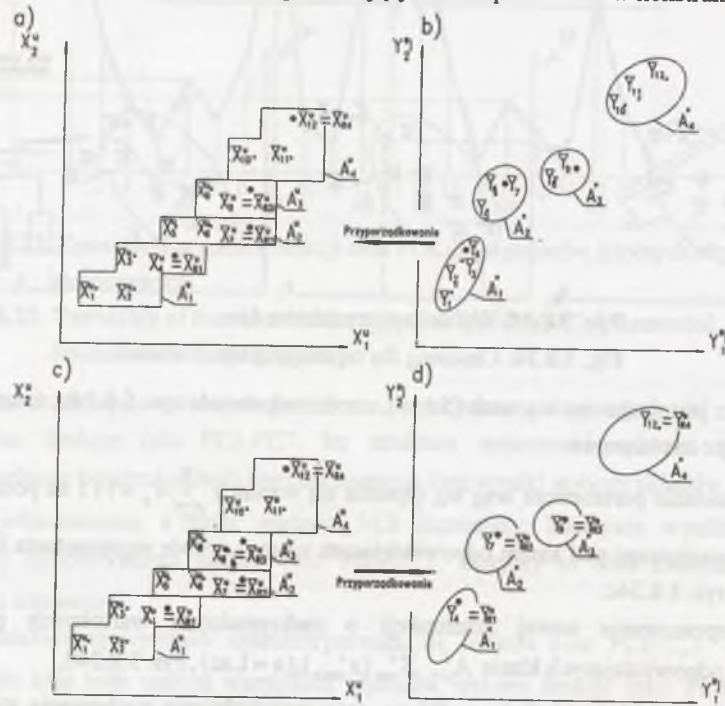
Jeżeli nie jest spełniony warunek (5.116), czemu odpowiada rys. 5.8.24b, to zastosowane są następujące rozwiązania:

- R1** - nadanie parametrom wag  $w_a$ , (spełnia się warunek  $\sum_{a=1}^{az} w_a = 1$ ) i na podstawie linii nachylonej pod kątem odpowiadającym wagom, wybór reprezentanta klasy [132], rys. 5.8.24c,
- R2** - opracowanie nowej konstrukcji o maksymalnych wartościach parametrów odpowiadających klasie  $A_n^*$ ,  $\overline{X_{max,a}^*} (x_{max,a}^*) ; (a = 1, az)$ , rys. 5.8.24d,
- R3** - podział klasy na dwie podklasy, przy uwzględnieniu zachowania minimalnego rozproszenia układów klas wynikającego z zapisu w postaci dendrogramu, rys. 5.8.24e.

W metodzie wyboru R1 i R2 klasie będzie odpowiadał jeden reprezentant klasy. Natomiast w metodzie R3 wynikiem może być dwóch lub więcej reprezentantów klasy, co jest rozwiązaniem, ze względu na koszty wytwarzania, mniej korzystne. W rodzinach konstrukcji, uporządkowanych według wzrastających wartości parametrów (rozdz. 5.2.4), spełniany był warunek (5.116). W takich układach klas  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$  liczbie klas N odpowiadała liczba reprezentantów klas.

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. 5.8.25):

- 1) przyporządkowanie układowi klas  $U_N^*$ , układu klas w przestrzeni potrzeb  $U_N^* = \{A_1^*, \dots, A_n^*, \dots, A_N^*\}$ , (rys. 5.8.25 a, b),
- 2) wybór reprezentantów klas  $R_N^* = \{\bar{X}_{R1}^*, \dots, \bar{X}_{Rn}^*, \dots, \bar{X}_{RN}^*\}$  na podstawie zależności (5.8.37); jeżeli nie będzie to możliwe, to zastosowanie rozwiązania R1, R2 lub R3, (rys. 5.8.25 c, d, e),
- 3) przyporządkowanie reprezentantom potrzeb, reprezentantów konstrukcji  $R_N^* = \{\bar{Y}_{R1}^*, \dots, \bar{Y}_{Rn}^*, \dots, \bar{Y}_{RN}^*\}$ , (rys. 5.8.25 c, d),
- 4) zapis układu klas potrzeb i odpowiadających im reprezentantów konstrukcji.



Rys. 5.8.25. Układ klas konstrukcji wraz z układem klas potrzeb i reprezentantów klas  
 Fig. 5.8.25. The system of classes of constructions with systems of classes of needs and representatives

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

ZAPIS UKŁADU KLAS UTWORZONEGO NA PODSTAWIE PODOBIENSTWA KONSTRUKCYJNEGO

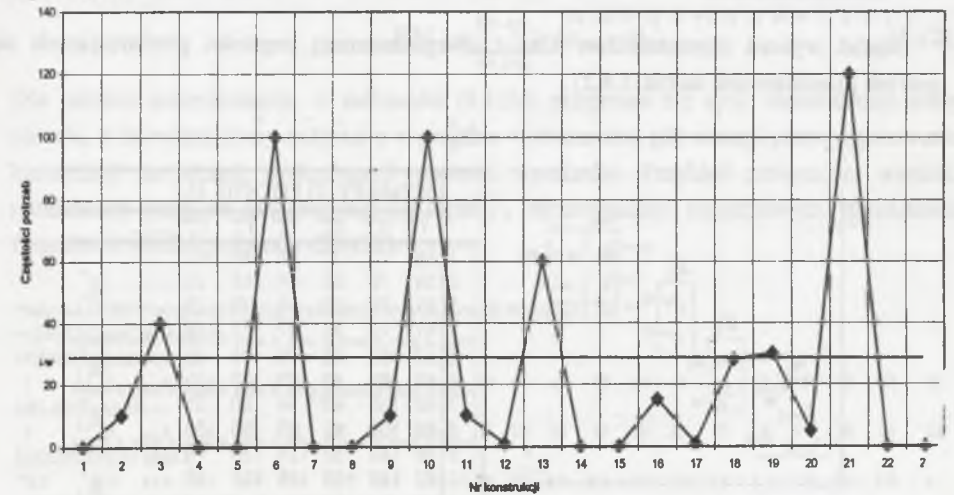
\*\* NO= 8  
 NR Ks: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23  
 NR KL: 1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 7 7 7 7 7 7 8 8  
 \*\*\* REPREZENTANCI KLAS \*\*\*  
 .. 2 4 7 10 14 15 21 23

Wynikiem programu jest zbiór reprezentantów klas  $R_N^* = \{\bar{Y}_{R1}^*, \dots, \bar{Y}_{Rn}^*, \dots, \bar{Y}_{RN}^*\}$  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 występował proces wytwarzania i użytkowania, należy uwzględnić częstości powtarzających się potrzeb aktualnych  $v_i$ .

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

Częstości powtarzających się potrzeb  $v_i$  (związane z seryjnością wytwarzania) charakteryzują aktualne zapotrzebowanie  $\bar{X}_i^*$  w rodzinie konstrukcji  $RK_n$  przed podjęciem jej uporządkowania. Dotyczy to uporządkowania bieżącego (rozdz. 4) z zastanym już zróżnicowaniem cech konstrukcyjnych, na przykład w tworzonych uporządkowanych rodzinach konstrukcji siłowników i stojaków hydraulicznych dla górnictwa [113]. W uporządkowaniu wyprzedzającym rodzin konstrukcji  $v_{i=1,ie} = 0$ . Istnieją prace, w których nie rozważa się podobieństwa konstrukcyjnego, lecz kieruje się wyłącznie tworzeniem uporządkowanej rodziny konstrukcji na podstawie częstości powtarzających się potrzeb, np. uszczelnień wałów turbin [136].

Założeniem niniejszej pracy jest tworzenie uporządkowanej rodziny konstrukcji głównie na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego. Przy wyborze reprezentantów klas, ze względu na częstości powtarzających się potrzeb, uwzględnia się zastany stan rodziny konstrukcji  $RK_n$ . Przykład zapotrzebowania odnoszącego się do wektorów potrzeb aktualnych przedstawiono na rys. 5.8.26.



Rys. 5.8.26. Częstości powtarzających się potrzeb rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych

Fig. 5.8.26. Frequency of repeating needs for the family of constructions of tongs grippers

Podstawą dodatkowego wyboru reprezentanta klasy jest zależność

$$\sum_{X_i \in A_n} v_{X_i} > v_{sr} + a \quad (5.118)$$

gdzie: a- stała przyjęta w zależności od rodzaju rodziny konstrukcji [54],

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

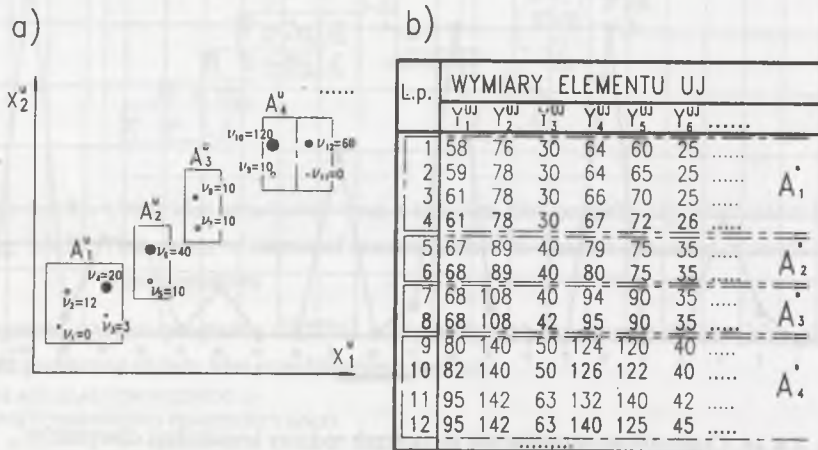
$$v_w = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{iz} \quad (5.119)$$

Jeżeli reprezentant klasy wybrany na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego zostanie wybrany ponownie na podstawie częstości powtarzających się potrzeb, to wybór reprezentanta klasy pozostaje bez zmian. Fragment modyfikacji układu klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb (rys. 5.8.26), z zastosowaniem programu GEN 261 dla rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych, przedstawiono poniżej:

```
ZAPIS OPTIMALNEGO UKŁADU KLAS UTWORZONEGO NA
PODSTAWIE PODOBIENSTWA 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
CZESTOSC: 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. 5.8.27.



Rys. 5.8.27. Model wyboru reprezentantów klas

Fig. 5.8.27. Model of choosing the representative of classes

Przestrzeń potrzeb opisana jest dwoma parametrami  $\{X_1^u, X_2^u\}$ , (rys. 5.8.27a), natomiast przestrzeń konstrukcji tabelarycznym zapisem wartości wymiarów (rys. 5.8.27b). Układ klas konstrukcji  $U_N^* = \{A_1^*, A_2^*, A_3^*, A_4^*, \dots\}$ , na podstawie odpowiedniości zostaje przeniesiony do przestrzeni potrzeb i tworzy układ klas  $U_N^u = \{A_1^u, A_2^u, A_3^u, A_4^u, \dots\}$ . Układ klas  $U_N^*$ , ze względu na częstości potrzeb, zgodnie z zależnościami (5.118 i 5.119), zostaje przekształcony w układ klas  $U_N^{**} = \{A_1^{**}, \dots, A_N^{**}\}$ . Korzystając z zasad wyboru reprezentantów klas (rozdz. 5.8.3.2.2), tworzy się zbiór  $R_N^{*j} = \{\bar{Y}_{R1}^{*j}, \dots, \bar{Y}_{Rn}^{*j}, \dots, \bar{Y}_{RN}^{*j}\}$ , zaznaczony wytłuszczonym tekstem, rys. 5.8.27 b.

5.8.4. Ocena układów klas ze względu na redundancję masy

Na podstawie układów klas po pierwszym stopniu optymalizacji (dla  $N=2-(M-1)$ ) i na podstawie wyznaczonych reprezentantów klas można określić stopień przewymiarowania konstrukcji, analizując masy elementów przed ujednocnieniem i po ujednocnieniu. Wskaźnikiem może być masa obliczana teoretycznie (z zastosowaniem wzorów matematycznych, programów obliczeniowych lub programów graficznych), będąca odpowiednikiem rzeczywistej masy konkretnego elementu  $m_j^{*j}$  lub środka technicznego  $m_j^{RK}$ . W celu oceny stopnia przewymiarowania układu klas konstrukcji zastosowano **redundancję masy układu klas**  $RM_N$ , obliczaną według zależności,

$$RM_N = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in A_n} (m_{Rn} - m_j) \quad (5.120)$$

Po uwzględnieniu częstości powtarzających się potrzeb redundancja masy układu klas wynosi

$$RM_N = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in A_n} v_j (m_{Rn} - m_j) \quad (5.121)$$

Dla potrzeb potencjalnych, w zależności (5.121), przyjmuje się  $v_j=1$ . Redundancja masy określa, o ile więcej masy zużyje się 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 DISKRETYZACJI 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 ustępowaną 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. 5.8.3.2.2. W zależnościach (5.107) i (5.108) zastępuje się sumaryczną zawartość klas  $H(U_N^*)$  redundancją masy  $RM_N$ . Zaleca się taki wybór układu klas, który charakteryzuje się jak największym spadkiem redundancji mas, małą liczbą klas i po której nastąpi ustabilizowanie zmienności redundancji mas.

**5.8.5. Ocena układów klas ze względu na redundancję względnych kosztów**

Wybór układu klas spośród układów klas utworzonych na podstawie klasyfikacji prostej dla zadanej liczby klas  $N=2-(M-1)$  może być wspomagany analizą kosztów wytwarzania. W pracach [170, 171, 172] podejmuje się tworzenie typoszeregu wymienników ciepła wyłącznie na podstawie kosztów wytwarzania oraz kosztów użytkowania (eksploatacji).

**5.8.5.1. Koszty wytwarzania a układy klas konstrukcji**

W celu wyznaczenia kosztów wytwarzania na potrzeby procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji poszukuje się takich modeli kosztów  $A^i$ , które określają relację między ilościowymi cechami konstrukcyjnymi elementu  $y_i^j$  a kosztami wytwarzania  $ko_i^j$ . Zakłada się spełnienie warunku kongruencji konstrukcji (5.50) oraz stałość procesów technologicznych ( $\Gamma^i = \text{const}$ ) dla zmiennych wektorów potrzeb  $X_i^j; (i=1, iz)$ . Podstawą modelu kosztów  $A^i$  w uporządkowanych rodzinach konstrukcji są koszty jednostkowe, które w ujęciu kosztów stałych  $kc_i^j; (i=1, iz) = kc^j$  i kosztów zmiennych  $kv_i^j$ , ze względu na zmienność ilościowych cech konstrukcyjnych, określone są zależnością [79, 177],

$$ko_i^j = \frac{kc^j}{v_i} + kv_i^j. \tag{5.122}$$

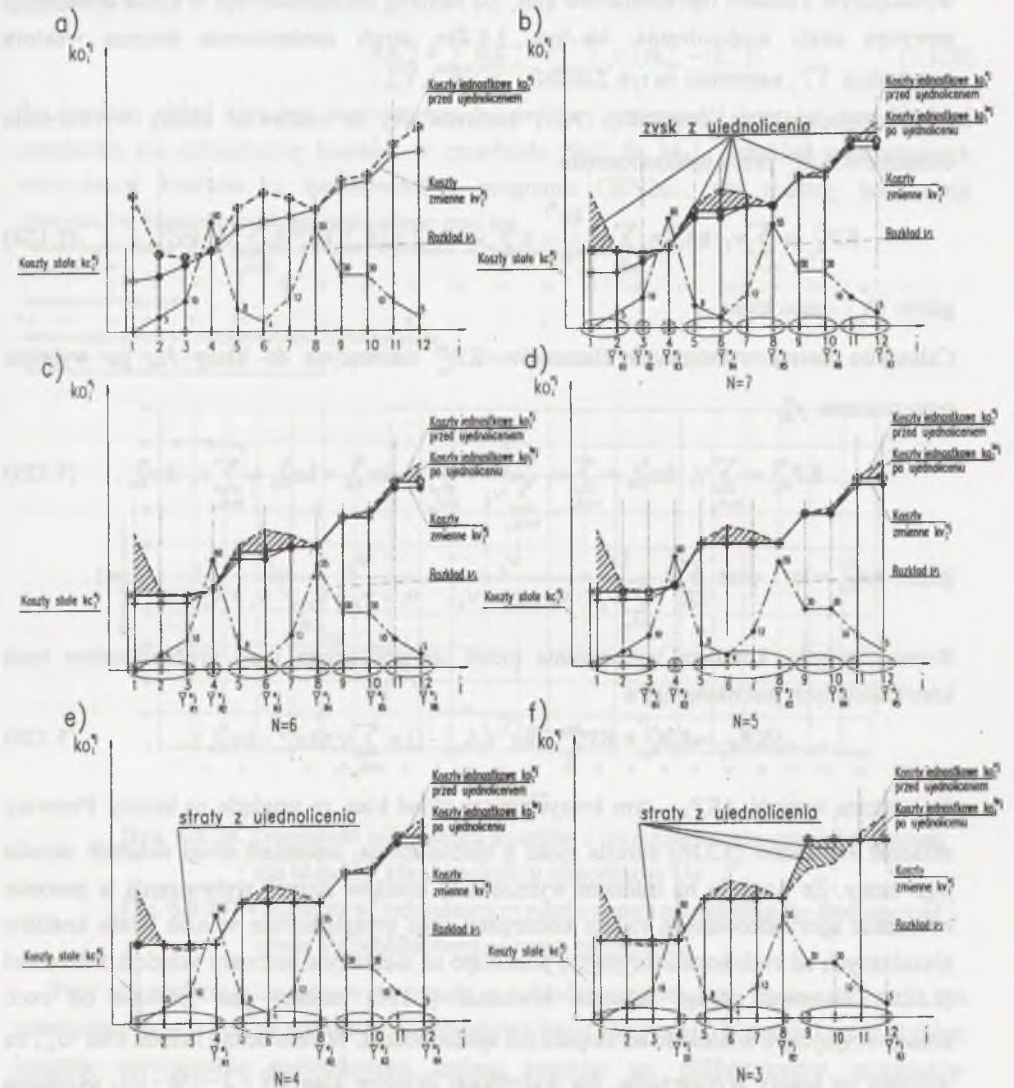
Składnikami kosztów stałych są [36, 177]: koszty opracowania dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej, koszty prac przygotowawczo-zakończeniowych, uśrednione koszty oprzyrządowania oraz koszty narzędzi do wykonania określonego elementu, których trwałość określona jest w granicznej liczbie sztuk, jak np. koszt formy (elementu odlewane), koszt tłoczniaka i wykrojnika (elementu wytwarzanego z blachy), koszt matrycy (elementu kutego). Rozkład częstości potrzeb  $v_i$  wpływa na udział kosztów stałych w kosztach jednostkowych  $ko_i^j$  i spełnia we wszystkich układach klas warunek  $\sum_{i=1}^N v_i = \text{const}$ . Oznacza to, że reprezentanci klas przejmują częstości potrzeb należących do danej klasy  $A_i$ . Składnikami kosztów zmiennych są koszty [36, 143, 177]: materiałowe, robocizny, narzędzi i obróbki.

W modelu kosztów  $A^j$  nie uwzględnia się tych kosztów, które nie są bezpośrednio związane z cechami konstrukcyjnymi, np. koszty ogólnozakładowe, koszty transportu, koszty amortyzacji budynków. W celu oceny układów klas  $U_N^j$ , ze względu na koszty wytwarzania,

określa się przyrost kosztów w zależności od układów klas uzyskanych z klasyfikacji konstrukcji dla założonej liczby klas  $N=2-(M-1)$ ,

$$\Delta KP_N = f(U_N^j). \tag{5.123}$$

Uproszczony zapis zmienności kosztów jednostkowych, w zależności od układu klas  $U_N^j$ , przedstawiono na rys. 5.8.28.



**Rys. 5.8.28.** Zmienność kosztów jednostkowych wraz ze zmianą układu klas  $U_N$

**Fig. 5.8.28.** Variability of unit costs with the change of the class system  $U_N$

Na rys. 5.8.28a pokazano zmienność kosztów jednostkowych  $ko_i^j$  przed ujednoczeniem dla  $iz$  klasyfikowanych konstrukcji, (linia kreskowa). Przynależność konstrukcji do klas zaznaczono na osi odciętych elipsami lub okręgami, a reprezentantów klas zaznaczono



oznaczeniem  $\bar{Y}_n^{c_j}$ . Na rys. 5.8.28b, c, d przedstawiono zmienności kosztów jednostkowych przed ujednocnieniem (linia kreskowa) oraz po ujednocnieniu konstrukcji (linia ciągła). Zyski z ujednocnienia zaznaczono (w celu wizualizacji wyników) polami zakresowanymi w prawo. Natomiast na rys. 5.8.28e i 5.8.28f widoczne są straty ujednocnienia zaznaczone zakresowanymi polami w lewo. Przy znacznym przewymiarowaniu konstrukcji, wynikającym z doboru reprezentantów klas, dla bardziej zróżnicowanych w klasie konstrukcji powstają straty ujednocnienia. Na rys. 5.8.28e, straty ujednocnienia dotyczą wektora konstrukcji  $\bar{Y}_3^{c_j}$ , natomiast na rys. 5.8.28f -  $\bar{Y}_3^{c_j}$ ,  $\bar{Y}_9^{c_j}$ ,  $\bar{Y}_{10}^{c_j}$ .

Rozważając klasę konstrukcji  $A_n$ , zauważa się, że całkowite koszty wytwarzania elementów  $KP_{A_n}^{c_j}$  przed ujednocnieniem

$$KP_{A_n}^{c_j} = \sum_{i \in A_n} v_i \cdot ko_i^{c_j} = \sum_{i \in A_n} v_i \frac{kc_i^{c_j}}{v_i} + \sum_{i \in A_n} v_i \cdot kv_i^{c_j} = |A_n| \cdot kc_c^{c_j} + \sum_{i \in A_n} v_i \cdot kv_i^{c_j}, \quad (5.124)$$

gdzie:  $|A_n|$  - moc klasy.

Całkowite koszty wytwarzania elementów  $KP_{A_n}^{c_j}$  należących do klasy  $A_n$ , po wyborze reprezentanta  $y_{Rn}^{c_j}$

$$KP_{A_n}^{c_j} = \sum_{i \in A_n} v_i \cdot ko_{Rn}^{c_j} = \sum_{i \in A_n} v_i \frac{kc_{Rn}^{c_j}}{\sum_{i \in A_n} v_i} + \sum_{i \in A_n} v_i \cdot kv_{Rn}^{c_j} = kc_{Rn}^{c_j} + \sum_{i \in A_n} v_i \cdot kv_{Rn}^{c_j}, \quad (5.125)$$

gdzie:  $kc_{Rn}^{c_j} = kc_c^{c_j}$  oraz  $\sum_{i \in A_n} v_i \frac{1}{\sum_{i \in A_n} v_i} = \frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_3 \dots} + \frac{v_2}{v_1 + v_2 + v_3 \dots} + \frac{v_3}{v_1 + v_2 + v_3 \dots} \dots = 1$ .

Różnica między kosztami wytwarzania przed ujednocnieniem i po ujednocnieniu cech konstrukcyjnych jest następująca

$$\Delta KP_{A_n} = KP_{A_n}^{c_j} - KP_{A_n}^{c_j} = kc_c^{c_j} (|A_n| - 1) + \sum_{i \in A_n} v_i (kv_i^{c_j} - kv_{Rn}^{c_j}). \quad (5.126)$$

Im większa wartość  $\Delta KP_{A_n}$ , tym korzystniejszy układ klas, ze względu na koszty. Pierwszy składnik zależności (5.126) określa zyski z ujednocnienia, natomiast drugi składnik określa jego straty. Ze względu na trudność wyznaczenia kosztów stałych wytwarzania w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji oraz uwzględnienie w nich wielu kosztów niezależnych od cech konstrukcyjnych, pominięto na niekorzyść pierwszy składnik zależności (5.126). Natomiast drugi składnik równania (5.126) zależny jest głównie od cech konstrukcyjnych, a właściwie od stopnia ich ujednocnienia. W celu oceny układu klas  $U_N^{c_j}$ , ze względu na koszty wytwarzania, dla wszystkich układów klas ( $N = 2 - (M - 1)$ ), określana jest **redundancja kosztów**

$$RK_N^{c_j} = \sum_{n=1}^N RK_{A_n}^{c_j} = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in A_n} v_i (kv_{Rn}^{c_j} - kv_i^{c_j}). \quad (5.127)$$

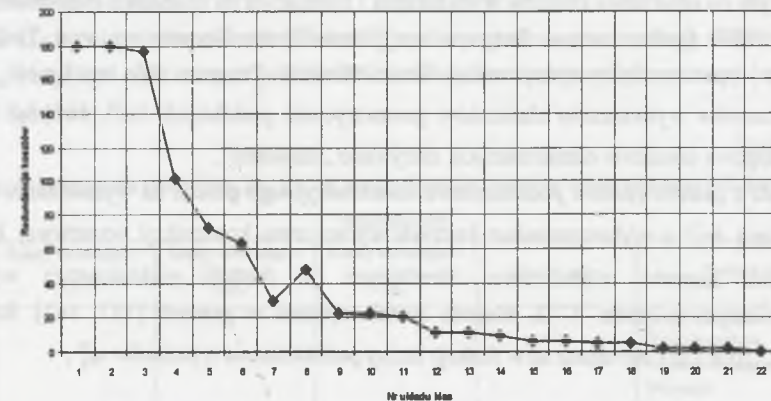
Zmienne koszty  $kv_i^{c_j}$  zastąpiono **relatywnymi kosztami**  $rk_i^{c_j}$  [133, 137, 159] ze względu na minimalizację wpływu koniunktury cenowej na wynik optymalizacji różnorodności wartości wymiarów. Relatywne koszty to koszty obliczane względem konstrukcji wzorcowej (5.129), oparte na identycznym modelu kalkulacji  $A^{c_j}$ . Redundancja kosztów będzie określana według zależności

$$RK_N^{c_j} = \sum_{n=1}^N RK_{A_n}^{c_j} = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in A_n} v_i (rk_{Rn}^{c_j} - rk_i^{c_j}). \quad (5.128)$$

Im bardziej układ klas jest dostosowany do struktury zmienności kosztów, tym bardziej zmniejsza się redundancję kosztów w przedziale  $N=2$  do  $M-1$ . Przykład wyznaczonych redundancji kosztów, z zastosowaniem programu GEN261, dla rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych przedstawiono poniżej,

\*\*MIARY OCENY DYSKRETYZACJI WARTOŚCI WYMIARÓW ZE WZGLĘDU NA REDUNDANCJĘ KOSZTÓW\*\*

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 KOSZTÓW																					
8.8	5.7	4.1	3.5	2.1	1.9	1.6	1.2	.9	.8	.6	.6	.5	.5	.4	.4	.1	.1	.1	.1	.0	
REDUNDANCJA KOSZTÓW Z UWZGLĘDNIENIEM CZĘSTOŚCI POTRZEB																					
180.1	176.5	101.8	72.0	62.6	29.5	47.8	22.5	22.3	20.0	10.9	10.8	9.6	5.6	5.6	5.5	5.5	1.9	1.9	1.7	.0	



Rys. 5.8.29. Zmienność redundancji kosztów z uwzględnieniem częstości potrzeb dla układów klas konstrukcji chwytaków  $U_N$

Fig. 5.8.29. Variability of redundancy of relative costs considering the frequency of needs for constructions of tongs grippers  $U_N$

Przy minimalizacji kosztów wytwarzania w zakładzie wytwórczym istotne znaczenie ma utworzenie układu klas na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego. Wahania koniunkturalne kosztów wytwarzania spowodowane zmianą kosztów np. półfabrykatów, materiałów wsadowych, narzędzi oraz zmiany rozkładu częstości  $v_i$  wpływają na modyfikację uporządkowanej rodziny konstrukcji. Ten wpływ jest tym mniejszy, im bardziej uporządkowana rodzina konstrukcji opracowana zostaje ze względu na podobieństwo konstrukcyjne. W kolejnym rozdziale przedstawiono modele kosztów  $A^{c_j}$ , które wyselekcjonowano ze względu na proces tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji.

**5.8.5.2. Metody wyznaczania relatywnych kosztów wytwarzania**

Na podstawie analizy metod wyznaczania kosztów wytwarzania [36, 79, 133, 137, 140, 142, 143, 159, 177] wyróżniono cztery najbardziej odpowiednie metody do zastosowania w tworzeniu uporządkowanych rodzin konstrukcji:

- 1) metoda obiektów elementarnych (ze szczególnym uwzględnieniem programu HKB),
- 2) metoda z zastosowaniem podobieństwa konstrukcyjnego (Kostenwachstumsgeste [137, 142]),
- 3) metoda z zastosowaniem symulacji procesów technologicznych CAM,
- 4) metoda uproszczona.

Koszty wytwarzania w wyróżnionych metodach określone są na podstawie ilościowych cech konstrukcyjnych  $y_i^{ej}$ .

**Metoda obiektów elementarnych** polega na wyróżnieniu części elementu, którym przypisuje się operacje technologiczne. Na podstawie obiektów elementarnych konstrukcyjno-technologicznych oraz normatywów określa się koszty wytwarzania kolejnych obiektów elementarnych, tworząc ostatecznie model kosztów wytwarzania elementu  $A_i^{ej}$ . Programem stosowanym do obliczania kosztów wytwarzania i bazującym na obiektach elementarnych jest program HKB (pełna nazwa: Program zur HerstellKostenBerechnung von Technischen Systemen) opracowany w szwajcarskiej firmie Mirakon. Program daje możliwość szybkiej analizy kosztów wytwarzania elementów geometrycznie podobnych  $ko_i^{ej}$ , tworząc dla nich okna dialogowe obiektów elementarnych, nazywane „maskami”.

**Metoda z zastosowaniem podobieństwa konstrukcyjnego** polega na wyznaczeniu kosztów wytwarzania  $ko_i^{ej}$  z wykorzystaniem kosztów wytwarzania konstrukcji wzorcowej  $ko_0^{ej}$  oraz relatywnych kosztów wytwarzania określonych w funkcji podobieństwa wymiarów przedstawionym w rozdz. 5.7.2. Metoda została opisana w pracach [137, 142]. Relatywne koszty  $rk_i^{ej}$ ; ( $i = 1, iz$ ) określone są w funkcji liczby podobieństwa wymiarów  $\varphi_i^{ej}$ ,

$$rk_i^{ej} = \frac{\text{koszty wytwarzania dla nowej konstrukcji}}{\text{koszty wytwarzania dla konstrukcji wzorcowej}} = \frac{ko_i^{ej}}{ko_0^{ej}} = f(\varphi_i^{ej}) \quad (5.129)$$

gdzie:  $rk_i^{ej}$  – liczba podobieństwa kosztów wytwarzania (dla konstrukcji identycznych z

konstrukcją wzorcową  $rk_i^{ej} = 1$ ),

$\varphi_{ij}$  – liczba podobieństwa wymiaru, (rozdz. 5.7.2).

Zgodnie z podziałem na zbiory konstrukcji o podobieństwie całkowitym i połowicznym, przedstawionym w rozdz. 5.7.2, stosowane są dwa modele wyznaczania relatywnych kosztów wytwarzania  $A_c^{ej}$  i  $A_p^{ej}$ .

Model kosztów  $A_c^{ej}$  dla zbioru konstrukcji o podobieństwie całkowitym  $\varphi_i^{ej}; (i = 1, iz) = \varphi_i^{ej}$  jest określony zależnością [133]

$$rk_i^{ej} = a_3 \cdot \varphi_1^3 + a_2 \cdot \varphi_1^2 + a_1 \cdot \varphi_1 + \frac{a_0}{\varphi_1} \quad (5.130)$$

gdzie:  $\varphi_1 = \frac{s_1}{s_2}$ ,

$s$  – seryjność wytwarzania.

Podstawą obliczenia stałych  $a_3, a_2, a_1, a_0$  są koszty konstrukcji wzorcowej:

$$a_3 = \frac{\sum \text{kosztów konstrukcji wzorcowej zależne od wzrostu } \varphi_1^3}{ko_0^{ej}} \quad (5.131)$$

$$a_2 = \frac{\sum \text{kosztów konstrukcji wzorcowej zależne od wzrostu } \varphi_1^2}{ko_0^{ej}} \quad (5.132)$$

$$a_1 = \frac{\sum \text{kosztów konstrukcji wzorcowej zależne od wzrostu } \varphi_1}{ko_0^{ej}} \quad (5.133)$$

$$a_0 = \frac{\sum \text{kosztów stałych konstrukcji wzorcowej}}{ko_0^{ej}} \quad (5.134)$$

Wszelkie koszty niezależne od cech konstrukcyjnych ujmowane są w kosztach stałych. Stałe  $a_3, a_2, a_1, a_0$ , mogą być obliczane na podstawie kosztów odpowiadających konstrukcji wzorcowej, tablica 5.8.8 [133].

**Tablica 5.8.8**

Tablica wyznaczania stałych  $a_3, a_2, a_1$  i  $a_0$  na podstawie kosztów odpowiadających konstrukcji wzorcowej

Nr operacji	Koszty wzrastające z $\varphi_1^3$	Koszty wzrastające z $\varphi_1^2$	Koszty wzrastające z $\varphi_1$	Koszty stałe	Przebieg operacji
0					Koszty materiałowe
1					Toczenie czołowe
2					Toczenie zewnętrzne
3					Wiercenie
4					Toczenie wewnętrzne
5					Gwintowanie
	$\sum ko_3^{ej}$	$\sum ko_2^{ej}$	$\sum ko_1^{ej}$	$\sum ko_0^{ej}$	$ko_0^{ej}$
	$a_3 = \frac{\sum ko_3^{ej}}{ko_0^{ej}}$	$a_2 = \frac{\sum ko_2^{ej}}{ko_0^{ej}}$	$a_1 = \frac{\sum ko_1^{ej}}{ko_0^{ej}}$	$a_0 = \frac{\sum ko_0^{ej}}{ko_0^{ej}}$	$\sum_{x=0,3} a_x = 1$

Model kosztów  $A_p^{ej}$  dla zbioru konstrukcji o podobieństwie połowicznym określony jest zależnością

$$rk_i^{ej} = \sum_{op=1}^{iz} (a_{op} \cdot \prod_{i=1}^{iz} \varphi_i^{x_i}) \quad (5.135)$$

gdzie:  $op$  - oznaczenie operacji (0 – odpowiada stałym składnikom kosztów),  
 $a_{op}$  - parametr operacji obliczany na podstawie kosztów odpowiadających konstrukcji wzorcowej,  
 $\varphi_i$  - liczby podobieństwa wymiarów związanych z daną operacją ( $i=1,2,3$ ),  
 $x_1$  - eksponenta liczby podobieństwa wymiaru określana na podstawie badań eksperymentalnych w określonym zakładzie wytwórczym.

Wartości stałe  $a_{op}$  określone są na podstawie kosztów odpowiadających konstrukcji wzorcowej dla operacji  $op$ , jak przedstawiono to w tabl. 5.8.8, lecz dla zmienionych wartości eksponent  $x_1$ . Eksponenta  $x_1$  jest zależna od operacji oraz stanowiska obróbczego (co wymaga przeprowadzenia aproksymacji kosztów dla kilku konstrukcji elementów realizujących identyczne operacje w określonym zakładzie wytwórczym).

Przykładowe wartości eksponenty  $x_1$  wg [133] przedstawiono w tabl. 5.8.9.

Tablica 5.8.9

Eksponenta podobieństwa wymiaru dla typu obrabiarki i rodzaju operacji [133]

Typ obrabiarki	Operacja	Eksponenta		Stopień potwierdzenia wyniku
		obliczona	zaokrąglona	
Tokarka uniwersalna	toczenie zewnętrzne i wewnętrzne	2	2	II
	toczenie gwintu	1	1	I
	podtoczenia i toczenie rowka	1.5	1	I
	toczenie ścięcia	1	1	I
Tokarka karuzelowa	toczenie zewnętrzne i wewnętrzne	2	2	II
Wiertarka promieniowa	wiercenie, rozwiercanie, gwintowanie	1	1	II
Wiertarko - frezarka	wiercenie i frezowanie	1	1	0
Frezarka rowkowa	frezowanie rowka wpustowego	1.2	1	I
Szlifierka uniwersalna	szlifowanie powierzchni walcowej	1.8	2	II
Piła tarczowa	cięcie	2	2	0
Nożyce	cięcie blachy	1.5 - 1.8	2	I
Kantówka	ściananie brzegów	1.25	1	I
Prasa	wykrajanie	1.6 - 1.7	2	I
Wypalarka	wycinanie blachy	1.25	1	II
Spawalnica	spajanie spoiną typu: I,V,Y oraz pachwinową	2.5	2	II
	Wytwarzanie	3	3	II
	Piaskowanie	2-3	2-3	II
	Montaż	1	1	II
	Czyszczenie ręczne	2	2	II
	Lakierowanie	2	2	II

Oznaczenia: II – zgodne wyniki - potwierdzone praktycznie dla eksponenty zaokrąglonej,  
 I – przybliżone wyniki z wynikami praktycznymi,  
 0 – znaczne odstępstwa od wyników praktycznych.

Metoda CAM polega na przeprowadzeniu symulacji procesów technologicznych z zastosowaniem programów graficznych CAM i na tej podstawie określeniu czasów

wytwarzania. Czasy te są podstawą wyznaczenia kosztów zmiennych. Model kosztów  $A_{CAM}^i$ , obejmuje następujące stadia:

- 1) wybór zbioru konstrukcji  $Ks_w^i = \{ks_1^i, \dots, ks_n^i, \dots, ks_m^i\}$ , dla których przeprowadzana będzie symulacja procesów technologicznych (od 3 do  $\frac{iz}{3}$ ), w zbiorze konstrukcji  $Ks_w^i$  pojawia się również konstrukcja wzorcowe  $ks_w^i$ ,
- 2) opracowanie wzorcowego procesu technologicznego  $te_w^i$  dla wzorcowej konstrukcji  $ks_w^i$  z zastosowaniem programu graficznego CAM,
- 3) opracowanie procesów technologicznych dla pozostałych wybranych konstrukcji  $Ks_w^i$  na podstawie asocjatywności zaawansowanych programów graficznych,
- 4) zestawienie czasów obróbki,
- 5) opracowanie kosztów wytwarzania dla konstrukcji wzorcowej  $ks_w^i$  i wzorcowego procesu technologicznego  $te_w^i$  za pomocą programu KOSZTY,
- 6) obliczenie kosztów dla pozostałych konstrukcji z zastosowaniem podobieństwa konstrukcyjnego  $A^i (A_w^i)$ ,
- 7) zestawienie wyników kosztów wytwarzania.

W celu wyznaczenia kosztów wytwarzania na podstawie procesów technologicznych elementów geometrycznie podobnych opracowano program KOSZTY. Praca w programie odbywa się w projektach, gdzie każdy projekt związany jest z typową postacią konstrukcyjną elementu (rys.5.8.30), np. to MTG typowa postać konstrukcyjna tulei tłoka silownika hydraulicznego.

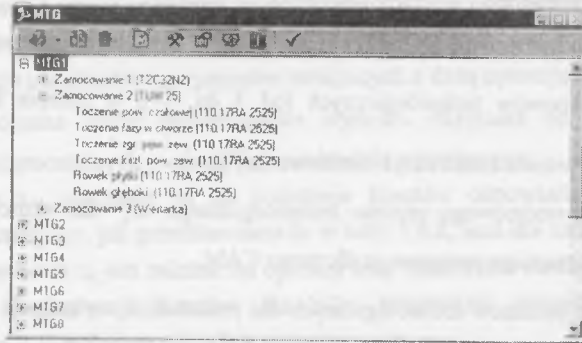


Rys. 5.8.30. Program KOSZTY z możliwością pracy w projektach

Fig. 5.8.30. Program KOSZTY with possibility to work in projects

Dla pierwszej rozważanej konstrukcji elementu określone są podstawowe dane do obliczenia składników kosztów stałych  $kc_w^i$  oraz zmiennych  $kv_w^i$ , wymienionych w rozdz. 5.8.5.1. Wprowadzanie danych odbywa się z zastosowaniem okien dialogowych. Po

rozwięciu oznaczenia konstrukcji elementu uwidacznia się składniki procesu technologicznego określone w trakcie symulacji w programie graficznym CAM, rys. 5.8.31.



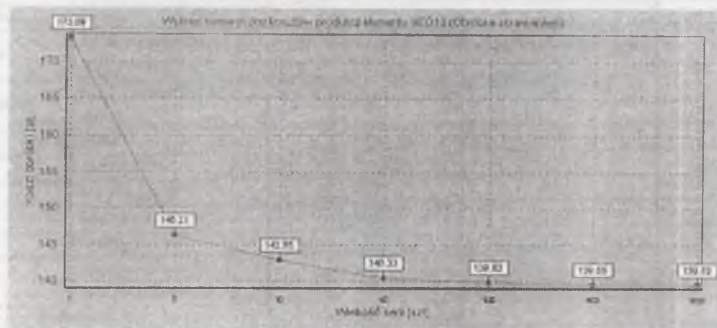
Rys. 5.8.31. Składniki symulacji procesu technologicznego

Fig. 5.8.31. Elements of the simulation of a technological process

Podstawową zaletą programu KOSZTY jest możliwość kopiowania, a następnie modyfikacji danych niezbędnych do obliczenia kosztów nowej konstrukcji. Własność ta w znacznym stopniu przyspiesza tworzenie struktury zmienności kosztów wytwarzania.

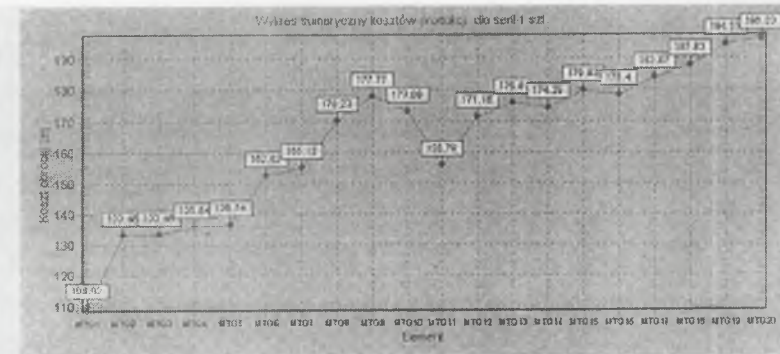
Wynikami programu są:

- struktura zmienności kosztów elementu w zależności od seryjności wytwarzania, rys. 5.8.32,
- struktura zmienności kosztów jednostkowych dla konstrukcji o postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{16j}$ , rys. 5.8.33,
- struktura zmienności kosztów w zależności od rodzaju półfabrykatu (technologii wytwarzania) i seryjności wytwarzania, rys. 5.8.34 - 35,
- struktura zmienności relatywnych kosztów wytwarzania, rys. 5.8.36.



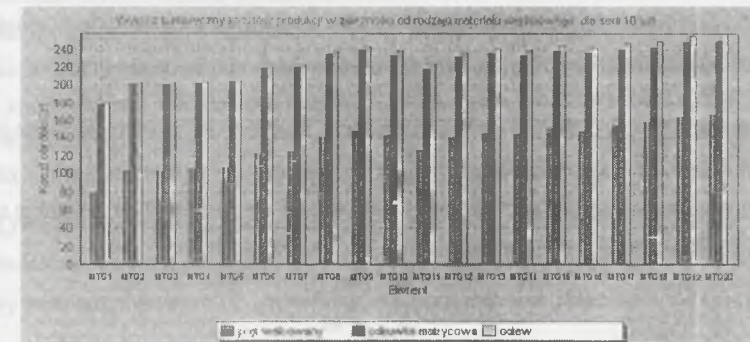
Rys. 5.8.32. Zmienność kosztów w zależności od seryjności wytwarzania dla konstrukcji MTG10

Fig. 5.8.32. Variability of costs as a function of series of manufacturing elements for the construction MTG10



Rys. 5.8.33. Zmienność kosztów jednostkowych dla konstrukcji o postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{MTG}$

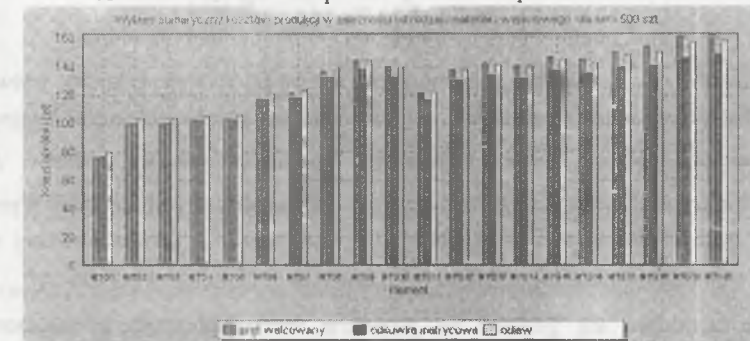
Fig. 5.8.33. Variability of unit costs for the construction with the form  $\Pi^{MTG}$



Rys. 5.8.34. Zmienność kosztów dla konstrukcji o postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{MTG}$

wytwarzanych z różnych półfabrykatów i seryjności wytwarzania 10 sztuk

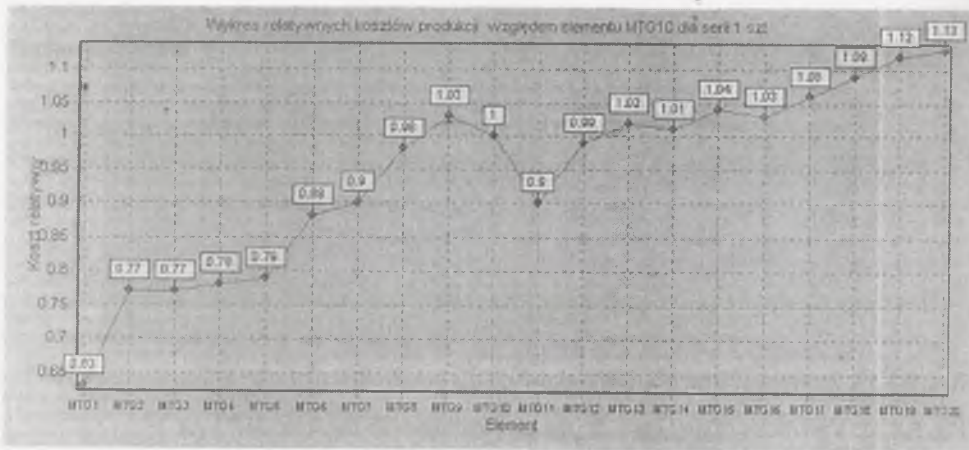
Fig. 5.8.34. Variability of costs for the construction with the form  $\Pi^{MTG}$  manufactured from different semi-finished products at series equal to 10



Rys. 5.8.35. Zmienność kosztów dla konstrukcji o postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{MTG}$

wytwarzanych z różnych półfabrykatów i seryjności wytwarzania 500 sztuk

Fig. 5.8.35. Variability of costs for the construction with the form  $\Pi^{MTG}$  manufactured from different semi-finished products at series equal to 500



Rys. 5.8.36. Zmienność relatywnych kosztów dla konstrukcji o postaci konstrukcyjnej  $\Pi^{MTG}$

Fig. 5.8.36. Variability of relative costs for the construction with the form  $\Pi^{MTG}$

Metoda uproszczona polega na tworzeniu modelu kosztów  $A_u^{sj}$ , w której wartości masy elementów składowych oraz całego środka technicznego poddaje się normalizacji, a następnie nadaje się im wagi w zależności od złożoności wytwórczej elementów. Normalizację wartości mas elementów składowych przeprowadza się na podstawie zależności,

$$kw_i^{sj} = \frac{m_i - m_{min,j}}{m_{max,j} - m_{min,j}} \quad (5.136)$$

Złożoność wytwarzania elementu określana jest przez twórcę uporządkowanej rodziny konstrukcji z uwzględnieniem ocen ekspertów z grona konstruktorów i technologów (rozdz. 5.2.6 i 5.4.1). Przyjmowane wartości wag uwzględniających złożoność wytwórczą spełniają zależność

$$\sum_{j=1}^p w^{sj} = 100. \quad (5.137)$$

Metoda uproszczona w sposób przybliżony pozwala określić relatywne koszty wytwarzania elementów składowych rodziny konstrukcji, ze względu na zmienność cech konstrukcyjnych.

Przedstawione powyżej metody wyznaczają modele zmienności kosztów  $A^{sj}$  na podstawie cech konstrukcyjnych i technologicznych dobieranych w zależności od wymaganej dokładności oraz procesów technologicznych w celu tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji. Najdokładniejsze wyniki daje metoda CAM z modelem kosztów  $A_{CAD}^{sj}$ , ale jej zastosowanie ogranicza się głównie do procesów technologicznych z zastosowaniem obrabiarek sterowanych numerycznie. Metoda obiektów elementarnych, z modelem kosztów  $A_u^{sj}$ , wymaga rozbudowanej bazy danych dla rozważanej rodziny konstrukcji. Natomiast wyniki przybliżone, lecz charakteryzujące się małym stopniem złożoności obliczeń, daje metoda podobieństwa konstrukcyjnego i uproszczona, z modelami kosztów  $A_c^{sj}$  ( $A_u^{sj}$ ) i  $A_u^{sj}$ .

### 5.8.6. Tworzenie przyporządkowania $\delta_A$ metodą selekcji wymiarów

Przyporządkowanie  $\delta_A$  to przyporządkowanie między wektorami potrzeb  $\bar{X}_i^u$  a wektorami konstrukcji elementów składowych rodziny konstrukcji  $\bar{Y}_m^{sj}$  ( $j=1, jz$ ), uzyskane na podstawie ujednoczenia wartości wymiarów istotnych  $WI_l^{RK}; (l=1, li_p)$ .

Model przekształceń wartości ilościowych cech konstrukcyjnych przedstawiono na rys. 5.8.37. Na podstawie przyporządkowania  $\gamma$  każdemu wektorowi potrzeb  $\bar{X}_i^u$  odpowiadają wektory konstrukcji elementów  $\bar{Y}_m^{sj}$  ( $j=1, jz$ ), gdzie  $m=i$  (rozdz. 5.7). Przeprowadzając selekcję wymiarów (rozdz. 5.8.2), wyznacza się wymiary istotne,  $WI_l^{RK}; (l=1, li_p)$  ( $p=1, pz$ ), na podstawie których tworzona jest tablica danych  $\{y_m^p\}$ . Indeks  $p$  określa numer kombinacji dobranych typowych rozwiązań konstrukcyjnych, rys. 5.4.11. Wartości tablicy  $\{y_m^p\}$  poddawane są ujednocnieniu zgodnie z metodą selekcji wymiarów, którą przedstawiono na rys. 5.8.38. Podstawą ujednocnienia konstrukcji elementów jest przyjęcie identycznego układu klas w konstrukcjach elementów, który uzyskano na podstawie klasyfikacji wartości wymiarów istotnych,

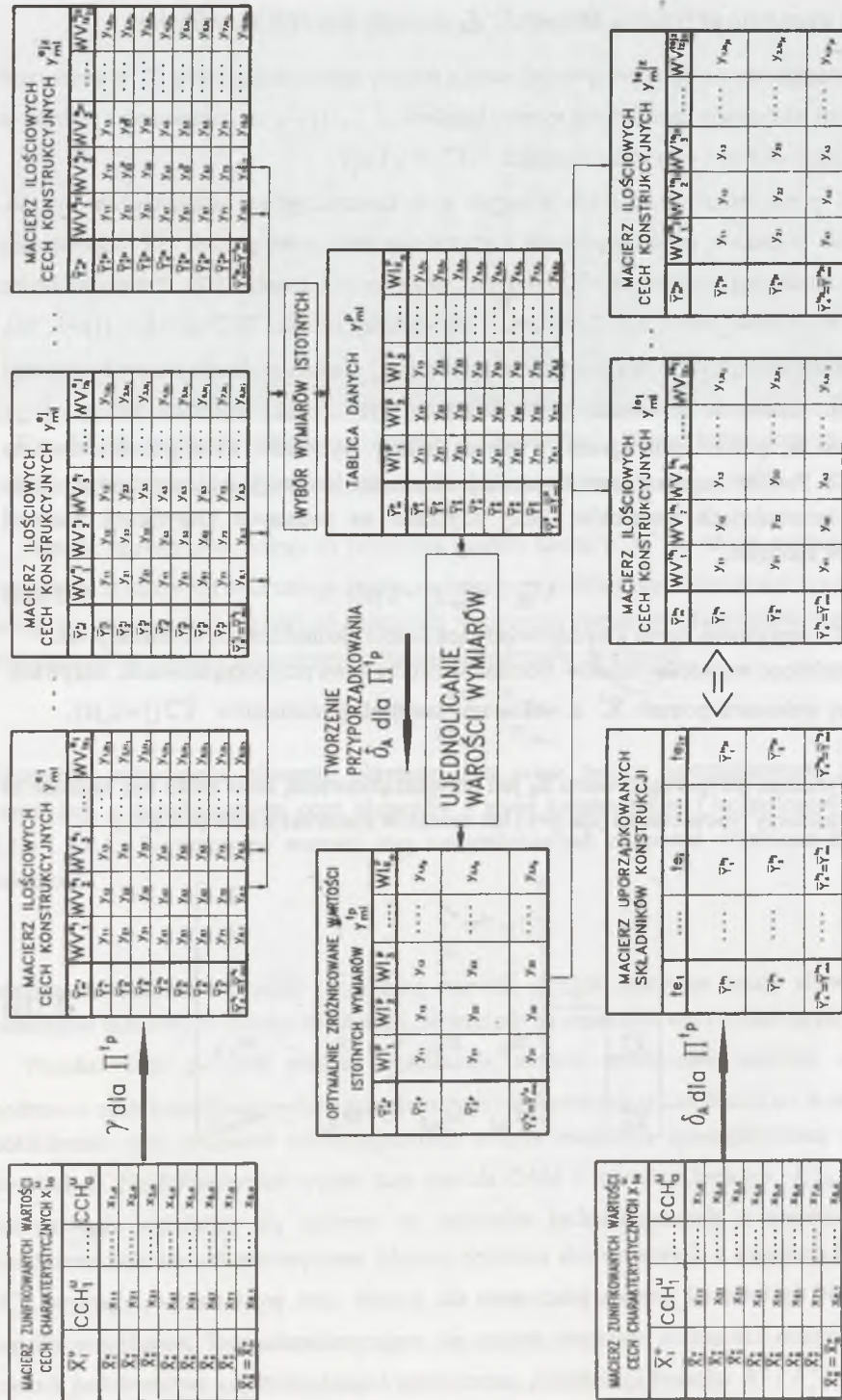
$$U_{NO}^{**} = U_{NO}^{sj}, (j=1, jz), \quad (5.138)$$

gdzie: NO – optymalna liczba klas odpowiadająca liczbie ujednoczonych konstrukcji  $mz$ .

Ujednoczone wartości wymiarów elementów tworzą nowe przyporządkowanie, nazywane  $\delta_A$  między wektorami potrzeb  $\bar{X}_i^u$  a wektorami konstrukcji elementów  $\bar{Y}_m^{sj}$  ( $j=1, jz$ ), gdzie:

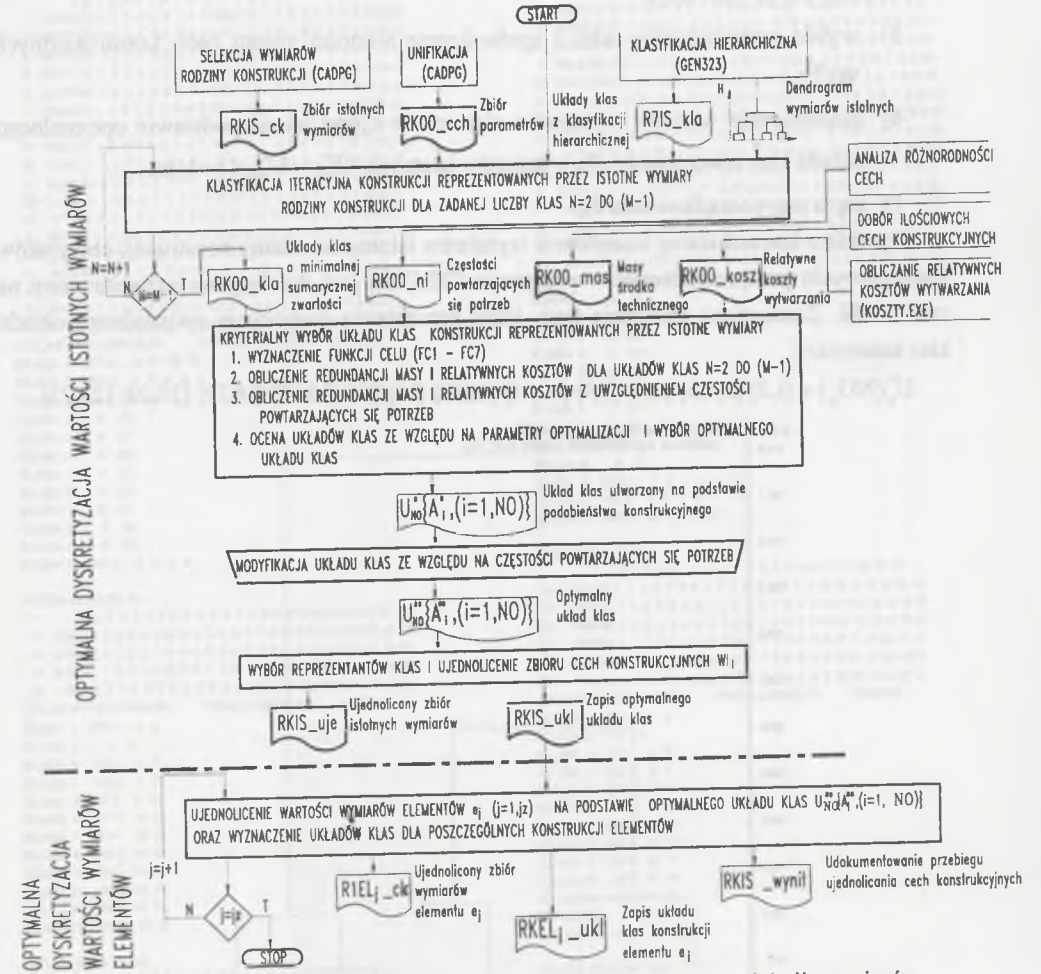
$m \leq i$ . Wynikiem przyporządkowania  $\delta_A$  jest przyporządkowanie, które może być zapisane za pomocą macierzy typowości (dla  $p=1$ ) lub modułów konstrukcyjnych (dla  $p>1$ ),

$$\begin{bmatrix} \bar{X}_1^u \\ \bar{X}_2^u \\ \bar{X}_3^u \\ \vdots \\ \bar{X}_i^u \\ \vdots \\ \bar{X}_{iz}^u \end{bmatrix} \xrightarrow{\delta} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 2 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{i,jz} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{iz,1} & m_{iz,2} & \dots & m_{iz,j} & \dots & m_{iz,jz} \end{bmatrix} \quad (5.139)$$



Rys. 5.8.37. Model przekształceń wartości wymiarów w przyporządkowaniu  $\delta_A$   
 Fig. 5.8.37. Model of transformations of dimensions values in the assignment  $\delta_A$

Przedmiotem dyskretyzacji w metodzie selekcji wymiarów są najpierw wyselekcjonowane wymiary istotne  $WI_1^{kl}$ , a następnie wartości wymiarów elementów według grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi^{t_{ij}})$ .



Rys. 5.8.38. Optymalizacja różnorodności wartości wymiarów metodą selekcji wymiarów (program GEN261)

Fig. 5.8.38. Optimizing of variability of dimensions values using the method of dimensions selection (program GEN261)

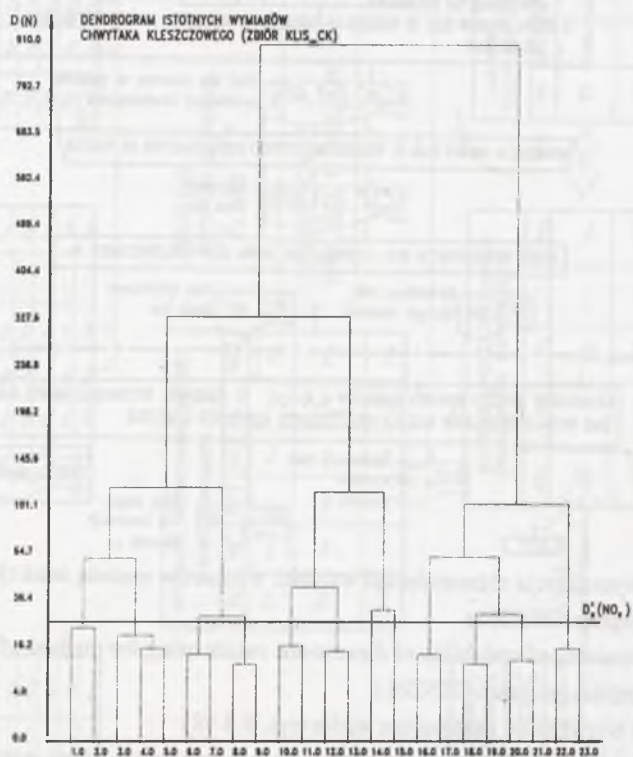
W metodzie wyróżniono następujące stadia (rys. 5.8.38):

- 1) klasyfikacja hierarchiczna konstrukcji reprezentowanych przez wymiary istotne; jej wynikiem jest dendrogram oraz zapis układów klas  $U_N^H; (N = 2, (M - 1))$ ,
- 2) klasyfikacja iteracyjna konstrukcji reprezentowanych przez wymiary istotne  $WI_1^{kl}$ ,

- 3) wybór układu klas konstrukcji  $U_{NO}^* \{A_i^* (i=1, NO)\}$  na podstawie funkcji celu, redundancji masy, redundancji względnych kosztów wytwarzania,
- 4) modyfikacja układu klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb  $U_{NO}^{**} \{A_i^{**} (i=1, NO)\}$ ,
- 5) wybór reprezentantów klas i ujednoczenie wartości zbioru cech konstrukcyjnych  $WI_1^{KL}$ ,
- 6) ujednoczenie wartości wymiarów elementów  $e_j (j=1, jz)$  na podstawie optymalnego układu klas utworzonego dla wymiarów istotnych  $U_{NO}^{**} = U_{NO}^* (j=1, jz)$ ,
- 7) zapis przyporządkowania  $\delta_A$ .

Wynikiem hierarchicznej klasyfikacji wymiarów istotnych rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych, przeprowadzonej w programie GEN323, jest dendrogram przedstawiony na rys. 5.8.39. Zaznaczono położenie linii, które przedstawia propozycję optymalnego układu klas konstrukcji.

$$U_{NO}^* (NO_i) = \{1,2\} \{3,4,5\} \{6,7\} \{8,9\} \{10,11\} \{12,13\} \{14\} \{15\} \{16,17\} \{18,19\} \{20,21\} \{22,23\}.$$



Rys. 5.8.39. Dendrogram wymiarów istotnych chwytaka kleszczowego wraz z zaznaczonym poziomem zróżnicowania dla optymalnego układu klas

Fig. 5.8.39. Dendrogram of essential dimensions of tongs gripper with indicated the level of differentiation for the optimal class system

Podstawą wykreślenia dendrogramu oraz zestawienia układów klas dla  $N=2$  do  $(M-1)$  (plik K7IS\_kla) są tablice miary zróżnicowania liczone metodą Worda.

Fragment klasyfikacji iteracyjnej przedstawiono na poniższym wydruku.

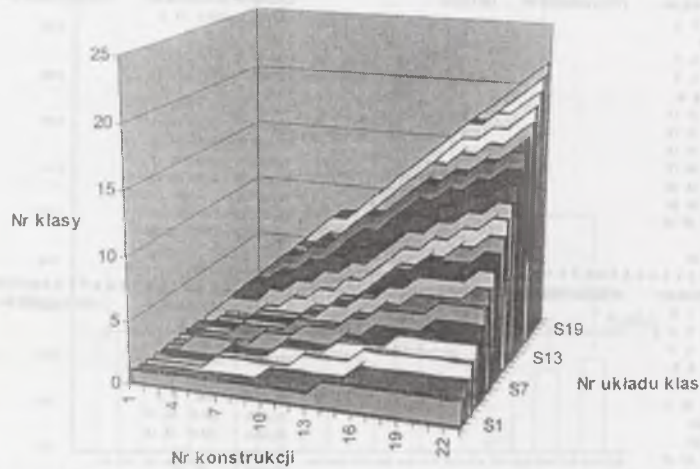
LICZBA KLAS N= 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11		2 171874.20 11 11 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 3 152515.20 11 11 11 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 4 132640.70 11 11 11 11 5 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 5 110365.90 11 11 11 11 11 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 6 91224.27 11 11 11 11 11 11 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 7 70818.86 11 11 11 11 11 11 11 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 8 52457.18 11 11 11 11 11 11 11 11 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 32695.53 11 11 11 11 11 11 11 11 11 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10 13797.58 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 9547.49 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 9177.05 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 8 8451.28 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 6528.35 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 6430.62 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 6 5941.80 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 7 4969.11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 10 4653.57 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
L.KLAS N= 12 S.ZWAR.H= 5193.9 S.ODSEP.D= 1095863.0 KLASA 1 1253.1 10 11 12 13 KLASA 2 2798.2 1 2 3 4 5 KLASA 3 540.3 14 15 KLASA 4 0 16 KLASA 5 0 17 KLASA 6 0 18 KLASA 7 0 19 KLASA 8 0 20 KLASA 9 0 21 KLASA 10 0 22 KLASA 11 0 23 KLASA 12 602.4 6 7 8 9		L.KLAS N= 13 S.ZWAR.H= 4653.6 S.ODSEP.D= 1203680.0 KLASA 1 0 14 KLASA 2 0 15 KLASA 3 0 16 KLASA 4 0 17 KLASA 5 0 18 KLASA 6 0 19 KLASA 7 0 20 KLASA 8 0 21 KLASA 9 0 22 KLASA 10 0 23 KLASA 11 2798.2 1 2 3 4 5 KLASA 12 602.4 6 7 8 9 KLASA 13 1253.1 10 11 12 13	
LICZBA KLAS N= 12 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 4 2267.10 1 1 2 3 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 6 2054.74 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 8 2030.47 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 10 1792.56 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 L.KLAS N= 12 S.ZWAR.H= 1792.6 S.ODSEP.D= 1411220.0 KLASA 1 298.1 1 2 KLASA 2 0 3 KLASA 3 135.2 4 5 KLASA 4 103.6 6 7 KLASA 5 63.2 8 9 KLASA 6 161.0 10 11 KLASA 7 114.5 12 13 KLASA 8 540.3 14 15 KLASA 9 105.0 16 17 KLASA 10 65.0 18 19 KLASA 11 76.0 20 21 KLASA 12 130.8 22 23		LICZBA KLAS N= 13 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 4 2741.05 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 13 2177.47 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 18 1929.06 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 17 1727.56 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 20 1720.56 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 19 1716.56 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 L.KLAS N= 13 S.ZWAR.H= 1716.6 S.ODSEP.D= 1725291.0 KLASA 1 298.1 1 2 KLASA 2 0 3 KLASA 3 135.2 4 5 KLASA 4 103.6 6 7 KLASA 5 63.2 8 9 KLASA 6 161.0 10 11 KLASA 7 114.5 12 13 KLASA 8 540.3 14 15 KLASA 9 105.0 16 17 KLASA 10 65.0 18 19 KLASA 11 0 20 KLASA 12 0 21 KLASA 13 130.8 22 23	
LICZBA KLAS N= 12 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 L.KLAS N= 12 S.ZWAR.H= 1478.0 S.ODSEP.D= 1280203.0 KLASA 1 298.1 1 2 KLASA 2 360.8 3 4 5 KLASA 3 103.6 6 7 KLASA 4 63.2 8 9 KLASA 5 161.0 10 11 KLASA 6 114.5 12 13 KLASA 7 0 14 KLASA 8 0 15 KLASA 9 105.0 16 17 KLASA 10 65.0 18 19 KLASA 11 76.0 20 21 KLASA 12 130.8 22 23		LICZBA KLAS N= 13 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 L.KLAS N= 13 S.ZWAR.H= 1179.9 S.ODSEP.D= 1664108.0 KLASA 1 0 1 KLASA 2 0 2 KLASA 3 360.8 3 4 5 KLASA 4 103.6 6 7 KLASA 5 63.2 8 9 KLASA 6 161.0 10 11 KLASA 7 114.5 12 13 KLASA 8 0 14 KLASA 9 0 15 KLASA 10 105.0 16 17 KLASA 11 65.0 18 19 KLASA 12 76.0 20 21 KLASA 13 130.8 22 23	
LICZBA KLAS N= 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 1 187318.60 11 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10			

Zestawienie układów klas o minimalnej sumarycznej zwartości klas przedstawiono w tabl. 5.8.10, natomiast ich zmienność przedstawiona została graficznie na rys. 5.8.40.

Talica 5.8.10

Zapis układów klas z klasyfikacji prostej

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



Rys. 5.8.40. Zapis graficzny układów klas  
Fig. 5.8.40. Graphic notation of the class system

Przebieg wyboru optymalnego układu klas przeprowadzany jest na podstawie siedmiu funkcji celu, będących parametrami oceny układu klas.

PARAMETRY OPTYMALIZACJI  
 FUNKCJA CELU DLA WZGLĘDNYCH ZWAROŚCI I ODSEPEROWAŃ FC1  
 WZGLĘDNA ZWAROŚĆ H/HMAX= 1991 WZGLĘDNE ODSEPEROWANIE D/DMAX= 0062 FC1= 1929  
 WZGLĘDNA ZWAROŚĆ H/HMAX= 1024 WZGLĘDNE ODSEPEROWANIE D/DMAX= 0139 FC1= 0885  
 WZGLĘDNA ZWAROŚĆ H/HMAX= 0683 WZGLĘDNE ODSEPEROWANIE D/DMAX= 0250 FC1= 0434  
 WZGLĘDNA ZWAROŚĆ H/HMAX= 0483 WZGLĘDNE ODSEPEROWANIE D/DMAX= 0402 FC1= 0081

LICZBA KLAS	SUMARYCZNA ZWAROŚĆ H	SUMARYCZNE ODSEPEROWANIE D	PC2	WZGLĘDNE ZMNIJSZENIE H- FC3	WZGLĘDNY PRZYRÓST G- FC4	KĄT PRZEGIĘCIA		
						GA	ST	ZG
2	44599.3	31744.4	9444.7	5.023	1000.00	116	8284	964
3	22939.4	71496.0	16185.5	1.944	2.25	162	2.838	460
4	15306.8	128683.2	17620.5	1.499	1.80	132	1.705	225
5	10829.3	207150.0	18549.1	1.413	1.61	083	1.325	110
6	7450.5	305373.9	19116.5	1.453	1.47	188	1.667	314
7	5424.1	448272.7	20571.4	1.374	1.47	136	1.337	181
8	3907.9	670449.7	23456.1	1.388	1.50	259	1.551	401
9	2930.3	766517.5	20966.6	1.334	1.14	517	1.810	935
10	2390.1	871928.6	19137.2	1.226	1.14	137	1.134	155
11	1913.6	1084783.0	19549.4	1.249	1.24	098	1.094	107
12	1478.0	1280203.0	19273.9	1.295	1.18	468	1.461	684
13	1179.9	1664108.0	21244.0	1.253	1.30	412	1.321	544
14	954.2	1948025.0	21338.7	1.236	1.17	568	1.402	797
15	793.3	2103206.0	19977.7	1.203	1.08	309	1.191	368
16	658.1	2372540.0	19730.0	1.205	1.13	057	1.033	059
17	527.3	2961701.0	21746.2	1.248	1.25	220	1.142	251
18	412.8	3140312.0	20502.0	1.277	1.06	137	1.090	150
19	307.8	3496370.0	20430.4	1.341	1.11	020	1.014	021
20	204.2	3811021.0	20047.8	1.507	1.09	439	1.363	599
21	128.2	4346700.0	20692.5	1.593	1.14	201	1.169	235
22	63.2	4820171.0	20863.7	2.029	1.11	034	1.029	035

WZGLĘDNA ZWAROŚĆ H/HMAX= 0333 WZGLĘDNE ODSEPEROWANIE D/DMAX= 0593 FC1= 0260

Układy klas w kolejności najlepiej spełniających funkcje celu przedstawiono poniżej,

- OPTYMALNA LICZBA KLAS ZE WZGLĘDU NA PUNKT PRZECIECIA- FC1 6
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA FUNKCJE CELU - FC2 8 17 14 11
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA FUNKCJE CELU - FC3 6 8 12
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA MAKSYMALNE ZMNIJSZENIE G-FC4 8 13 17 11 21 19
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA MAKSYMALNY KĄT GAMA - FC5 12 9 14 20 17 6 3
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA STOSUNEK PRZYRÓSTU D- FC6 9 6 12 14 20 17
- OPTYMALNE LICZBY KLAS ZE WZGLĘDU NA ILOCZYN ZG- FC7 9 14 12 20 6 17

Ocena układów klas ze względu na redundancję masy

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
REDUNDANCJA MASY Z UWZGLĘDNIENIEM CZĘSTOŚCI POTRZEB	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

Podobną ocenę przeprowadza się ze względu na redundancję względnych kosztów.

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
REDUNDANCJA KOSZTÓW Z UWZGLĘDNIENIEM CZĘSTOŚCI POTRZEB	150.1	176.5	101.8	72.0	62.6	29.5	47.8	22.5	22.3	20.0	10.9	10.8	9.6	5.6	5.6	5.5	5.5	1.9	1.9	1.7	0

Uwzględniając miary oceny klas ze względu na podobieństwo konstrukcyjne uzyskano optymalną liczbę klas NO=12.

Zestawienie numerów wektora potrzeb  $i$  z numerami typowości  $m$  określa przyporządkowanie  $\delta_A$ , które przedstawiono w tabl. 5.8.11. Wynikiem tej metody ujednoczenia cech konstrukcyjnych jest typoszereg z przyporządkowaniem posobnym. Wadą tej formy uporządkowania rodziny konstrukcji jest mało elastyczne dopasowanie dyskretyzacji wartości wymiarów do ich struktury zmienności w poszczególnych konstrukcjach elementów. Zaletą jest prosta i przejrzysta dyskretyzacja wartości wymiarów elementów. Przyporządkowanie  $\delta_A$  zaleca się stosować w tworzeniu uporządkowanych rodzin konstrukcji w postaci typoszeregów.



Tablica 5.8.11

Przyporządkowanie  $\delta_A$

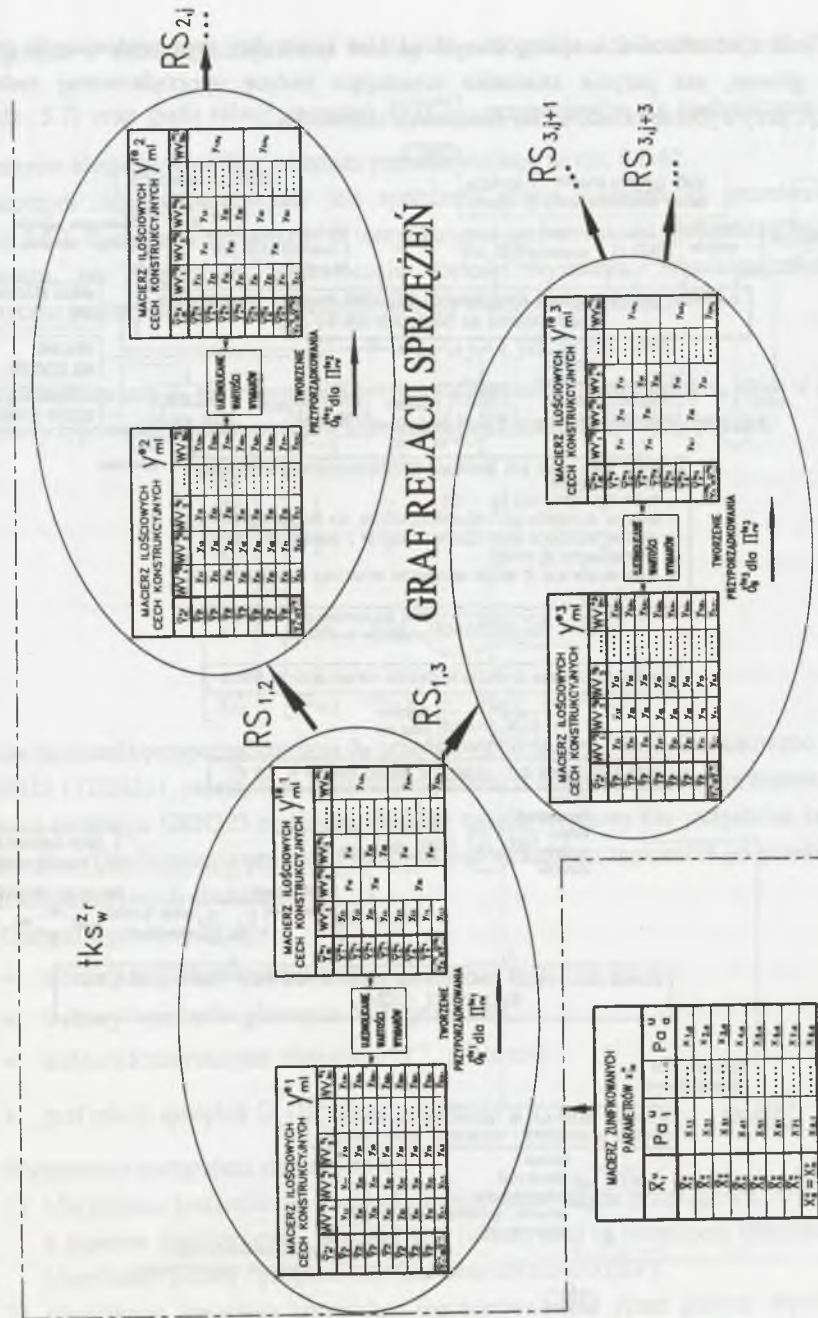
i	D	H	Masa	Typowości elementów						Typowość chwytaka KL
	mm	kg	MKP	MTL	MKO	MLP	MCL	MDZ	MKN	
1	25	40	0.2	1	1	1	1	1	1	1
2	28	40	0.2							
3	32	63	0.4							
4	35	63	0.5	2	2	2	2	2	2	2
5	40	63	0.6							
6	45	63	0.8							
7	50	100	1.5	3	3	3	3	3	3	3
8	56	100	1.9							
9	63	100	2.4	4	4	4	4	4	4	4
10	71	100	3.1							
11	80	100	3.9	5	5	5	5	5	5	5
12	90	120	6.0							
13	100	120	7.4	6	6	6	6	6	6	6
14	112	120	9.3	7	7	7	7	7	7	7
15	125	180	17.4	8	8	8	8	8	8	8
16	132	180	19.4							
17	140	180	21.8	9	9	9	9	9	9	9
18	150	180	25.0							
19	160	180	28.4	10	10	10	10	10	10	10
20	170	200	35.7							
21	180	200	40.0	11	11	11	11	11	11	11
22	190	200	44.5							
23	200	200	54.3	12	12	12	12	12	12	12

5.8.7. Tworzenie przyporządkowania  $\delta_B$  metodą relacji sprzężeń

Przyporządkowanie  $\delta_B$  to przyporządkowanie między zunifikowanymi wektorami potrzeb  $\bar{X}_i^u$  a ujednoczonymi wektorami konstrukcji  $Y_m^{tcj}; (j=1, jz; m=1, mo_j)$ , utworzone na podstawie optymalizacji różnorodności wartości wymiarów konstrukcji elementów ( $Y_m^{cj}; (j=1, jz; m=i) \rightarrow Y_m^{tcj}; (j=1, jz; m=1, mo_j)$ ), spełniono jednocześnie relacje sprzężeń zewnętrznych i wewnętrznych między wymiarami elementów. W metodzie relacji sprzężeń optymalizacja różnorodności wartości wymiarów obejmuje wszystkie zmienne wymiary elementów  $WV_1^{cj}; (l=1, lv_j)$ .

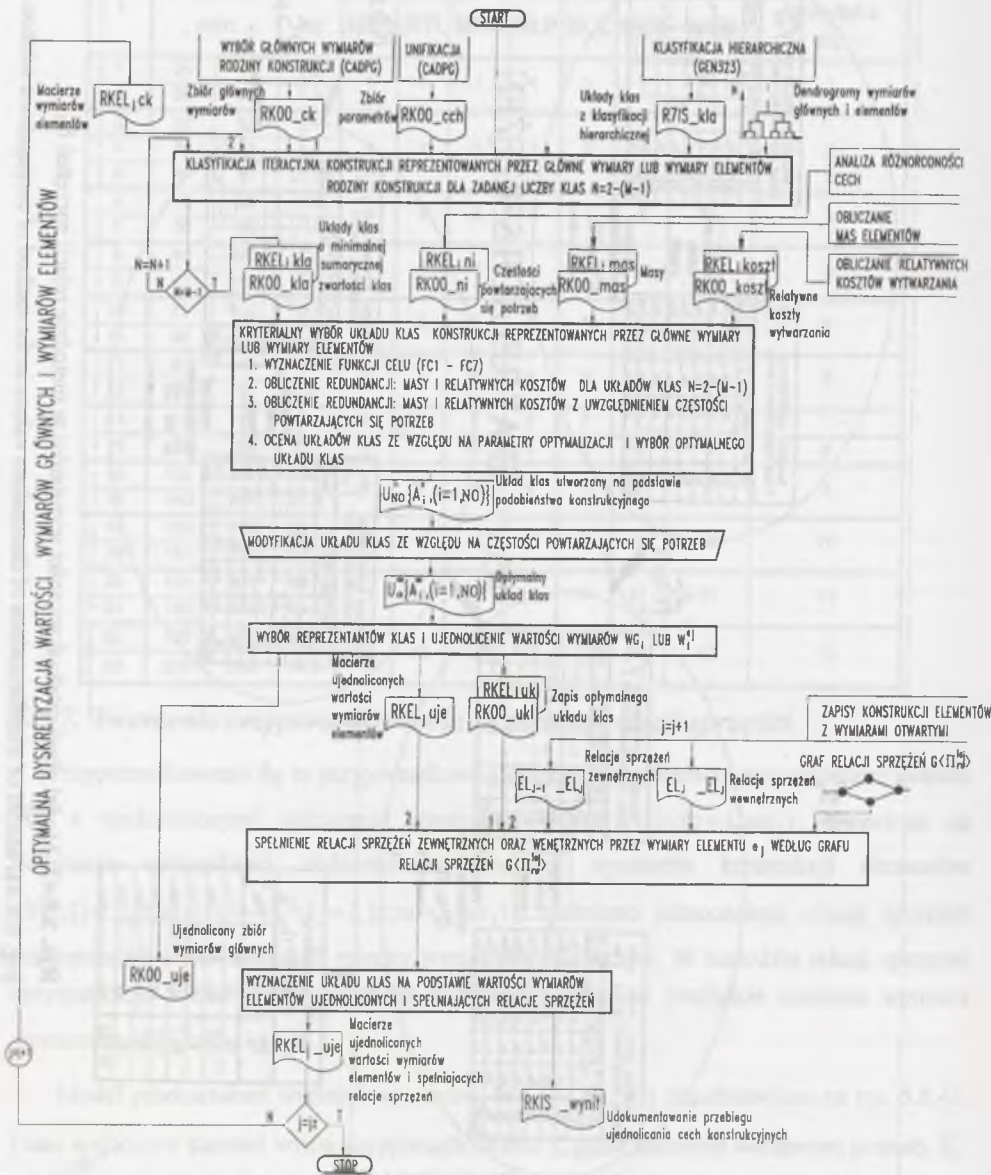
Model przekształceń wartości wymiarów  $WV_1^{cj}; (l=1, lv_j)$  przedstawiono na rys. 5.8.41.

Dane wejściowe stanowi wynik przyporządkowania  $\gamma$ , gdzie każdemu wektorowi potrzeb  $\bar{X}_i^u$  odpowiadają wektory konstrukcji elementów  $\bar{Y}_m^j (j=1, jz)$ , gdzie  $m=i$  (rozdz. 5.7). Proces ujednoczania wartości wymiarów rozpoczyna się od ujednoczania wymiarów głównych rodziny konstrukcji (rozdz. 5.8.2). Wymiary główne są parametrami zależnymi, których optymalizacja wartości wymiarów jest wskaźnikiem różnorodności ilościowych cech konstrukcyjnych w całej rodzinie konstrukcji.



Rys. 5.8.41. Model przekształceń wartości wymiarów w metodzie relacji sprzężeń  $\delta_B$   
 Fig. 5.8.41. Model of transformations of dimensions values in the method of conjugations relation  $\delta_B$

Wynik ujednoczenia, a szczególnie układ klas konstrukcji reprezentowanych przez wymiary główne, ma jedynie znaczenie orientujące twórcę uporządkowanej rodziny konstrukcji, przy wyborze układów klas konstrukcji elementów.



Rys. 5.8.42. Optymalizacja różnorodności wartości wymiarów metodą relacji sprzężeń (program GEN261)

Fig. 5.8.42. Optimizing of variability of dimensions values using the method of conjugations relation (program GEN261)

Zgodnie z ustaloną kolejnością, według digrafu kolejności konstruowania  $GK(\Pi_{rw}^{te_j})$  (rozd. 5.7) oraz grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ , przeprowadza się ujednoczanie wartości wymiarów elementów według schematu przedstawionego na rys. 5.8.42.

Istotnym składnikiem metody jest spełnianie relacji sprzężeń, co przedstawiono w rozdz.5.8.1. Sprzężenia zewnętrzne są weryfikowane zarówno przed ujednoczaniem wartości elementu, jak również po ujednoczeniu wartości wymiarów. Wynikiem metody jest elastyczne przyporządkowanie wektorom potrzeb wektorów konstrukcji

$$X_i^u \xrightarrow{\delta_B} Y_m^{te_j}; (j=1, jz), \text{ gdzie } iz \geq m. \quad (5.140)$$

Przyporządkowanie  $\delta_B$  jest najczęściej przyporządkowaniem powtarzalnym, które w postaci macierzy typowości lub modułów konstrukcyjnych można zapisać w postaci

$$\begin{matrix} \bar{X}_1^u \\ \bar{X}_2^u \\ \bar{X}_3^u \\ \vdots \\ \bar{X}_i^u \\ \vdots \\ \bar{X}_{iz}^u \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ 2 & 2 & \dots & 2 & \dots & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{i1} & m_{i2} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{i,jz} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{iz,1} & m_{iz,2} & \dots & m_{iz,j} & \dots & m_{iz,jz} \end{bmatrix} \quad (5.141)$$

Model tworzenia przyporządkowania  $\delta_B$  przedstawiono na rys. 5.8.42. Zastosowano programy GEN323 i GEN261, należące do pakietu programów CADPG. Klasyfikacja hierarchiczna za pomocą programu GEN323 realizowana jest w sposób wsadowy dla wszystkich konstrukcji elementów. Uruchomienie programu możliwe jest w każdym momencie po przekształceniu cech konstrukcyjnych elementu.

Danymi wejściowymi są:

- wektory zuniifikowanych potrzeb  $\bar{X}_i^u$ ,
- wektory wymiarów głównych  $\bar{Y}_m^{rk}$ , gdzie  $m=i$ ,
- wektory konstrukcyjne elementów  $Y_m^{te_j}$ , gdzie  $m=i$
- graf relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ .

Wyróżniono następujące stadia metody:

- 1) klasyfikacja hierarchiczna konstrukcji reprezentowanych przez główne wymiary wraz z zapisem dendrogramu i układów klas (układy klas są wstępnymi układami klas dla klasyfikacji prostej - program GEN323 oraz DENDRO.LSP),
- 2) klasyfikacja iteracyjna konstrukcji reprezentowanych przez główne wymiary  $WG_i$ , (program GEN261),
- 3) kryterialny wybór układu klas konstrukcji  $U_{NO} \{A_i^* (i=1, NO)\}$ , na podstawie: funkcji celu (FC1 - FC7), redundancji masy, redundancji względnych kosztów wytwarzania,

4) modyfikacja układu klas  $U_{NO}^m \{A_i^m (i=1, NO)\}$  ze względu na częstości powtarzających się potrzeb rodz. 5.8.3.2.4, (stadium to nie jest realizowane dla uporządkowania wyprzedzającego rodziny konstrukcji),

5) wybór reprezentantów klas i ujednoczenie wartości wymiarów głównych  $WG_i^{kl}$ .

Po czym następuje klasyfikacja konstrukcji elementów reprezentowanych przez zmienne wymiary  $y_i^j$ ,

6) klasyfikacja iteracyjna konstrukcji elementu  $e_j$  reprezentowanego przez wymiary zmienne  $y_i^j$  dla zadanej liczby klas  $N=2$  do  $(M-1)$ ,

7) kryterialny wybór układu klas konstrukcji  $U_{NO}^j \{A_i^j (i=1, NO)\}$ , na podstawie: funkcji celu (FC1 – FC7), redundancji masy oraz redundancji względnych kosztów wytwarzania,

8) modyfikacja układu klas ze względu na częstości powtarzających się potrzeb  $U_{NO}^m \{A_i^m (i=1, NO)\}$ , (stadium to nie jest realizowane dla uporządkowania wyprzedzającego rodziny konstrukcji),

9) spełnienie relacji sprzężeń zewnętrznych i wewnętrznych elementu  $e_j$  po przeprowadzonym ujednoczeniu wartości wymiarów,

10) zapis układu klas na podstawie wartości ujednoczonych wymiarów i spełniających relacje sprzężenia,

11) ujednoczenie kolejnej konstrukcji elementu  $e_{j+1}$ , aż do momentu rozważenia wszystkich elementów składowych rodziny konstrukcji.

Wynikiem metody relacji sprzężeń jest przyporządkowanie  $\delta_B$ , które przykładowo dla rodziny konstrukcji chwytaków kleszczowych przedstawiono w tabl. 5.8.12. Wynikiem ujednoczenia jest typoszereg powtarzalny z 75 typowielkościami elementów, na podstawie których tworzonych jest 15 typowielkości chwytaka kleszczowego. Tak utworzony zbiór konstrukcji określa uporządkowaną rodzinę konstrukcji  $RK_{kl}^u$ . Liczność typowielkości elementów wytwarzanych przed uporządkowaniem wynosi 161. Redukcja liczności typowielkości obliczana jest zależnością,

$$R^{cl} = \frac{iz \cdot jz}{\sum_{j=1, jz} mz_j} \quad (5.142)$$

W rozważanej rodzinie konstrukcji redukcja liczności typowielkości  $R^{cl} = 2.15$ . Kolejnym wskaźnikiem oceny stopnia uporządkowania rodziny konstrukcji jest stopień pokrycia przestrzeni potrzeb, określający stosunek liczby wektorów potrzeb  $iz$  do liczby typowielkości środków technicznych  $mz$ ,

$$W^{st} = \frac{iz}{mz} \quad (5.143)$$

Tablica 5.8.12

Przyporządkowanie  $\delta_B$  chwytaków kleszczowych

i	D H		Masa kg	Typowielkości elementów						Typowielkośc chwytaka KL	
	mm			MKP	MKO	MTL	MLP	MCL	MDZ		MKN
1	25	40	0.2	1	1	1	1	1	1	1	1
2	28	40	0.2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	32	63	0.4	2	2	2	2	2	2	2	2
4	35	63	0.5	2	3	2	3	2	2	2	3
5	40	63	0.6	3	4	3	4	3	3	2	4
6	45	63	0.8	3	4	4	4	3	3	3	5
7	50	100	1.5	3	4	4	4	3	3	3	6
8	56	100	1.9	4	5	5	5	4	4	3	7
9	63	100	2.4	4	5	5	5	4	4	3	8
10	71	100	3.1	4	5	5	5	4	4	4	9
11	80	100	3.9	5	6	6	6	5	5	5	10
12	90	120	6	5	6	7	7	5	5	6	11
13	100	120	7.4	5	6	7	7	5	5	6	12
14	112	120	9.3	6	7	8	8	6	6	7	13
15	125	180	17.4	7	8	9	9	7	7	8	14
16	132	180	19.4	8	9	10	10	8	8	9	15
17	140	180	21.8	8	9	10	10	8	8	9	16
18	150	180	25	8	10	10	10	9	9	10	17
19	160	180	28.4	8	10	10	10	9	9	10	18
20	170	200	35.7	8	10	10	10	9	9	11	19
21	180	200	40	8	10	10	10	9	9	11	20
22	190	200	44.5	9	11	11	12	10	10	12	21
23	200	200	54.3	9	11	11	12	10	10	12	22

W rozważanej rodzinie konstrukcji wskaźnik pokrycia przestrzeni potrzeb  $W^{st} = 1.53$ . Im większa wartość miar oceny uporządkowania rodziny konstrukcji, jak: redukcja liczności typowielkości  $R^{cl}$  oraz stopień pokrycia przestrzeni potrzeb  $W^{st}$ , tym większa możliwość seryjności wytwarzania, a tym samym mniejsze koszty wytwarzania na podstawie tak uporządkowanej rodziny konstrukcji  $RK_{kl}^u$ .

Podstawową zaletą metody jest elastyczne dopasowanie uporządkowanych konstrukcji do struktury zmienności wartości wymiarów elementów, przez co uzyskuje się mniejszą liczbę typowielkości  $ts_m^{te}$  lub modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{mte}$ . Przyporządkowanie  $\delta_B$ , w stosunku do przyporządkowania  $\delta_A$ , zapewnia większy stopień dyskretyzacji konstrukcji elementów, przez co tak ograniczoną liczbą typowielkości  $ts_m^{te}$  lub modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{mte}$ , można objąć ten sam zakres potrzeb i utworzyć większą liczbę złożów rodziny konstrukcji. Wadą metody jest większa złożoność oraz dłuższy czas realizacji procesu uporządkowania rodziny konstrukcji, ze względu na konieczność przygotowania większej liczby danych. Proces doboru cech konstrukcyjnych może być zintegrowany z optymalizacją różnorodności wartości wymiarów, co przedstawiono w metodzie iteracyjnej tworzenia przyporządkowania  $\delta_C$ .

### 5.8.8. Tworzenie przyporządkowania $\delta_C$ metodą iteracyjnego doboru

Metoda iteracyjnego doboru tym różni się od metody relacji sprzężeń, że równolegle z doбором wartości wymiarów przeprowadza się optymalizację różnorodności wartości wymiarów na podstawie grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ . Tworzenie przyporządkowanie  $\delta_C$  związane jest z zastosowaniem metody algorytmicznej doboru wartości wymiarów, rozdz. 5.7.3. Wartości wymiarów elementu  $Y_m^{e_j}$  dobrane są na podstawie operatorów [O], a następnie po ujednoczeniu  $Y_m^{e_j}; (j=1, jz; m=i) \rightarrow Y_m^{te_j}; (j=1, jz; m=1, mo_j)$  weryfikowane konstrukcyjnie. Jeżeli zaistnieje taka konieczność, następuje iteracyjna modyfikacja wartości wymiarów, dla wartości parametrów odpowiadających reprezentantom klas, których wybór opisany został w rozdz. 5.8.3.2.3. Model przekształceń wartości wymiarów  $Y_m^{e_j}$  przedstawiono na rys. 5.8.43. Metoda bazuje na obliczeniowych modułach programowych, które charakteryzują się tym, że:

- 1) mają strukturę hierarchiczną utworzoną na podstawie struktury systemowej i wariantowej rodziny konstrukcji, rys. 5.7.25,
- 2) są obiektowo zorientowane na typowe rozwiązania konstrukcyjne oraz konstrukcje elementów,
- 3) są uniwersalne, gdyż nie tylko są podstawą do doboru wartości wymiarów, lecz także do weryfikacji cech konstrukcyjnych.

Moduły programowe są tak utworzone, że po ujednoczeniu wartości wymiarów na podstawie parametru programu następuje ponowna weryfikacja wartości cech konstrukcyjnych. Weryfikacja w programie realizowana jest przez przeskok tych operacji, gdzie dobierane są cechy konstrukcyjne, natomiast realizowane są te operacje, w których ma miejsce określenie naprężeń kryterialnych, dostosowanie wartości wymiarów do elementów katalogowych i znormalizowanych, spełnianie relacji sprzężeń, iteracyjna modyfikacja wartości wymiarów oraz inne warunki przedstawione w rozdz. 5.7.3. Program doboru wartości wymiarów zbudowany na zasadach modułów programowych i wymienionych powyżej własnościach nazwano *programem nawrotnym*  $PO_n$ . Program  $PO_n$  w metodzie iteracyjnego doboru wyposażony jest dodatkowo w moduł optymalizacji różnorodności wartości wymiarów  $PO_0$ , rys. 5.7.25. Model tworzenia przyporządkowanie  $\delta_C$  przedstawiono na rys. 5.8.44, w którym zastosowano programy: GEN323 i GEN261.

Danymi wejściowymi są:

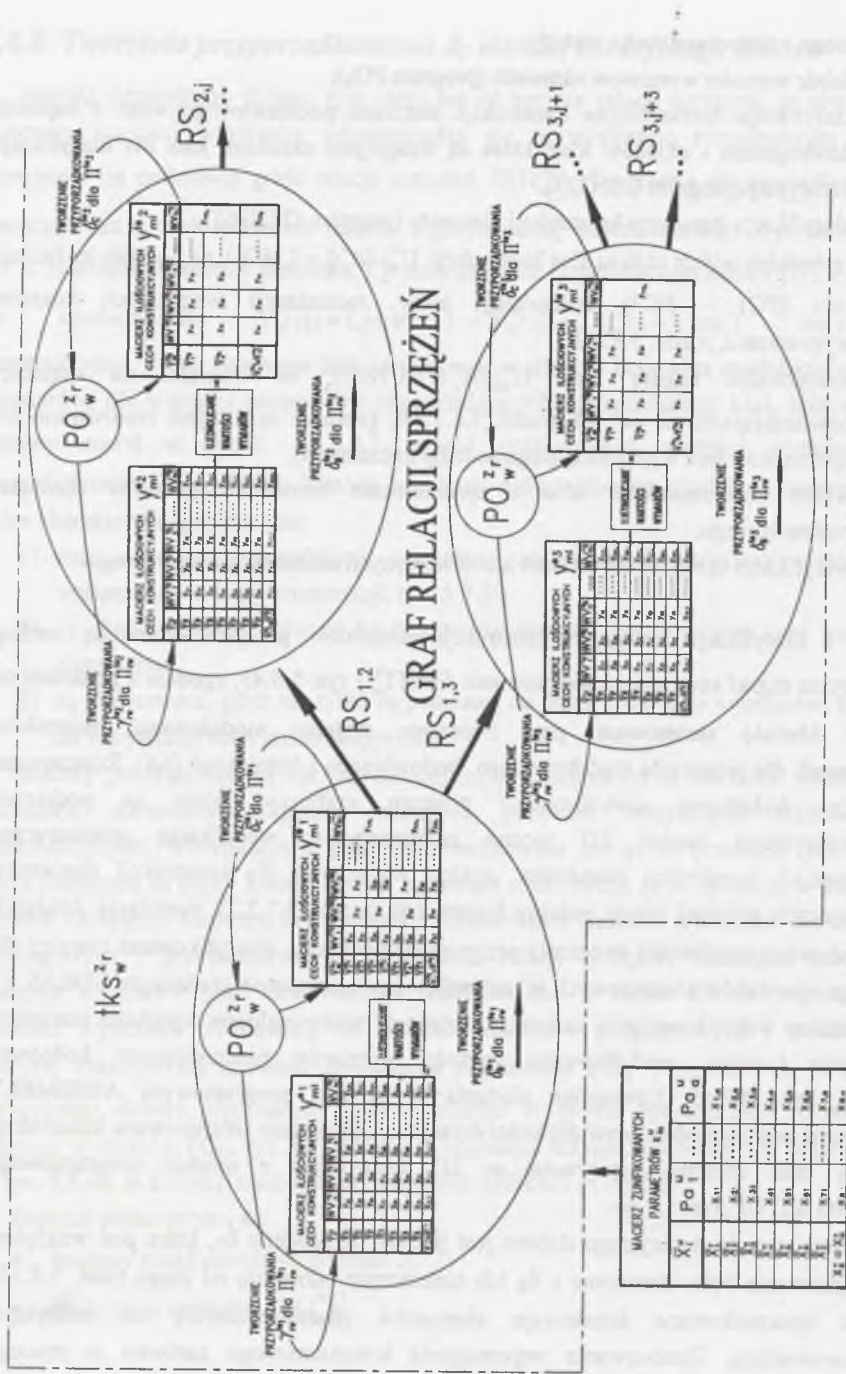
- wektory zunifikowanych potrzeb  $\bar{X}_i$ ,
- graf relacji sprzężeń  $G(\Pi_{rw}^{te_j})$ .

Wyróżniono następujące stadia metody:

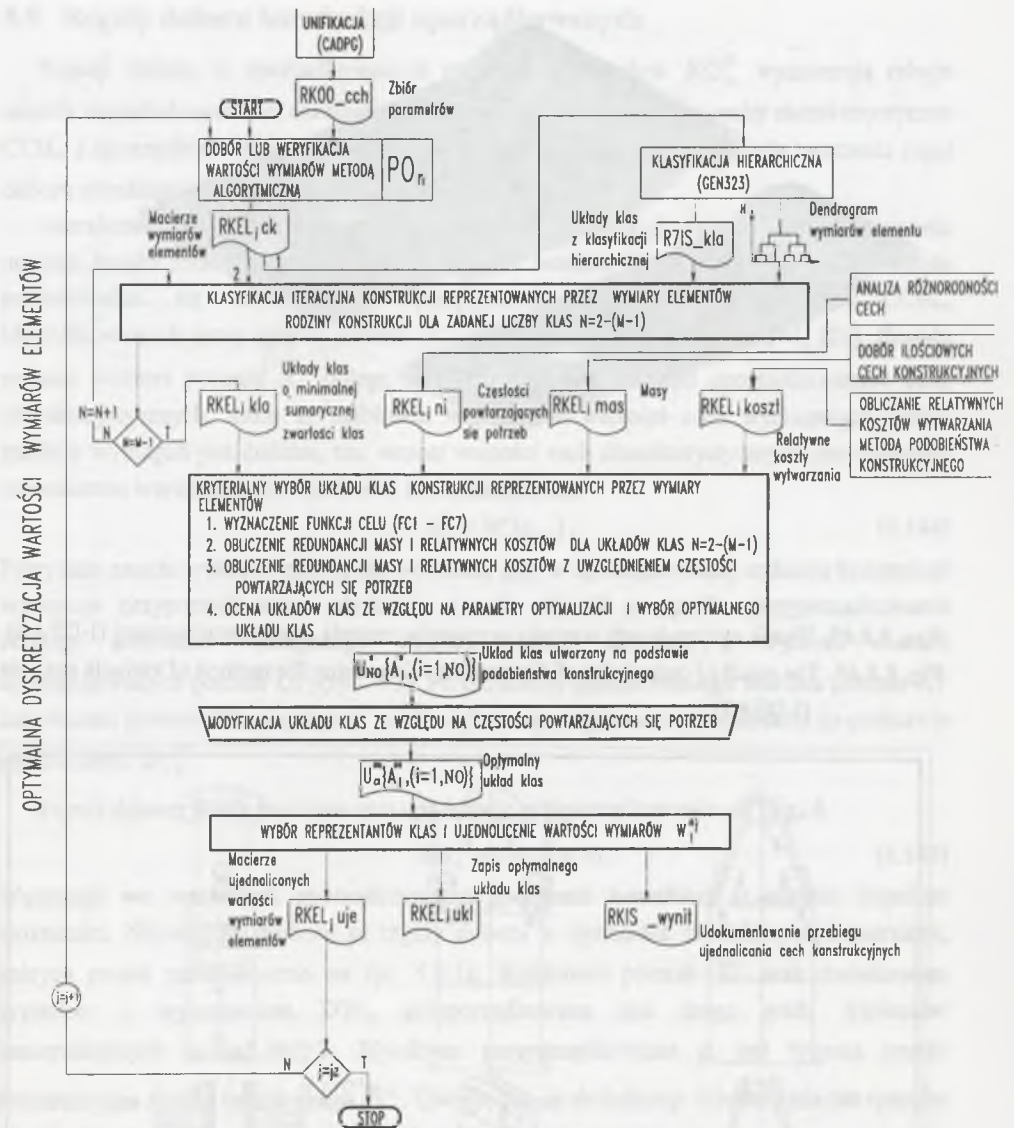
- 1) dobór wartości wymiarów elementu (program  $PO_n$ ),
- 2) klasyfikacja hierarchiczna konstrukcji elementu podstawowego wraz z zapisem dendrogramu i układów klas, które są wstępnymi układami klas dla klasyfikacji iteracyjnej (program GEN323),
- 3) klasyfikacja iteracyjna konstrukcji elementu (program GEN261),
- 4) kryterialny wybór układu klas konstrukcji  $U_{no}^* \{A_i^* (i=1, NO)\}$  na podstawie: funkcji celu (FC1 – FC7), redundancji masy, redundancji względnych kosztów wytwarzania, rozdz. 5.8.3.2.2,
- 5) modyfikacja układu klas  $U_{no}^{**} \{A_i^{**} (i=1, NO)\}$  ze względu na częstości powtarzających się potrzeb rozdz. 5.8.3.2.4, (stadium to nie jest realizowane dla uporządkowania wyprzedzającego rodziny konstrukcji),
- 6) wybór reprezentantów klas i ujednoczenie wartości wymiarów elementu podstawowego,
- 7) weryfikacja ujednoczonych cech konstrukcyjnych elementu podstawowego.

Dobór i klasyfikacja kolejnych konstrukcji elementów przeprowadzane są według ustalonej przez digraf kolejności konstruowania  $GK(\Pi_{rw}^{te_j})$  rys. 5.8.43, zgodnie z punktami od 1 do 7. Metodę zastosowano przy tworzeniu systemu modułowego siłowników hydraulicznych dla przemysłu wydobywczego, budowlanego i hutniczego [64]. Rozszerzono ją stosując dodatkowo zaawansowany program graficzny, gdzie na podstawie sparametryzowanych modeli 3D można przeprowadzić: weryfikację geometryczną modyfikowanych konstrukcji elementów, analizę wariantową dla konstrukcji elementów odpowiadających głównej relacji rodziny konstrukcji (rozdz. 5.7.3.2), symulację działania. Tak rozbudowane możliwości tworzenia przyporządkowania  $\delta_C$  zweryfikowano również dla typoszeregu chwytaków kleszczowych w zaawansowanym programie graficznym I-DEAS. Za pomocą analizy wariantowej przy zadanych kryteriach: maksymalnego wyężenia materiału, odkształcenia i masy, modyfikowano wartości wymiarów ujednoczonych końcówek chwytanych, rys. 5.8.45. Utworzone złożenia w module programowym ASSEMBLY weryfikowano pod względem prawidłowości działania. Optymalnie zróżnicowane konstrukcje elementów oraz złożenia zapisywano w 2D, korzystając z modułu programowego DRAFTING SETUP, rys. 5.8.46.

Wynikiem metody iteracyjnego doboru jest przyporządkowanie  $\delta_C$ , które pod względem przyporządkowania było identyczne z  $\delta_B$  lub nieznacznie odbiegało od niego (tabl. 5.8.12). Natomiast uporządkowane konstrukcje elementów charakteryzowały się mniejszym przewymiarowaniem. Zastosowanie wspomaganie komputerowego zarówno w procesie doboru wartości wymiarów, jak i optymalizacji różnorodności wartości wymiarów pozwala uzyskać największą efektywność w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Dodatkowo integruje stadia tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji z: tworzeniem złoża, symulacją działania, weryfikacją MES oraz zapisem konstrukcji.

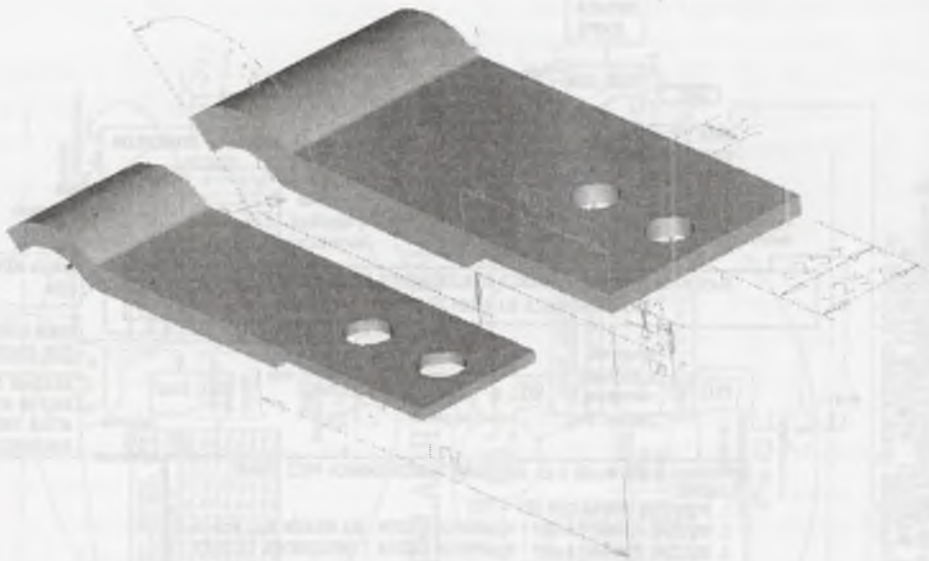


Rys. 5.8.43. Model przekształceń wartości wymiarów w metodzie iteracyjnego doboru  $\delta c$   
 Fig. 5.8.43. Model of transformations of dimensions values in the method of iterative choosing  $\delta c$

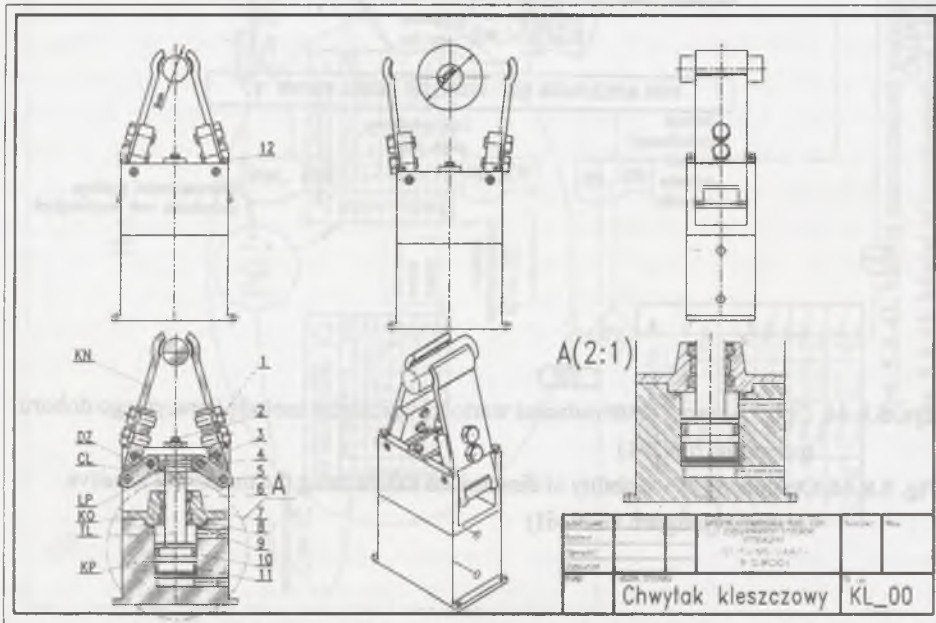


Rys. 5.8.44. Optimalizacja różnorodności wartości wymiarów metodą iteracyjnego doboru (program GEN261)

Fig. 5.8.44. Optimizing of variability of dimensions values using the method of iterative choosing (program GEN261)



Rys. 5.8.45. Wynik optymalizacji wartości wymiarów metodą analizy wariantowej (I-DEAS)  
 Fig. 5.8.45. The result of optimizing of dimensions values using the method of variants analysis (I-DEAS)



Rys. 5.8.46. Transformacja zapisu konstrukcji 3D w 2D na podstawie programu graficznego I-DEAS

Fig. 5.8.46. Transformation of notation of a 3D construction in the graphic program I-DEAS

### 5.9. Reguły doboru konstrukcji uporządkowanych

Reguły doboru w uporządkowanych rodzinach konstrukcji  $RG_n^K$  wyznaczają relacje między zapotrzebowaniem, określonym przez ilościowe i jakościowe cechy charakterystyczne  $CCH_w$ , a uporządkowanymi konstrukcjami rodziny konstrukcji  $RK_n^u$ . Modele tworzenia reguł doboru przedstawiono również w pracach [21, 129].

Niezależnie od przeznaczenia uporządkowanej konstrukcji, czy to dla: wytworzenia nowego środka technicznego lub zastosowania w bardziej złożonej konstrukcji, jej wybór przeprowadza się na podstawie wymaganych cech charakterystycznych  $CCH_w$ , identyfikowanych przez wektor potrzeb  $\bar{X}_w$  oraz dodatkowe wymagania  $DW_n$  [21]. **Zasada wyboru** wektora potrzeb  $\bar{X}_w^u$  polega na wyborze takich wartości uporządkowanych cech charakterystycznych, które są najbliższe większe od wartości cech wymaganych (jeżeli gradient wymagań jest dodatni, tzn. wzrost wartości cech charakterystycznych jest związany ze wzrostem wartości ilościowych cech konstrukcyjnych)

$$x_w^u = N^z(x_{wz}) \quad (5.144)$$

Powyższa zasada wyboru pojawia się wówczas, gdy w uporządkowanej rodzinie konstrukcji występuje przyporządkowanie dyskretne (rozd. 4). W przypadku przyporządkowania ciągłego położenie wymaganego wektora potrzeb decyduje o wyborze obszaru uporządkowanych potrzeb  $OP_i$  (rys. 4.1). Po określeniu zuniifikowanego wektora potrzeb  $\bar{X}_i^u$  lub obszaru potrzeb  $OP_i$  przystępuje się do wyboru uporządkowanej konstrukcji na podstawie reguł doboru  $RG_n^K$ .

Reguły doboru  $RG_n^K$  tworzone są na podstawie przyporządkowania:  $\alpha, \beta, \chi, \delta$

$$RG_n^K = f(\alpha, \beta, \chi, \delta) \quad (5.145)$$

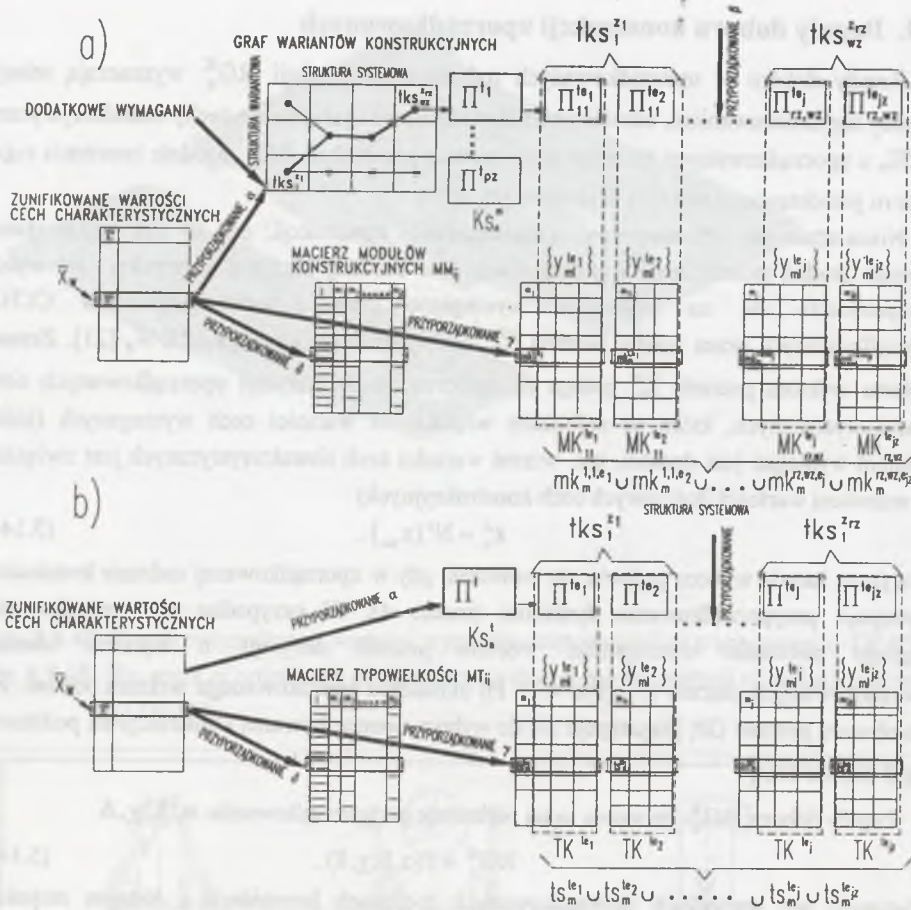
Występuje we wszystkich uporządkowanych rodzinach konstrukcji z różnym stopniem złożoności. Najbardziej złożone są reguły doboru w systemach modułowych konstrukcji, których model przedstawiono na rys. 5.9.1a. Wektorowi potrzeb  $\bar{X}_i^u$  oraz dodatkowym kryteriom i wymaganiom  $DW_n$ , przyporządkowana jest droga grafu wariantów konstrukcyjnych  $\mu(tks_1^{z1}, tks_{wz}^{z2})$ . Wynikiem przyporządkowania  $\alpha$  jest typowa postać konstrukcyjna środka technicznego  $\Pi^p$ . Uwzględniając dodatkowo układ wymiarów rysunku złożeniowego  $W^p$ , tworzy się konstrukcję modułową  $Ks_p^m$

$$\langle \bar{X}_i^u, DW_n \rangle \xrightarrow{\alpha} \Pi^p \langle \mu(tks_1^{z1}, tks_{wz}^{z2}) \rangle \cup W^p = Ks_p^m \quad (5.146)$$

Wybrany typowym rozwiązaniem konstrukcyjnym  $(tks_1^{z1}, tks_{wz}^{z2})$  na podstawie przyporządkowania  $\beta$ , odpowiadają typowe postacie konstrukcyjne elementów  $\Pi_{wz}^{wzj}$

$$(tks_1^{z1}, tks_{wz}^{z2}) \xrightarrow{\beta} \bigcup_{r=1, rz} (\Pi_{wz}^{wzj}; (j=1, jz)) \quad (5.147)$$

Zapis typowej postaci konstrukcyjne  $\Pi_{wz}^{wzj}$  wraz z układem wymiarów  $UW^{wzj}$  tworzy rysunek wykonawczy z otwartym układem wymiarów  $ZK^{wzj}$  (rozd. 5.6, rys. 5.6.2).



Rys. 5.9.1. Reguły doboru w uporządkowanej rodzinie konstrukcji  
 Fig. 5.9.1. Rules of choosing in ordered family of constructions

Na podstawie wektora potrzeb  $\bar{X}_i^u$  oraz przyporządkowania  $\delta$  zapisanego w postaci macierzy  $MM_{ij}$ , dokonuje się wyboru numerów porządkowych modułów konstrukcyjnych  $m_j; (j=1, jz)$

$$\bar{X}_i^u \xrightarrow{\delta} \{m_j; (j=1, jz)\}. \quad (5.148)$$

Na podstawie przyporządkowania  $\gamma$ , układ wymiarów elementów  $UW^{lj}$  zostaje uzupełniony o wartości wymiarów  $y_m^{lj}; (l=1, lz)$ , tworząc wspólnie z typową postacią konstrukcyjną  $\Pi_m^{lj}$ , zbiór dobranych modułów konstrukcyjny  $mk_m^{lj}; (j=1, jz)$ ,

$$\bar{X}_i^u \rightarrow \{m_j; (j=1, jz) = m\} \xrightarrow{\gamma} \{mk_m^{lj}; (j=1, jz)\}. \quad (5.149)$$

Moduły konstrukcyjne dobierane są z szeregów modułowych  $MK_m^{lj}$  opracowanych w procesie tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji,

$$\langle \bar{X}_i^u, DW_n \rangle \xrightarrow{RG_n} Ks_n^m \cup \{mk_m^{lj}; (j=1, jz)\}. \quad (5.150)$$

Zbiór wszystkich szeregów modułowych  $MK_m^{lj}; (j=1, jz)$  wraz z regułami doboru modułów konstrukcyjnych  $RG_n^K$  tworzy system modułowy konstrukcji  $SM_n$ .

Podobnie określane są reguły doboru  $RG_n^K$  w typoszeregach konstrukcji  $TS_n$ , rys. 5.9.1b. Różnicą jest to, że brak jest w tak uporządkowanej rodzinie konstrukcji  $RK_n^u$  struktury wariantowej ( $w=1$ ). Wynikiem przyporządkowania  $\alpha$  jest tylko jedna postać konstrukcyjna  $\Pi^i$ . Natomiast macierzy modułów konstrukcyjnych  $MM_{ij}$  odpowiada macierz typowiełkości  $MT_{ij}$ . Na podstawie reguł doboru  $RG_n^K$ , sporządzonych na podstawie przyporządkowania  $\alpha$ ,  $\beta, \chi, \delta$ , wektorowi potrzeb  $\bar{X}_i^u$  dedykowana jest konstrukcja typowa  $Ks_n^i$  oraz typowiełkości  $ts_m^{lj}; (j=1, jz)$  z typoszeregów  $TK_m^{lj}$ ,

$$\bar{X}_i^u \xrightarrow{RG_n} Ks_n^i \cup \{ts_m^{lj}; (j=1, jz)\}. \quad (5.151)$$

W pozostałych formach uporządkowanych rodzin konstrukcji reguły doboru  $RG_n^K$  sprowadzają się do zasady doboru wyżej opisanej. Wyznacza się  $\bar{X}_i^u$  na podstawie wymaganego wektora potrzeb  $\bar{X}_w$ . Przyporządkowania między zunifikowanymi wektorami potrzeb  $\bar{X}_i^u$  a cechami konstrukcyjnymi przedstawiono na rys. 4.2, 4.4, 4.6.

Różny jest również stopień złożoności reguł doboru  $RG_n^K$  w zależności od tego, czy korzysta się z uporządkowanych rodzin konstrukcji, czy też uporządkowana rodzina konstrukcji jest podstawą wytwarzania. W przypadku korzystania z systemu modułowego reguły doboru sprowadzają się do przyporządkowania  $\alpha$  (przyszłego użytkownika nie interesują szczegółowe cechy konstrukcyjne). Inaczej jest, gdy uporządkowana rodzina konstrukcji  $RK_n^u$  staje się podstawą wytwarzania w określonym zakładzie wytwórczym. Wówczas reguły doboru  $RG_n^K$  muszą być szczegółowo opisane, co jest podstawą opracowania szczegółowej dokumentacji konstrukcyjnej. Podstawowe formy zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji przedstawiono w kolejnym rozdziale.

### 5.10. Zapis konstrukcji w uporządkowanych rodzinach konstrukcji

Spektrum zmienności cech konstrukcyjnych w uporządkowanych rodzinach konstrukcji bazuje na wariantowości cech jakościowych i zdyskretyzowanej zmienności cech ilościowych (warunek kongruencji konstrukcji (5.50)). Pojawiły się różne formy zapisu konstrukcji wykorzystujące tę własność. W zależności od zmienności wartości cech charakterystycznych wyróżniono cztery podstawowe grupy postaci konstrukcyjnych występujące w uporządkowanych rodzinach konstrukcji o:

- stałej postaci konstrukcyjnej,
- ilościowo określonej zmienności postaci konstrukcyjnej,
- wariantowej postaci konstrukcyjnej, w której wyróżniono trzy podgrupy:
  - wariantowej ze względu na zmienność powtarzającej się liczby części elementu,

- wariantowej ze względu na zmianę położenia części względem siebie,
  - wariantowej ze względu na występowanie lub niewystępowanie części elementu,
  - typowych postaciach konstrukcyjnych.
- W pracach [82] szczegółowo opisano formy zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji, wyróżniając:

- 1) tradycyjne formy zapisu,
  - a) zapis konstrukcji w postaci rysunku technicznego,
  - b) katalogowy zapis konstrukcji,
  - c) zapis konstrukcji z zastosowaniem rysunków transparentowych,
  - d) zapis konstrukcji z zastosowaniem mikrofilmowania [112],
- 2) komputerowo wspomagane formy zapisu,
  - a) zapis konstrukcji z zastosowaniem przezroczystej folii i wydruku komputerowego [107],
  - b) tradycyjne formy zapisu konstrukcji z zastosowaniem programów graficznych,
  - c) parametryczne formy zapisu konstrukcji.

Najbardziej efektywną formą zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji jest zapis z zastosowaniem parametryzacji.

### 5.10.1. Parametryczne formy zapisu konstrukcji

Parametryczny zapis konstrukcji to komputerowo wspomagany zapis konstrukcji, w którym geometryczna postać konstrukcyjna  $\Pi^{te}$  odwzorowana jest w pamięci operacyjnej komputera, natomiast ilościowe cechy konstrukcyjne  $Y_i^{te_j}(y_{i,nz}^{te_j})$  wprowadzane są z zewnątrz. W zależności od sposobu wprowadzania ilościowych cech konstrukcyjnych wyróżnia się parametryzację [82]: dynamiczną, relacyjną, programową i graficzną.

**Parametryzacja dynamiczna** polega na manualnej zmianie wartości wybranych wymiarów, przez co zapis konstrukcji w sposób dynamiczny ulega modyfikacji.

**Parametryzacja relacyjna** polega na zastosowaniu relacji między parametrami a wartościami zmiennych wymiarów. Poprzez zmianę parametrów modyfikowany jest zapis konstrukcji.

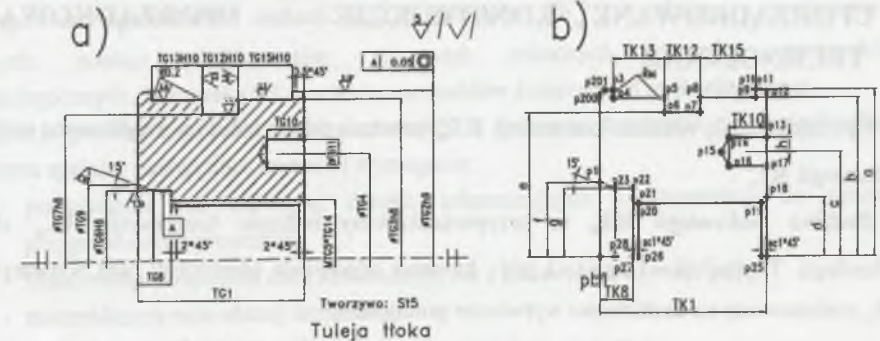
**Parametryzacja programowa** jest parametryzacją umożliwiającą zintegrowanie doboru cech konstrukcyjnych z zapisem konstrukcji. Podstawowym narzędziem parametryzacji jest język programowania, w którym korzysta się z komend programu graficznego, np. AutoLISP w programie graficznym AutoCAD. Odwzorowanie zapisu konstrukcyjnego elementu występuje w parametryku, zgodnie z konwersją

$$ZK_i^{te_j} = f(Y_i^{te_j}). \quad (5.152)$$

Podstawą opracowania parametryków jest zapis konstrukcji z otwartym układem wymiarów rys. 5.10.1a. W zapisie tym wyróżniane są punkty charakterystyczne zarysu  $P^{te_j}(p_n)$ , rys. 5.10.1b, których współrzędne są funkcją wymiarów

$$\langle x_n, y_n \rangle = f(y_i^{te_j}). \quad (5.153)$$

### TYPOWA POSTAĆ KONSTRUKCYJNA ELEMENTU – MTG



```
(setq p17 (polar p16 0 TK10))
(setq p18 (polar p17 (kat 270) (- (- c d) h)))
(setq p19 (list (- (car P18) sc1) (- (cadr P18) sc1)))
(setq p20 (polar p19 pi (- TK1 TK8 sc1 sc1)))
(setq p21 (list (- (car p20) sc1) (+ (cadr p20) sc1)))
(setq p22 (polar p21 (kat 90) (- g d)))
(setq p23 (polar p22 pi (- TK8 (/ (- f g) (tang 15))))))
(setq p24 (list (car p18) (cadr pb1)))
(setq p25 (list (car p19) (cadr pb1)))
(setq p26 (list (car p20) (cadr pb1)))
(setq p27 (list (car p21) (cadr pb1))) p28 (list (car p23) (cadr pb1)))
(command "_pline" p1 p200 p201 p3 p4 p5 p6 p7 p8 p9 p10 p11 p12 p13 p14 p15
p16 p17 p18 p19 p20 p21 p22 p23 "_cl")
(command "_line" p13 p17 "")
(command "_line" p14 p16 "?")
(command "_line" p1 pb1 "?")
(command "_line" p23 p28 "?")
(command "_line" p21 p27 "?")
(command "_line" p20 p26 "?")
(command "_line" p19 p25 "?")
(command "_line" p18 p24 "?")
```

Rys. 5.10.1. Zapis parametryku

Fig. 5.10.1. Notation of a parametric program

W parametryku (rys. 5.10.1c) zapisane są instrukcje programu tak jak w każdym innym programie obliczeniowym, ale z możliwościami zastosowania również komend programu graficznego. Zasady tworzenia parametryków opisano w pracy [82].

**Parametryzacja graficzna** nie wymaga umiejętności programowania, lecz głównie korzysta się z możliwości programu graficznego. W tej formie parametryzacji, dla odpowiednio przygotowanego modelu 3D, korzysta się z macierzy zmiennych wartości wymiarów  $y_i^{te_j}$ . Kolumnom przypisane są oznaczenia zmiennych wymiarów, natomiast wierszom - numer uporządkowanej konstrukcji. Zapis konstrukcji sporządzony jest poprzez wybór z katalogu numeru konstrukcji  $m_j$ .

W zaawansowanym programie graficznym I-DEAS opracowano aplikację tworzenia zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji na podstawie parametryzacji relacyjno-graficznej z zastosowaniem warunków podobieństwa konstrukcyjnego, rozdz. 5.7.2.



## 6. UPORZĄDKOWANE KONSTRUKCJE A UPORZĄDKOWANE TECHNOLOGIE

Uporządkowanej rodzinie konstrukcji  $RK_n^u$  powinna odpowiadać uporządkowana rodzina technologii  $RT_n^u$ .

**Rodzina technologii  $RT_n$**  to przyporządkowany rodzinie konstrukcji  $RK_n$  zbiór technologii  $Te_n \{te_k^{ej}; (k=1, kz)(j=1, jz)\}$ , któremu odpowiada identyczny plan wytwarzania  $PW_n$  zorientowany na możliwości wytwórcze producenta,

$$RT_n \equiv Te_n \{te_k^{ej}; (k=1, kz)(j=1, jz)\} \Leftarrow Ks_n \{ks_k^{ej}; (k=1, kz)\}. \quad (6.1)$$

Analogicznie do rodzin konstrukcji, w rodzinach technologii również określa się strukturę planu wytwarzania i strukturę wariantową (rozdz. 3.1.1. i 3.1.2) [89, 148]. Natomiast konstrukcji elementu  $ks_k^{ej}$  odpowiada technologia wytwarzania elementu  $te_k^{ej}$ .

Wyróżniono następujące metody tworzenia uporządkowanych rodzin technologii:

- 1) metoda tworzenia uporządkowanych technologii  $Te_n$ , ze względu na ogólnie sklasyfikowane postacie konstrukcyjne elementów (wałki, tarcze, tuleje, korpusy) [46, 168],
- 2) metoda tworzenia uporządkowanych technologii  $te_k^{ej}$  dla elementów technologicznie podobnych, zwana metodą obróbki grupowej [42, 44],
- 3) metoda tworzenia uporządkowanych technologii  $te_k^{ej}$ , ze względu na obiekty elementarne (całostki) będące częściami elementów (np. otwory, gwinty zewnętrzne, gwinty wewnętrzne, rowki zewnętrzne, rowki wewnętrzne) [9, 150, 151, 153, 169],
- 4) metoda tworzenia uporządkowanych technologii  $te_n^{ej}$ , ze względu na uporządkowane konstrukcje elementów  $ks_m^{ej}$ .

Metoda czwarta jest głównym przedmiotem rozważań niniejszej pracy. Uporządkowanym konstrukcjom są przyporządkowane uporządkowane technologie na poziomie konstrukcji elementu

$$ks_m^{ej} \rightarrow te_n^{ej}. \quad (6.2)$$

Proces uporządkowania technologii realizowany jest dla typoszeregu  $ts_m^{ej}; (m=1, mz_j)$  lub szeregu modułowego  $mk_m^{ej}; (m=1, mz_j)$  poprzez zastosowanie tam, gdzie to było możliwe, identycznych operacji, zabiegów, parametrów obróbczych, stanowisk roboczych, uchwytów, narzędzi, oprzyrządowań itd. Podstawą metodologiczną do tworzenia uporządkowanej technologii wytwarzania elementu (analogicznie do zależności 5.1) jest stała lub nieznacznie zróżnicowana struktura technologii  $\Gamma^{te_j}$  oraz zmienność parametrów technologicznych  $T_n^{te_j}$

$$te_n^{ej} = (\Gamma^{te_j})_{const} \cup (T_n^{te_j})_{var}. \quad (6.3)$$

Nieznacznie zróżnicowane struktury procesów technologicznych  $\Gamma^{te_j}$  to struktury, w których występowała wariantowość operacji  $Op_k^{ej}$  i zabiegów  $Zb_m^{ej}$ , wynikająca z zastosowania różnych: postaci półfabrykatów, stanowisk roboczych, narzędzi, parametrów technologicznych. Warunek (6.3) nazwano **warunkiem kongruencji technologicznej**.

Integracja procesu tworzenia rodzin konstrukcji z procesem tworzenia rodzin technologii powinna spełniać następujące kryteria i wymagania:

- W1 - przeniesienie jak najwięcej danych informacyjnych z konstrukcji do procesu przygotowania wytwarzania,
- W2 - maksymalne połączenie cech konstrukcyjnych z technologią wytwarzania,
- W3 - minimalizacja redundancji informacji,
- W4 - rozwijanie relacyjnych baz danych,
- W5 - minimalizacja różnorodności konstrukcji oraz procesów technologicznych szczególnie wynikających z subiektywnych odczuć konstruktorów i technologów,
- W6 - rozwijanie programów komputerowych i ich aplikacje w celu zintegrowania środowiska pracy konstruktorów i technologów,
- W7 - typowym rozwiązaniom konstrukcyjnym oraz procesom technologicznym powinny odpowiadać moduły: programów obliczeniowych i graficznego zapisu.

Tak jak uporządkowane rodziny konstrukcji zawierają w sobie zbiory uporządkowanych konstrukcji elementów  $ks_m^{ej}$  oraz reguły ich doboru  $RG_m^k$  w zależności od wartości cech charakterystycznych  $CCH_n^u$ , tak uporządkowane rodziny technologii zawierają uporządkowane technologie wytwarzania elementów  $te_n^{ej}$  oraz reguły ich doboru  $RG_n^k$  w zależności od uporządkowanych konstrukcji  $ks_m^{ej}$

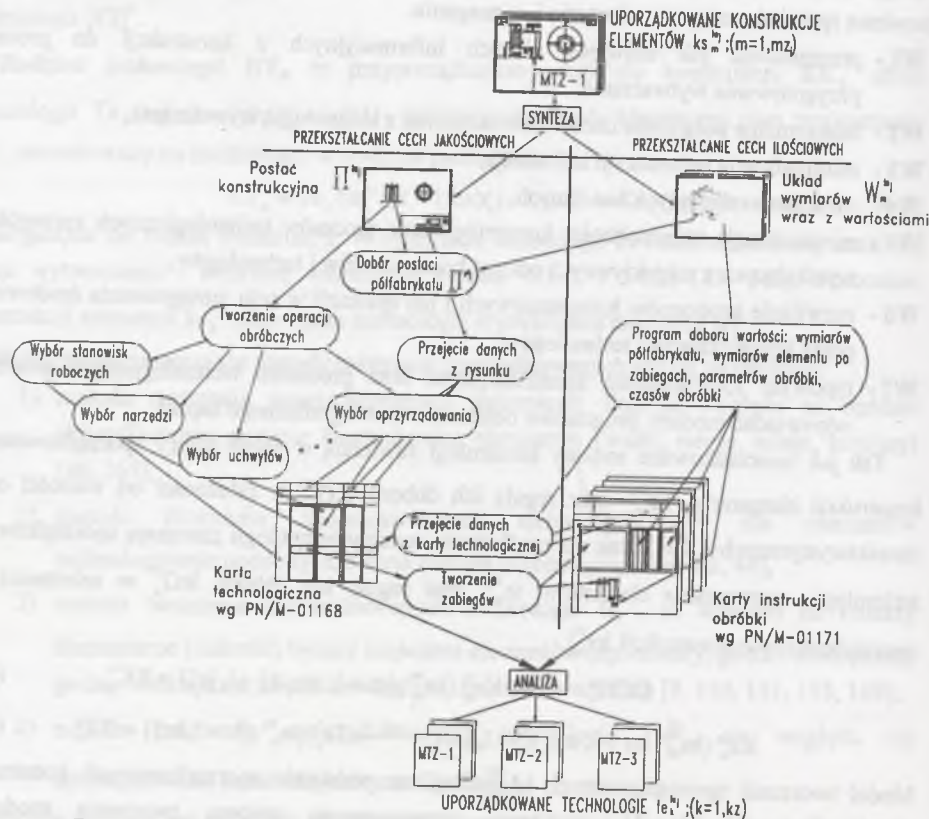
$$CCH_n^u \xrightarrow{RG_m^k} Ks_m^{ej} \{ks_m^{ej}; (m=1, mz_j)(j=1, jz)\} \equiv RK_n^u \quad (6.4)$$

$$Ks_m^{ej} \{ks_m^{ej}; (m=1, mz_j)(j=1, jz)\} \xrightarrow{RG_n^k} Te_n^{ej} \{te_n^{ej}; (k=1, kz)\} \equiv RT_n^u \quad (6.5)$$

Model tworzenia uporządkowanych technologii na podstawie uporządkowanych konstrukcji przedstawia rys. 6.1. Na podstawie opracowanego procesu tworzenia modułów technologicznych (który zweryfikowano na przykładzie tworzenia dokumentacji technologicznej siłowników hydraulicznych dla górnictwa) wyróżniono następujące stadia procesu przygotowania wytwarzania:

- 1) przejście istotnych ze względu na proces technologiczny cech konstrukcyjnych (cechy tworzywowe, cechy geometryczne dotyczące makrostruktury, oznaczenie i nazwa elementu),
- 2) przyporządkowanie typowej postaci elementu  $\Pi^{ej}$  postaci konstrukcyjnej półfabrykatu  $\Pi^{ej}$ ,
- 3) przyporządkowanie konstrukcjom uporządkowanym o stałej postaci konstrukcyjnej elementów ( $\Pi^{ej} \approx const$ ) identycznych lub nieznacznie zróżnicowanych struktur procesów technologicznych ( $\Gamma^{te_j} \approx const$ ),

- 4) uszczegółowienie operacji technologii przez wyróżnienie: zabiegów, przejść, czynności,
- 5) przyporządkowanie operacjom: stanowisk roboczych, narzędzi, uchwytów, oprzyrządowań,
- 6) algorytmiczny dobór parametrów obróbczych, wartości wymiarów po przeprowadzonej operacji, czasów obróbki,
- 7) zapis technologii.



Rys. 6.1. Ogólny model przetwarzania uporządkowanych konstrukcji elementów w uporządkowane technologie

Fig. 6.1. General model of converting the ordered constructions of elements into ordered technologies

Dla uporządkowanych konstrukcji elementów w postaci typoszeregów  $ts_m^m; (m=1, mz)$  lub szeregów modułowych  $mk_m^{mci}; (m=1, mz)$  jakościowym cechem konstrukcyjnym jednoznacznie odpowiadają jakościowe cechy zawarte na kartach technologicznych oraz kartach instrukcji obróbki, natomiast różnym ilościowym cechem konstrukcyjnym odpowiadają algorytmicznie wyznaczalne zmienne zbiory parametrów technologicznych, (zależność 6.3). Na przykładzie systemów modułowych konstrukcji siłowników hydraulicznych założenie to w większości potwierdziło się, jednakże napotkano

uporządkowane konstrukcje elementów, gdzie zależność (6.3) spełniana była w ograniczonym zakresie. Przykładem jest zastosowanie do modułów konstrukcyjnych o stałej postaci konstrukcyjnej różnych półfabrykatów w postaci walcówki, rury grubościenniej lub odkuwki. Wpływało to na wariantowość operacji technologicznych. W tych przypadkach tworzono warunkowe zależności wyboru wariantu operacji technologicznej (wyznaczając strukturę wariantową technologii). Niezbędne było wprowadzanie dodatkowych zabiegów przy tworzeniu uporządkowanych technologii, zależnie od wartości wymiaru. Natomiast nie wystąpiła sytuacja, w której podzbiorni uporządkowanych konstrukcji odpowiadała jedna uporządkowana technologia. Dlatego przy tak szczegółowo zapisywanych uporządkowanych technologiach każdej uporządkowanej konstrukcji odpowiadała jedna technologia

$$ks_m^{te_j} \rightarrow te_n^{te_j}, \text{ gdzie } n=m. \quad (6.6)$$

Podstawowym narzędziem tworzenia uporządkowanych technologii  $te_n^{te_j}$  dla uporządkowanych konstrukcji  $ks_m^{te_j}$ , zastosowanym w pracy, jest integracja CAD/CAM [3, 19, 33, 41, 130, 150, 151]. Wyróżniono trzy metody integracji tworzenia uporządkowanych technologii na podstawie uporządkowanych konstrukcji [73, 76, 79, 85, 90, 150, 151] polegające na zastosowaniu:

- 1) programów graficznych CAD dla tradycyjnych procesów technologicznych, (np. AutoCAD do sporządzania kart technologicznych oraz kart instrukcji obróbki),
- 2) programów CAD oraz CAM, (np. AutoCAD oraz MasterCAM),
- 3) zaawansowanych programów graficznych, (np. I-DEAS).

Wynikiem prowadzonych prac są wdrożenia w zakresie opracowanego systemu modułowego siłowników hydraulicznych, stojaków dla przemysłu górniczego oraz stanowisk badawczych wirników szybkoobrotowych [85, 79]. Wzorcowe procesy technologiczne zostały narzucone przez wytwórców biorących udział w projekcie [79].

## 6.1. Integracja z zastosowaniem programów graficznych CAD

Integracja procesu konstrukcyjnego z przygotowaniem wytwarzania, dla uporządkowanych konstrukcji  $ks_m^{te_j}$ , z zastosowaniem programów graficznych CAD (np.: AutoCAD, LogoCAD), dotyczyła wspomaganie komputerowego tradycyjnej technologii wytwarzania (bez użycia obrabiarek sterowanych numerycznie). Wyróżniono następujące stadia procesu:

- 1) według zasady doboru dla wymaganych cech charakterystycznych  $CCH_w$  określenie wektora potrzeb  $X_w^u$  (5.9.1),
- 2) na podstawie przyporządkowania  $\alpha$  wybór typowych rozwiązań konstrukcyjnych ( $tk_s^{\alpha 1}, tk_s^{\alpha 2}$ ), przez wyznaczanie konstrukcji modułowej  $ks_m^M$  lub typowej  $ks_p^T$ , (5.9.3)
- 3) sporządzenie rysunku złożeniowego  $zks_u^u$  z zastosowaniem parametryzacji,
- 4) na podstawie przyporządkowania  $\beta, \chi, \delta$  (zależności 5.9.4, 5.9.5, 5.9.6) dobór: typowości  $ts_m^{te_j}; (j=1, jz)$  lub modułów konstrukcyjnych  $mk_m^{mci}; (j=1, jz)$ ,
- 5) opracowanie z zastosowaniem parametryzacji rysunków wykonawczych  $zks_m^{te_j}$ ,

- 6) sporządzenie wykazu elementów z zastosowaniem parametryzacji,
- 7) na podstawie reguł doboru technologii  $RG'_i$  wybór uporządkowanych technologii wytwarzania  $te_{ni}^{te_j}$  (zależność 6.5),
- 8) zapis uporządkowanej technologii z zastosowaniem: parametryzacji, techniki bloków oraz techniki bloków z atrybutami w programie AutoCAD [82, 187] (lub techniki wariantów, subwariantów, symboli i fleksogramów w programie LogoCAD [82]), kart technologicznych, kart instrukcji obróbki oraz dodatkowych instrukcji (jak np. instrukcje międzyoperacyjne obróbki cieplnej, instrukcje obróbki galwanicznej, instrukcje montażu, instrukcje kontroli),
- 9) wydruk dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej.

Tworzenie uporządkowanych technologii realizowane było przy współdziałaniu technologów. Zadaniem twórców uporządkowanej rodziny technologii  $RT_n$  jest opracowanie reguł doboru  $RG'_i$ , programów obliczeniowych wyboru: półfabrykatu, wartości wymiarów po określonej operacji, czasów obróbki oraz zapis uporządkowanej technologii. Fragment wyników metody integracji CAD, tworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji i technologii dla dwóch dobranych modułów konstrukcyjnych MTG1 i MTG3, przedstawiono na rys. 6.2 - 6.3.

Wytwór		Nazwa elementu: Tuleja stożka	Symbol technologiczny	MTG - 1	Gr. stożka
SI 5	SI 5	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	
Opis operacji	Formacja wariantowa				
5	Pile łazkowe	Cięć pręt na długość $l=36.780.35$			0.8
10	TN	Wiercić, łazczyć, wyfoczyć, gwintować wg instrukcji NR 1			4.4
15	TN	Toczyć i wyfoczyć wg instrukcji NR 2			1.8
20	Wiercić stożka	Wiercić otwór ø 5 wg instrukcji NR 3	Przyrząd wiertarski		0.2
25	Skrawanie stożka	Usunąć zędziny załomować ostre krawędzie			
30	OC	Gólenizować antykorozyjnie grubość warstwy min 0.02 mm			
35	KT	Kontrola ostateczna			

Rys. 6.2. Karty technologiczne odpowiadające modułom konstrukcyjnym  $mk_1^{MTG}$  i  $mk_3^{MTG}$

Fig. 6.2. Operation sheets corresponding to constructional modules  $mk_1^{MTG}$  and  $mk_3^{MTG}$

Wytwór		Nazwa elementu: Tuleja stożka	Symbol technologiczny	MTG - 3	Gr. stożka
SI 5	SI 5	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	Pręt walcowany ø 55 <sup>mm</sup>	
Opis operacji	Formacja wariantowa				
5	Pile łazkowe	Cięć pręt na długość $l=48.780.35$			1.2
10	TN	Wiercić, łazczyć, wyfoczyć, gwintować wg instrukcji NR 1			12.8
15	TN	Toczyć i wyfoczyć wg instrukcji NR 2			2.1
20	Wiercić stożka	Wiercić otwór ø 5 wg instrukcji NR 3	Przyrząd wiertarski		0.2
25	Skrawanie stożka	Usunąć zędziny załomować ostre krawędzie			
30	OC	Gólenizować antykorozyjnie grubość warstwy min 0.02 mm			
35	KT	Kontrola ostateczna			

Rys. 6.3. Karty instrukcyjne obróbki odpowiadające modułom konstrukcyjnym  $mk_1^{MTG}$  i  $mk_3^{MTG}$

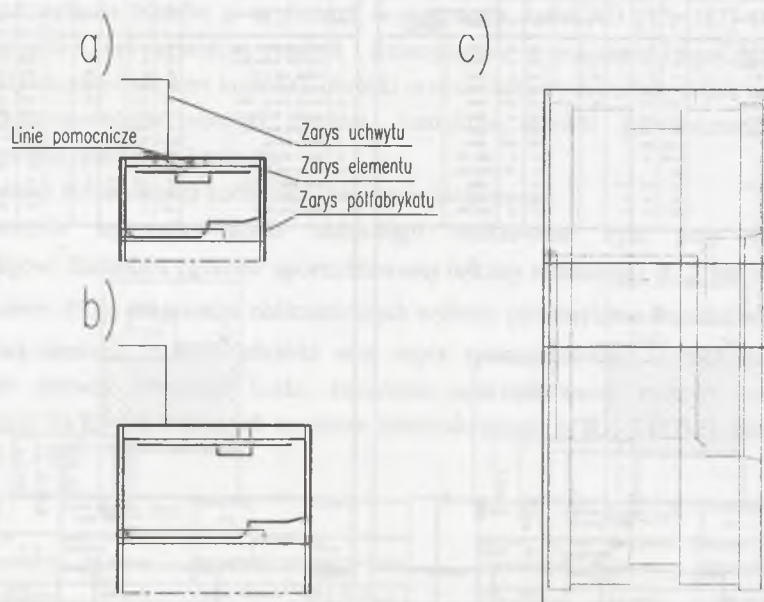
Fig. 6.3. Instruction cards corresponding to constructional modules  $mk_1^{MTG}$  and  $mk_3^{MTG}$

6.2. Integracja z zastosowaniem programów CAD i CAM

Integracja z zastosowaniem programów CAD i CAM wymaga odpowiednich translatorów tworzących i odtwarzających zbiory danych. Najczęściej stosowanymi zbiorami danych są dane typu DXF, IGES, STEP itp. Możliwe są różne kombinacje programów CAD z programami CAM, w zależności od programów graficznych, jakie posiada zakład wytwórczy. Przykładem takich kombinacji są programy: AutoCAD – MasterCAM, AutoCAD – KSP, AutoCAD – GTJ, LogoCAD – Dlog, ME10 – PROFIL, AutoCAD – PROFIL. Tę formę integracji CAD/CAM zweryfikowano na przykładzie programów: AutoCAD i MasterCAM. Przebieg integracji w pierwszym etapie jest identyczny z przebiegiem w przedstawionej powyżej integracji z zastosowaniem programów graficznych CAD, pkt. 1-6. Następne stadia metody to:

- 7) przygotowanie zapisów graficznych w programie CAD dla programu CAM z zastosowaniem parametryzacji programowej, w których występuje, zapis: zarysu uporządkowanej konstrukcji elementu, zarysu półfabrykatu, zarysu uchwytu, linii pomocniczych niezbędnych przy modelowaniu technologii, rys. 6.4,

- 8) utworzenie uporządkowanej technologii  $te_n^{te}$  na podstawie programu graficznego CAM,
- 9) udokumentowanie zamodelowanej technologii, rys. 6.5, 6.6,
- 10) wygenerowanie pliku zgodnego z preprocesorem obrabiarki sterowanej numerycznie dla wybranych uporządkowanych konstrukcji elementów.

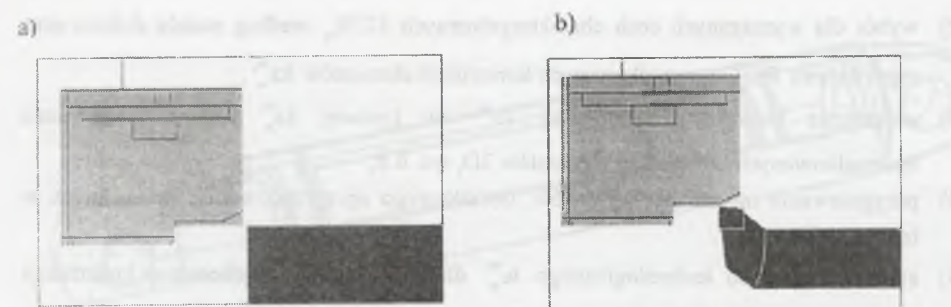


**Rys. 6.4.** Zapisy zarysów modułów konstrukcyjnych, półfabrykatów oraz linii pomocniczych dla programu CAM, gdzie: a, b) – w 2D, c) w 3D

**Fig. 6.4.** Notations of profiles of constructional modules, semi-finished products and auxiliary lines for the CAM program, where a, b) - in 2D, c) in 3D

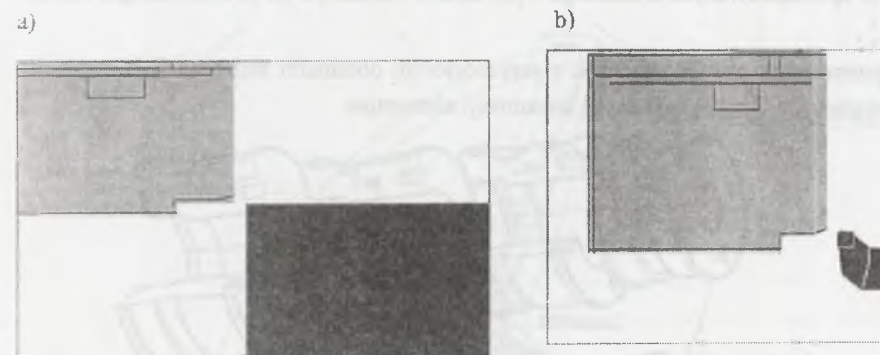
Punkt 7 metody realizowany jest z zastosowaniem parametryzacji programowej (tworzy się parametryk technologiczny), gdzie zarys elementu opracowany jest na podstawie fragmentu parametryku do zapisu konstrukcji elementu. W parametryku technologicznym przeprowadzane jest jednocześnie obliczanie naddatków obróbczych, dostosowanie wartości wymiarów do wartości półfabrykatu, obliczenie średnicy dna wrębów gwintu, dobór średnic wiertel itp.

Tak utworzony zapis graficzny (rys. 6.4) za pomocą np. zbiorów: \*.DWG, \*.DXF, odtwarzany jest w programie CAM. Korzystając z możliwości programu CAM, tworzy się model uporządkowanej technologii  $te_n^{te}$ . Fragment jej zapisu dla modułów konstrukcyjnych MTG1 i MTG14 przedstawiono na rys. 6.5 i 6.6.



**Rys. 6.5.** Fragment zapisanej technologii  $te_1^{MTG}$  odpowiadający modułowi konstrukcyjnemu  $mk_1^{MTG}$  (MasterCAM)

**Fig. 6.5.** Part of recorded technology  $te_1^{MTG}$  corresponding to the constructional module  $mk_1^{MTG}$  (MasterCAM)



**Rys. 6.6.** Fragment zapisanej technologii  $te_{14}^{MTG}$  odpowiadający modułowi konstrukcyjnemu  $mk_{14}^{MTG}$  (MasterCAM)

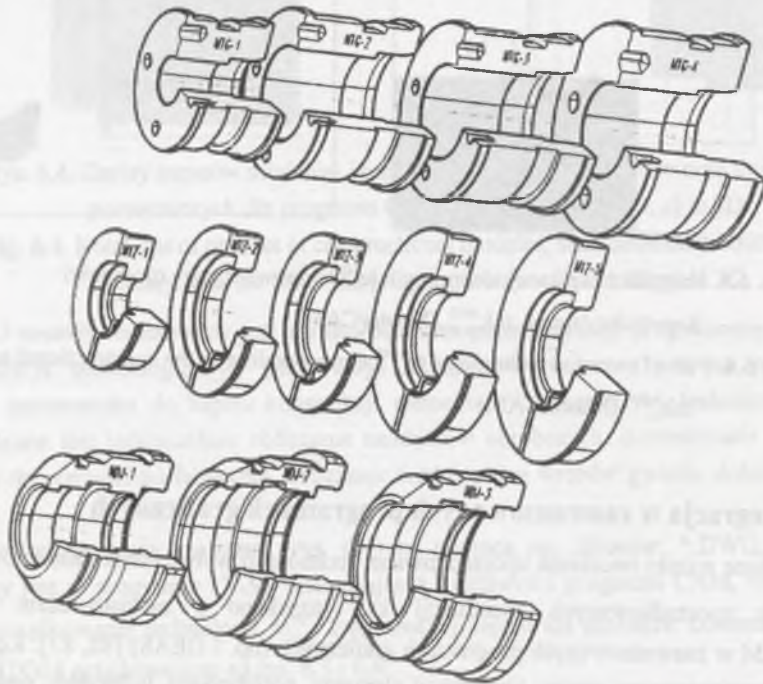
**Fig. 6.6.** Part of recorded technology  $te_{14}^{MTG}$  corresponding to the constructional module  $mk_{14}^{MTG}$  (MasterCAM)

### 6.3. Integracja w zaawansowanych programach graficznych

Najlepsze wyniki tworzenia uporządkowanej technologii wytwarzania elementów  $te_n^{te}$  na podstawie uporządkowanych konstrukcji  $ks_m^{te}$  uzyskano z zastosowaniem integracji CAD/CAM w zaawansowanych programach graficznych (np. I-DEAS) [82, 83]. Korzysta się tutaj z parametrycznego zapisu: konstrukcji elementu, półfabrykatu, uchwytów, podtrzymek i innych składników ustalania elementu obrabianego, narzędzi oraz asocjatywności między modelami konstrukcyjnymi a technologicznymi. Wyróżniono następujące stadia metody:

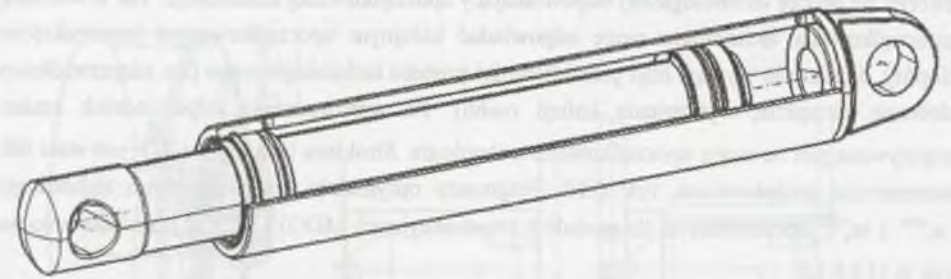
- 1) opracowanie na podstawie parametryzacji relacyjno-graficznej uporządkowanych konstrukcji elementów  $ks_m^{te}$  w postaci modeli 3D, rys. 6.7,

- 2) wybór dla wymaganych cech charakterystycznych  $CCH_w$  według zasady doboru oraz reguł doboru  $RG_n^k$  uporządkowanych konstrukcji elementów  $ks_{ij}^{ts}$ ,
- 3) utworzenie konstrukcji modułowej  $ks_p^M$  lub typowej  $ks_p^T$  poprzez zestawienie uporządkowanych konstrukcji elementów 3D, rys. 6.8,
- 4) przygotowanie modeli 3D uchwytów, dodatkowego oprzyrządowania, stosowanych w technologii, rys. 6.9,
- 5) symulacja procesu technologicznego  $te_{ij}^{ts}$  dla pierwszej uporządkowanej konstrukcji typoszeregu  $ts_{ij}^{ts} \in Ts^{ts}$  lub szeregu modułowego  $mk_{ij}^{mw} \in MK_{ij}^{ts}$  na podstawie zaawansowanego programu graficznego,
- 6) asocjatywne generowanie uporządkowanych technologii  $te_{ij}^{ts}$  dla pozostałych składników typoszeregu  $Ts^{ts}$  lub szeregu modułowego  $MK_{ij}^{ts}$ ,
- 7) dobór uporządkowanych technologii wytwarzania elementów na podstawie reguł doboru  $RG_n^T$ ,
- 8) wygenerowanie plików zgodnych z preprocesorem obrabiarki sterowanej numerycznie dla wybranych uporządkowanych konstrukcji elementów.



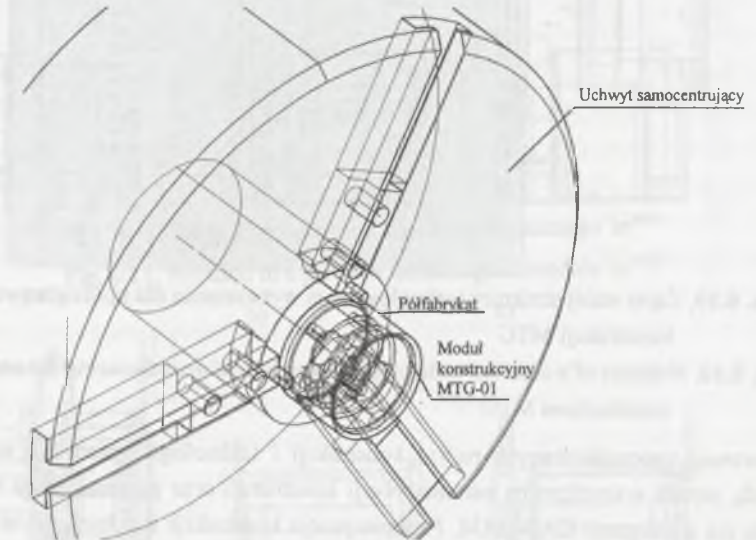
Rys. 6.7. Zapis uporządkowanych konstrukcji  $ks_{ij}^{ts}$  w postaci modeli 3D z zastosowaniem parametryzacji relacyjno - graficznej

Fig. 6.7. Notation of ordered constructions  $ks_{ij}^{ts}$  in the form of 3D models using the relational - graphical parametrization



Rys. 6.8. Konstrukcja modułowa siłownika hydraulicznego utworzona w zaawansowanym programie graficznym I-DEAS

Fig. 6.8. Module construction of a hydraulic cylinder created in an advanced graphic program I-DEAS



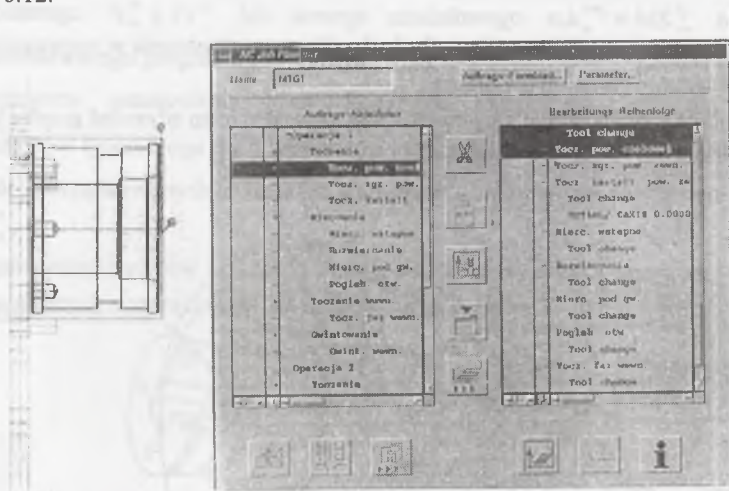
Rys. 6.9. Przygotowanie modułu konstrukcyjnego do utworzenia modułu technologicznego

Fig. 6.9. Preparation of a constructional module for creating the technological one

W powyżej przedstawionych stadiach metody występują etapy: wyprzedzające i bieżące. W stadiach wyprzedzających generowane są uporządkowane konstrukcje i technologie w postaci bibliotek i katalogów (pkt. 1 i 6). W stadiach bieżących dokonuje się wyboru dla wymaganych cech charakterystycznych  $CCH_w$  dokumentacji konstrukcyjnej (transformując zapis 3D na zapis 2D) oraz dokumentacji technologicznej środka technicznego (korzystając z zapisu technologii w postaci graficznej symulacji oraz plików sterowania OSN).

Asocjatywne tworzenie uporządkowanej technologii polega na wymianie modelu uporządkowanej konstrukcji i półfabrykatu, a następnie ponownym przeprowadzeniu symulacji technologii. Uruchamiając kolejno operacje poprzedniej technologii, automatycznie

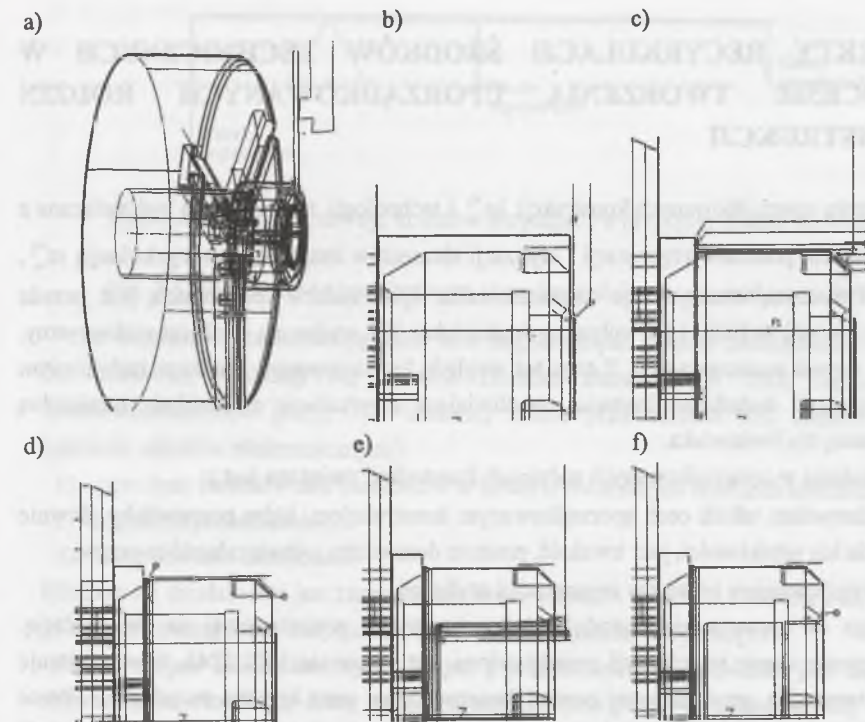
tworzy się proces technologiczny odpowiadający uporządkowanej konstrukcji. Tak utworzona uporządkowana technologia może odpowiadać kolejnym uporządkowanym konstrukcjom dopóty, dopóki nie wystąpi błąd prawidłowości procesu technologicznego (np. nieprawidłowo dobrane narzędzie, wystąpienie kolizji ruchu). Po wprowadzeniu odpowiednich zmian zapisywana jest na nowo uporządkowana technologia. Struktura technologii  $\Gamma^{te}$  jest stała lub nieznacznie zróżnicowana, rys. 6.10. Fragmenty optymalnie zróżnicowanych technologii  $te_1^{MDO}$  i  $te_8^{MDO}$  opracowanych dla modułów konstrukcyjnych MDO1 i MDO8 przedstawiono na rys. 6.11 i 6.12.



Rys. 6.10. Zapis stałej struktury technologicznej wytwarzania dla uporządkowanych konstrukcji MTG

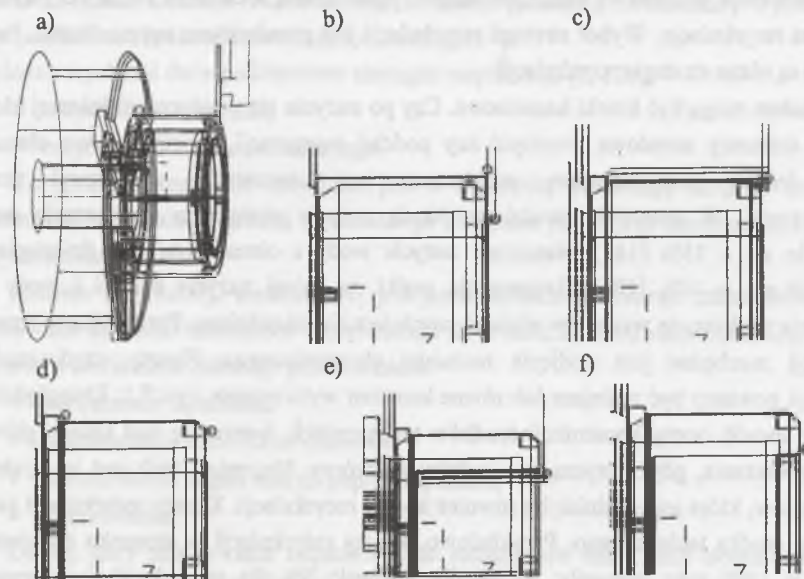
Fig. 6.10. Notation of a constant technological structure of manufacturing for ordered constructions MTG

Tworzenie uporządkowanych rodzin konstrukcji i technologii opiera się w opisanych metodach, przede wszystkim na parametryzacji konstrukcji oraz parametryzacji technologii. Korzysta się z integracji CAD/CAM. Parametryzacja konstrukcji i technologii to taka forma zapisu konstrukcji i technologii, gdzie postać konstrukcyjna  $\Pi^{te}$  oraz struktura technologii wytwarzania elementu  $\Gamma^{te}$  zapisana jest w pamięci operacyjnej komputera, natomiast zmienne wartości wymiarów  $WV_1^{te}$  oraz zmienne parametry technologiczne  $T_1^{te}$  wprowadzane są z zewnątrz. Podstawą parametrycznej integracji jest asocjatywność, pozwalająca na stosowanie elastycznych uporządkowanych technologii, w których wprowadzenie zmian cech konstrukcyjnych automatycznie modyfikuje technologię wytwarzania elementu. Tworzenie uporządkowanych technologii dla uporządkowanych konstrukcji na podstawie asocjatywności powoduje, że powstają technologie podobne lub identyczne pod względem struktury technologicznej  $\Gamma^{te}$  i optymalnie zróżnicowane ze względu na wartości parametrów technologicznych  $T_1^{te}$ .



Rys. 6.11. Zapis fragmentu modułu technologicznego  $te_1^{MDO}$

Fig. 6.11. Notation of a part of a technological module  $te_1^{MDO}$



Rys. 6.12. Zapis fragmentu modułu technologicznego  $te_8^{MDO}$

Fig. 6.12. Notation of a part of a technological module  $te_8^{MDO}$

## 7. ASPEKTY RECYRKULACJI ŚRODKÓW TECHNICZNYCH W PROCESIE TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH RODZIN KONSTRUKCJI

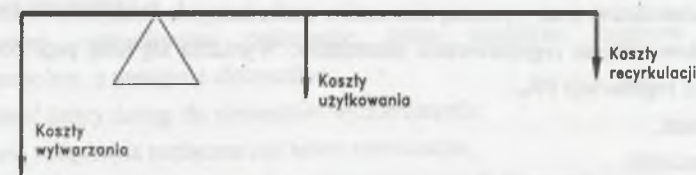
Tworzenie uporządkowanych konstrukcji  $ks_m^{(t)}$  i technologii  $te_m^{(t)}$  powinno być związane z przygotowaniem procesów regeneracji i utylizacji elementów nazywanych **recykulacją**  $rc_m^{(t)}$ , rys. 1.2. Przyczyną intensywnego zainteresowania społeczeństw recykulacją jest przede wszystkim rozwój techniki i jej wpływ na środowisko. Ten wpływ na ogół jest niekorzystny, powoduje wzrost zanieczyszczeń. Z tego też względu konstruowanym środkiem technicznym należy przypisać dodatkowe kryteria umożliwiające recykulację z możliwie minimalną szkodliwością dla środowiska.

Recykulacja w uporządkowanych rodzinach konstrukcji związana jest z:

- nadawaniem takich cech uporządkowanym konstrukcjom, które poprawiłyby głównie takie ich właściwości, jak: trwałość, prostota demontażu, odtwarzalność tworzyw,
- przygotowaniem procesów regeneracji i utylizacji.

Wymaga to opracowania metodologii konstruowania zorientowanej na recykulację. Metodologiczne ujęcie recykulacji przedstawione jest w normie VDI 2243. Norma ujmuje zalecenia tworzenia geometrycznej postaci konstrukcyjnej oraz kryteria recykulacji. Prace Rogalla i Wende z 1991 roku [181] wprowadziły praktyczne założenia tworzenia konstrukcji z kryteriami recykulacji i dokumentują skutki ich nieprzebrzegania. Konstruktorzy środków technicznych stoją w coraz to większym stopniu przed oceną rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na recykulację. Wybór strategii recykulacji jest przedmiotem optymalizacji. Polem rozwiązań są różne strategie recykulacji.

Przykładem mogą być klocki hamulcowe. Czy po zużyciu się powierzchni ściernej klocka pozostałe elementy metalowe przetopić czy poddać regeneracji, mocując nowe elementy ścierne? Innym przykładowym problemem jest stosowanie regeneracji pralek automatycznych. W ostatnich dwudziestu latach zużycie energii na eksploatację pralek zmniejszyło się o 55% [181]. Natomiast zużycie wody z okresu ostatnich dziesięciu lat zmniejszyło się o 48% [181]. Regeneracja pralki, w której zużycie energii i wody jest wielokrotnie większe, ze względów ekologicznych jest nieuzasadniona. Przy wyborze strategii recykulacji niezbędne jest podjęcie rachunku ekonomicznego. Koszty użytkowania i recykulacji powinny być mniejsze lub równe kosztom wytwarzania, rys. 7.1. Uwzględniając tradycyjny sposób oceny konstrukcji środków technicznych, bierze się pod uwagę głównie koszty wytwarzania, gdyż dotyczą one zysków wytwórcy. Natomiast brak jest integralnego ujęcia kosztów, które uwzględniałyby również koszty recykulacji. Koszty recykulacji zależą od rodzaju środka technicznego. Przykładowo, koszty recykulacji w stosunku do kosztów ogólnych w 1990 roku wynosiły: 12.5% dla lodówek, 3% dla samochodów ciężarowych [181].



Rys. 7.1. Model równowagi kosztów decydujący o przyjęciu środka technicznego do regeneracji

Fig. 7.1. Model of a balance between costs determining a technical mean for regeneration

Ze względu na konkurencję wiele firm zagranicznych podjęło problematykę recykulacji. Na czołówkę wysunęły się głównie Deimler Benz, BMW oraz Siemens Nixdorf Informationssysteme [181]. W ostatniej firmie przewidziano trzy stopnie regeneracji (głównie układów elektronicznych):

- 1) powtórne zastosowanie elementów w nowo wytwarzanych środkach technicznych,
- 2) regeneracja elementów,
- 3) odzyskiwanie materiałów.

Efektem tej działalności jest zmniejszenie ilości odpadów z 65% w 1988 roku do 20% w roku 1993 z całkowitej masy zużytych środków technicznych na dany rok [181].

**Podstawowym zaleceniem wynikającym z przedstawionych rozważań jest to, że zakłady wytwarzające określoną klasę środków technicznych powinny zajmować się również ich recykulacją.**

Największą podatność ze względu na powtarzalność na wprowadzanie regeneracji będzie miała ta klasa środków technicznych, w której podstawą tworzenia i wytwarzania jest uporządkowana rodzina konstrukcji i technologii.

Można wyróżnić dwie podstawowe strategie recykulacji [7, 120]:

- recykulacja materiału,
- recykulacja środka technicznego.

Recykulacja materiału związana jest z całkowitą likwidacją środków technicznych. Natomiast recykulacja środka technicznego związana jest z jego regeneracją i powtórny użytkowaniem.

Ideałem recykulacji materiałowej jest pełne zamknięcie obiegu materiałów, z których budowane są środki techniczne. Recykulacja ta, w zależności od cech materiału, wiąże się z czterema kierunkami dalszego przetwarzania:

- odtwarzanie materiału,
- przetwarzanie chemiczne materiału,
- odzyskiwanie części energii poprzez spalanie,
- deponowanie.

Do tej pory składowanie odpadów było stosunkowo tanie, lecz obecnie wykładniczo rośnie. W Niemczech utylizacja jednej tony odpadów kosztuje około 1300 EU [181].

Strategia recykulacji środka technicznego polega na wprowadzeniu uszkodzonego środka technicznego ponownie do użytkowania dzięki regeneracji. Chodzi tutaj głównie o

regenerację elementów oraz wymianę elementów uszkodzonych. Priorytetowe ze względu na ochronę środowiska jest regenerowanie elementów. Wyróżnia się tutaj pięć podstawowych operacji planu regeneracji PR<sub>n</sub>:

- demontaż,
- oczyszczenie,
- kontrola i sortowanie,
- odtwarzanie zużytych elementów (właściwa regeneracja),
- ponowny montaż.

Aby realizować regenerację elementów, stosuje się między innymi takie operacje technologiczne Or<sup>5</sup>, jak: szlifowanie powierzchni zużytych, napawanie, powlekanie warstwami antykorozyjnymi, obróbka ubytkowa, wypalanie, odcinanie, prostowanie, zastosowanie specjalnych elementów regeneracyjnych, np. uszczelnień pod- i nadwymiarowych.

### 7.1. Kryteria i zalecenia tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji ze względu na recykulację

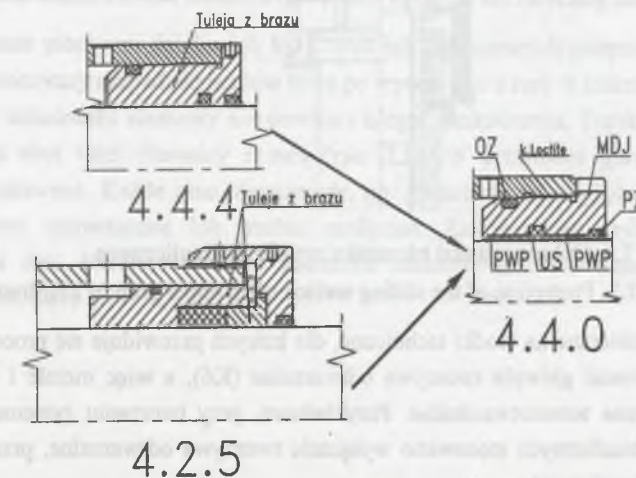
W celu utworzenia uporządkowanej rodziny konstrukcji ze względu na recykulację opracowano następujący układ kryteriów:

- K1 - mała złożoność środków technicznych,
- K2 - maksymalna liczba elementów znormalizowanych i katalogowych,
- K3 - wysoka trwałość,
- K4 - zastosowanie technologii, której odpowiada minimalna ilość odpadów,
- K5 - minimalna liczba rodzajów tworzyw,
- K6 - maksymalna ilość tworzyw odtwarzalnych,
- K7 - minimalna liczba operacji demontażu,
- K8 - minimalna liczba narzędzi demontażu,
- K9 - łatwy dostęp do elementów wymienianych,
- K10 - minimalna liczba połączeń,
- K11 - minimalna liczba odmian połączeń,
- K12 - minimalna liczba elementów złącznych,
- K13 - maksymalna liczba połączeń rozłącznych lub łatwo zniszczalnych,
- K14 - maksymalna liczba elementów wykonanych z tworzyw nierdzewnych lub odpowiednio zabezpieczonych antykorozyjnie (szczególnie dotyczy to powierzchni styku między elementami),
- K15 - minimalna masa elementów wymienianych,
- K16 - minimalne koszty wytwarzania dla założonej trwałości,
- K17 - minimalne koszty recykulacji.

Oprócz kryteriów wyróżniono również zalecenia, których należałoby przestrzegać w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Należą do nich głównie następujące zalecenia:

- Z1 - uprościć demontaż,
- Z2 - zastosować ustopniowane połączenie, które umożliwi najpierw demontaż podzespołów, a następnie elementów,
- Z3 - umożliwić łatwy dostęp do elementów wymienianych,
- Z4 - stosować połączenia rozłączne lub łatwo zniszczalne,
- Z5 - wykorzystać odpady wytwórcze do wytwarzania innych elementów,
- Z6 - elementy narażone na uszkodzenia szczegółowo zweryfikować wytrzymałościowo,
- Z7 - stosując MES dokonać podziału elementów szczególnie narażonych na uszkodzenia,
- Z8 - wyraźnie rozróżnić własności tworzyw stosowanych na elementy w zależności od stanu naprężeń i odkształceń,
- Z9 - stosować zabezpieczenia przed najczęściej występującymi uszkodzeniami,
- Z10 - chronić przed zanieczyszczeniem,
- Z11 - zastosować smary ułatwiające demontaż,
- Z12 - uprościć montaż,
- Z13 - ułatwić oddzielanie i sortowanie elementów,
- Z14 - zastosować tworzywa wzajemnie się tolerujące,
- Z15 - optymalizować różnorodność cech konstrukcyjnych,
- Z16 - dostosować cechy konstrukcyjne elementów regenerowanych tak, aby nie wymagało to zmian cech konstrukcyjnych współdziałających elementów,
- Z17 - stosować zapis konstrukcji z zastosowaniem wspomaganie komputerowego,
- Z18 - stosować parametryzację zapisu konstrukcji,
- Z19 - przeprowadzić symulację demontażu.

Przykładem zastosowania powyższych kryteriów i zaleceń są następujące rozwiązania w uporządkowanych rodzinach konstrukcji siłowników i stojaków hydraulicznych, rys. 7.2 – 7.5.



Rys. 7.2. Modyfikacja konstrukcji dławnicy ze względu na kryteria recykulacji  
Fig. 7.2. Modification of hydraulic gland construction considering recycling criteria



Uwzględnienie w stadium typizacji kryteriów: K15, K2, K3, K6 i K17 oraz zaleceń: Z3, Z10, Z8, Z15 doprowadziło do opracowania typowego rozwiązania konstrukcyjnego 4.4.0, (rys. 7.2), które zastępuje warianty rozwiązań konstrukcyjnych 4.4.4 i 4.2.5. Oznaczenia elementów PWP, US, PZ i OZ odpowiadają elementom wymienianym  $\Pi^m$ .

Struktura systemowa środków technicznych ulegała również modyfikacji na skutek stosowania zabezpieczeń przed ich uszkodzeniem (Z9). Przykładem może być ochrona gładzi rdzennika w stojakach dla górnictwa za pomocą mieszków harmonijkowych, rys. 7.3.



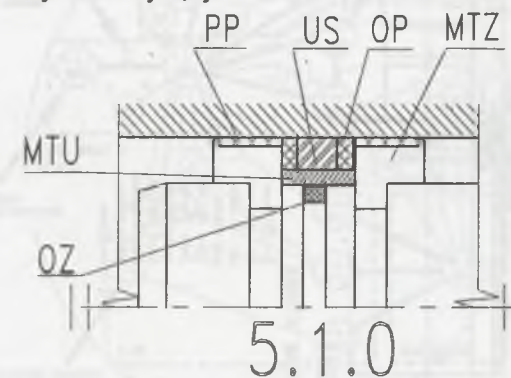
Rys. 7.3. Ochrona gładzi rdzennika stojaka hydraulicznego

Fig. 7.3. Protection of the sliding surface of an upper prop of a hydraulic cylinder

Tworzywa dobierane na środki techniczne, dla których przewiduje się proces recykulacji, powinny obejmować głównie tworzywa odtwarzalne (K6), a więc metale i ich stopy oraz tworzywa sztuczne termoutwardzalne. Przykładowo, przy tworzeniu systemu modułowego siłowników hydraulicznych stosowano wyłącznie tworzywa odtwarzalne, przede wszystkim stal, poliuretan i poliacetal.

Używane materiały powinny charakteryzować się prostotą oddzielania i sortowania (Z14). Przykładem stosowania tworzyw nie uwzględniających tego kryterium recykulacji są uszczelnienia wielokomponentowe typu DS lub JS [69]. W systemie modułowym konstrukcji siłowników hydraulicznych zastosowano jednokomponentowe uszczelki US [69] wykonane z poliuretanu, charakteryzujące się możliwością recykulacji materiału. Ze względu na jednorodność tworzywa uszczelki US istniała możliwość jej podziału (nie traci się skuteczności działania) i zastosowania w regenerowanych siłownikach o nienormowych średnicach tłoka i tłoczyska (K15, Z17).

Prostota demontażu wiąże się głównie z zastosowaniem połączeń rozłącznych, takich jak: postaciowe z pasowaniem luźnym, postaciowe z pasowaniem mieszanym, postaciowe z pasowaniem ciasnym, gwintowe, śrubowe, toczone, klejone, spawane. Przykładem może być typowe rozwiązanie konstrukcyjne tłoka 5.1.0, zastosowane w systemie modułowym konstrukcji siłowników hydraulicznych, rys. 7.4.

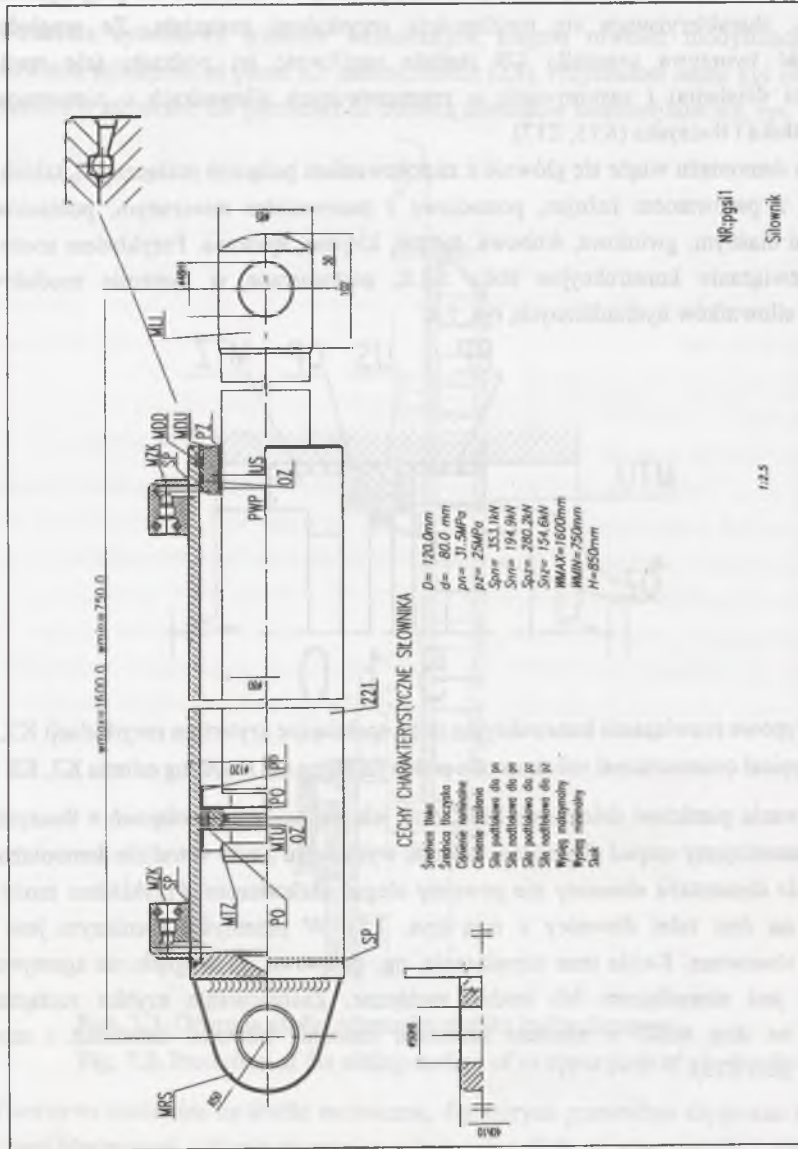


Rys. 7.4. Typowe rozwiązanie konstrukcyjne tłoka spełniające kryterium recykulacji K7, K8

Fig. 7.4. Typical constructional solutions of a piston fulfilling the recycling criteria K7, K8

Zastosowanie pierścieni dzielonych MTZ oraz ich postaciowych połączeń z tłoczyskiem powoduje samoczynny rozpad elementów tłoka po wysunięciu z rury w trakcie demontażu.

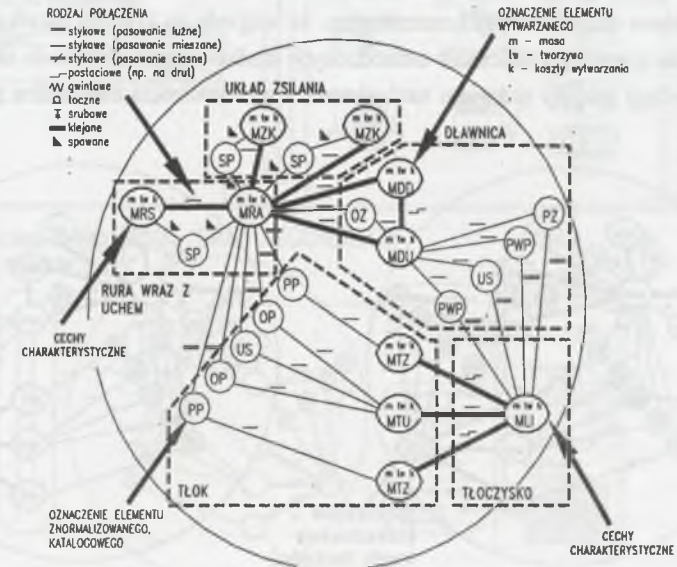
W trakcie demontażu elementy nie powinny ulegać uszkodzeniu. Przykładem może być połączenie na drut tulei dławnicy z rurą (rys. 7.5). W przemyśle górnictwem jest ono najczęściej stosowane. Każde inne rozwiązanie, np. gwintowe, ze względu na agresywność środowiska jest nierozłączne lub trudno rozłączne. Zastosowanie szybko rozłącznego połączenia na drut MDD z efektem zatrasku znacznie ułatwiło demontaż i montaż siłowników (Z1, Z13).



Rys. 7.5. Postaciowe połączenie dławnicy z rurą spełniające zalecenie recykulacji Z1  
 Fig. 7.5. Form joint of the hydraulic gland and cylinder pipe fulfilling the recycling recommendation Z1

7.2. Regeneracja w uporządkowanych rodzinach konstrukcji

Zapis struktury środka technicznego w postaci grafu relacji sprzężeń  $G(\Pi_{tr}^{lc})$  daje możliwości przeprowadzania analizy całościowej w planach recykulacji  $PR_n$ . W grafie tym węzłom odpowiadają konstrukcje elementów, natomiast ramionom sposoby połączenia, rys. 7.6. Połączenia mają jednoznaczne oznaczenia, jak przedstawiono na rysunku 7.6. Graf odpowiada konstrukcji siłownika hydraulicznego tworzonego na podstawie systemu modułowego, przedstawionego na rys. 7.5.



Rys. 7.6. Przykładowy zapis grafu recykulacji  
 Fig. 7.6. Exemplar notation of a recycling graph

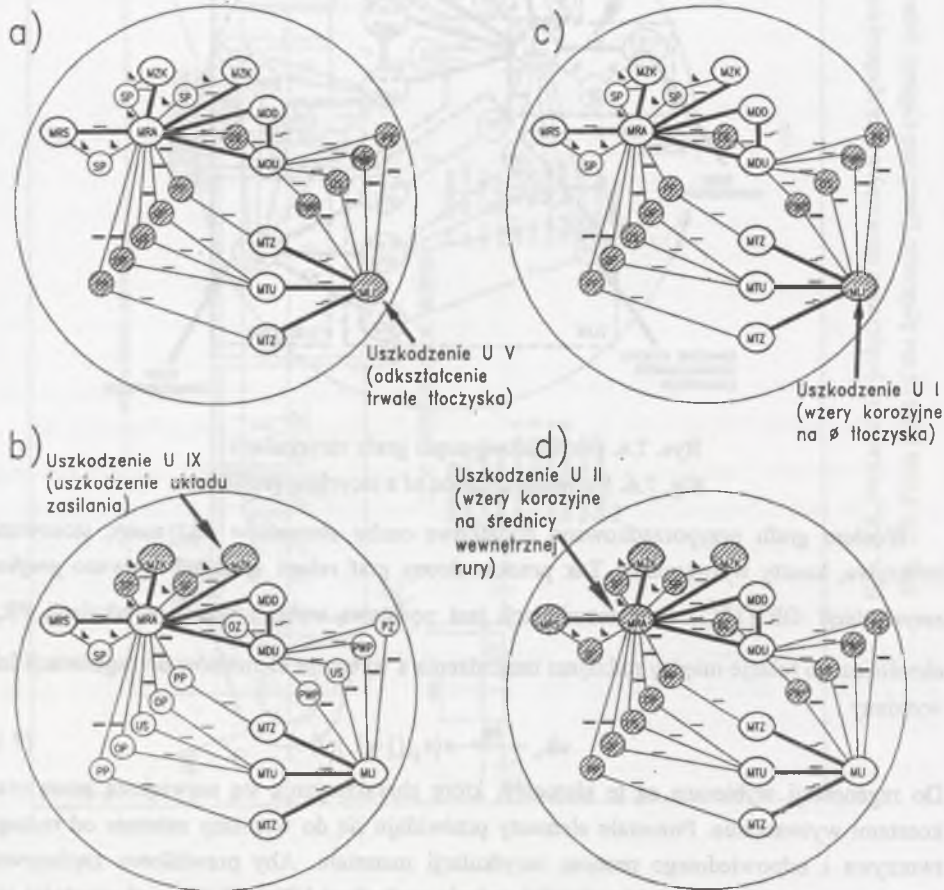
Węzłom grafu przyporządkowano dodatkowe cechy elementów jak: masy, stosowane tworzywa, koszty wytwarzania. Tak przekształcony graf relacji sprzężeń nazwano *grafem recykulacji*  $GR(\Pi_{tr}^{lc})$ . Graf recykulacji jest podstawą wyboru planu recykulacji  $PR_n$ , określającego relacje między rodzajem uszkodzenia a wyborem elementów do regeneracji lub wymiany

$$uk_u \xrightarrow{PR_n} \{e_j; (j=1, jr)\} \tag{7.1}$$

Do regeneracji wybierane są te elementy, które charakteryzują się największą masą oraz kosztami wytwarzania. Pozostałe elementy przewiduje się do wymiany zależnie od rodzaju tworzywa i odpowiedniego procesu recykulacji materiału. Aby prawidłowo zaplanować proces regeneracji, powinno się określić rodzaje uszkodzeń  $UK_n$ , jak również częstotści ich występowania  $v_u^R$ . Takie informacje powinny być gromadzone przede wszystkim w zakładach remontowych oraz wytwórczych. Sprzężenie zwrotne informacji o uszkodzeniach i

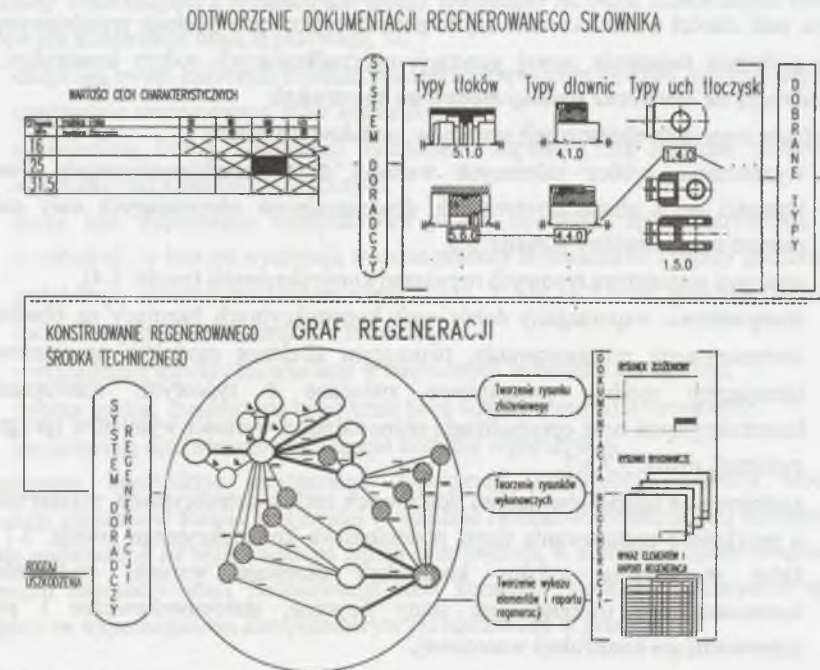
przyczynach likwidacji konstruowanych środków technicznych jest podstawą udoskonalenia nowych konstrukcji. To źródło informacji służy również do opracowania lub modyfikacji typowych rozwiązań konstrukcyjnych.

Rodzaje uszkodzeń  $UK_n$  powinny być podstawą wnikliwej analizy ich przyczyn. Dotyczy to przede wszystkim tych uszkodzeń, które charakteryzują się największą częstością występowania. Przyczyną uszkodzenia może być konieczność wymiany jednego lub kilku elementów. W skrajnym przypadku środek techniczny poddawany jest recykulacji materiałowej. O tej formie recykulacji decyduje głównie stopień uszkodzenia elementów istotnych, ze względu na realizowane działania, oraz masa i koszty wytwarzania. Nieprawidłowo dobrane cechy konstrukcyjne, ze względu na kryteria recykulacji, mogą być podstawą do częstszego zaliczania uszkodzonych środków technicznych do likwidacji. Model ustalania relacji między rodzajem uszkodzenia a wymiennością elementów przedstawia rys. 7.7.



Rys. 7.7. Modele relacji między rodzajem uszkodzenia a planem recykulacji  
Fig. 7.7. Models of relation between the type of damage and the element recycling

Grafy recykulacji określają elementy, które poddane będą recykulacji (zaznaczone poprzez zakreskowanie). W zależności od stopnia uszkodzenia określonego przez ilościowe cechy uszkodzenia, np. grubość wżeru korozyjnego w tłoczyśku, określany jest sposób recykulacji elementów  $rc_k^e$  zaznaczonych w grafie  $GR(\Pi_{rw}^{e_j})$ . Komputerowo wspomaganie tworzenie dokumentacji regeneracyjnej dla systemu modułowego siłowników hydraulicznych stosowanych w górnictwie, przedstawiono na rys. 7.8.



Rys. 7.8. Schemat ideowy działania programu doradczego regeneracji środków technicznych  
Fig. 7.8. Schematic diagram of the advisory program for recycling of technical means

Wyróżniono następujące stadia wspomaganie komputerowe regeneracji siłowników:

- 1) odtwarzanie cech charakterystycznych i konstrukcyjnych regenerowanego siłownika,
- 2) wybór rodzaju uszkodzenia (od UI - UXII, dla UI i UII podanie grubości wżeru),
- 3) selekcja elementów do wymiany i regeneracji na podstawie grafu regeneracji,
- 4) przeprowadzenie obliczeń ilościowych cech konstrukcyjnych oraz weryfikacja geometryczna i wytrzymałościowa regenerowanych elementów (stadium to występuje wówczas, gdy zachodzi zmiana cech konstrukcyjnych w wyniku regeneracji),
- 5) zapis konstrukcji w postaci rysunku złożeniowego,
- 6) zapis konstrukcji w postaci rysunków wykonawczych elementów: wymienianych (przeznaczonych do likwidacji) oraz regenerowanych,
- 7) zapis raportu wymaganego procesu regeneracji.

Wynikiem działania systemu doradczego jest dokumentacja konstrukcyjna siłownika po regeneracji z raportem wymaganego procesu regeneracji [22, 75].

## 8. ELASTYCZNE SYSTEMY MODUŁOWE MASZYN

System modułowy, w porównaniu z typoszeregiem konstrukcji, ze względu na strukturę wariantową, ma większe możliwości dostosowania środka technicznego do potrzeb, a tym samym charakteryzuje się większą elastycznością. Podstawowym mankamentem dotychczas opracowanych uporządkowanych rodzin konstrukcji jest ich petryfikacja, przez co są mało elastyczne, jeśli chodzi o dostosowanie się do potrzeb rynkowych. Metody przedstawione w pracy są podstawą tworzenia nowej generacji uporządkowanych rodzin konstrukcji, do których zaliczają się *elastyczne systemy modułowe konstrukcji*.

Do podstaw tworzenia elastycznych systemów modułowych należą:

- wyznaczanie oprócz zalecanych wartości cech charakterystycznych również wartości cech charakterystycznych dopuszczalnych obejmujących cały zakres potrzeb przedstawiony w rozdz. 5.3,
- struktura wariantowa typowych rozwiązań konstrukcyjnych (rozdz. 5.4),
- komputerowo wspomagany dobór cech konstrukcyjnych bazujący na obiektowo zorientowanym programowaniu, tworzącym strukturę modułów programowych ujmujących moduły programowe związane z typowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi oraz optymalizacją różnorodności wartości wymiarów (programy zwrotne), rozdz. 5.7.3.7,
- zastosowanie operatorów doboru ilościowych cech konstrukcyjnych, rozszerzonych o możliwość zastosowania teorii podobieństwa konstrukcyjnego (rozdz. 5.7.2), które w obrębie rodziny konstrukcji określają warunki podobieństwa konstrukcyjnego uwzględniając stany fizyczne, stereomechaniczne i proste odpowiadające konstrukcji wzorcowej,
- integracja doboru cech konstrukcyjnych z jednoczesnym zapisem konstrukcji na podstawie parametryzacji (odpowiednią spośród 4 metod parametryzacji, rozdz. 5.10.1),
- zastosowanie programów do obliczania kosztów wytwarzania, z uwzględnieniem opracowanego modelu kosztów rodziny konstrukcji, rozdz. 5.8.5.2,
- asocjatywne generowanie uporządkowanych technologii na podstawie uporządkowanych konstrukcji (rozdz. 6),
- automatyczne generowanie dokumentacji technologicznej na podstawie parametryzacji składników biorących udział w symulacji technologii, takich jak: półfabrykaty, uchwyty, podtrzymki, narzędzia itp. (rozdz. 6.3),
- zastosowanie grafów recykulacji do: wyboru elementów poddawanych recykulacji oraz przygotowanie procesów regeneracji wraz z jej udokumentowaniem z zastosowaniem: parametryzacji, techniki bloków, bloków z atrybutami itp. [82].

Przyczynowo–skutkowe ujęcie relacji między przyczyną nietypowości a jej skutkiem w postaci doboru konstrukcji elementów typopochodnych lub nietypowych przedstawiono w pracy [79]. W wymienionej pracy rozważono takie przyczyny nietypowości, jak:

- odstępstwa od zunifikowanych wartości cech charakterystycznych,
- konieczność zastosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych,
- zmianę elementów katalogowych i znormalizowanych.

Zakłady wytwarzające i regenerujące środki techniczne na bazie elastycznych systemów modułowych konstrukcji mają tę przewagę, że:

- obejmują swym zakresem działalności szerokie spektrum potrzeb, któremu odpowiada optymalnie zróżnicowany zbiór konstrukcji,
- ograniczoną liczbą konstrukcji elementów zapewnia się znaczną różnorodność konstrukcyjną środków technicznych,
- może być wspomagany komputerowo proces tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, w którym występują złożone procesy obliczeniowe i zapisy graficzne,
- zwiększają możliwości zastosowania CAD, CAM, CAE w procesie tworzenia i modyfikacji rodzin konstrukcji i technologii,
- uwzględniają aspekty recykulacji w tworzonych rodzinach konstrukcji,
- tworzą spójną, dynamiczną i statyczną bazę wiedzy o rodzinie konstrukcji,
- umożliwiają dokładniejsze obliczenie kosztów wytwarzania.

Stosowane konstrukcje powtarzalne, typoszeregi konstrukcji, systemy modułowe konstrukcji zapisane w formie tradycyjnej (wyłącznie rysunków technicznych) charakteryzują się małą podatnością na wprowadzanie zmian oraz zajmują w archiwach sporo miejsca. Tym problemom naprzeciw stają zastosowanie sieci komputerowych oraz elastyczne systemy modułowe ze wspomaganiami komputerowymi przedstawione w pracy.

## 9. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Praca jest wynikiem badań autora nad metodologią tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Stanowi próbę syntezy obejmującej całokształt zagadnień tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, poczynając od identyfikacji zbiorów potrzeb, ich unifikacji, a skończywszy na tworzeniu typowych rozwiązań konstrukcyjnych, typizacji oraz optymalnej dyskretyzacji wartości wymiarów. Na podstawie wyróżnionych czterech przyporządkowań:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , tworzone są reguły doboru składników uporządkowanych rodzin konstrukcji, które umożliwiają, stosownie do potrzeb, opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej. Uporządkowanym rodzinom konstrukcji są przyporządkowane uporządkowane technologie. Korzysta się z wzorcowych technologii wytwarzania elementów zorientowanych na określony zakład wytwórczy oraz możliwości trzech metod integracji CAD/CAM dostosowanych do tworzenia uporządkowanych rodzin technologii. W pracy rozszerzono zakres integracji konstrukcji o recykulację elementów, które na podstawie grafów recykulacji, w zależności od rodzaju uszkodzenia, będą regenerowane lub wymieniane.

Sformułowany cel rozprawy został w zakresie opracowania kompleksowej metodologii tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji osiągnięty poprzez:

- określenie podstawowych procesów tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji i wyróżnienie w nich czterech podstawowych przyporządkowań między ujednoczonymi grupami cech,
- opracowanie uogólnionego procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, w którym określone zostają stadia oraz rodzaje przekształceń cech,
- szczegółową identyfikację przekształceń cech w stadiach, będącą podstawą opracowania metod wspomagających te stadia z uwzględnieniem wspomagania komputerowego,
- opracowanie metod pozwalających na zastosowanie uporządkowania wyprzedzającego z uwzględnieniem rozwiniętej w pracy teorii podobieństwa konstrukcyjnego,
- weryfikację praktyczną metod na podstawie utworzonych w pracy, uporządkowanych rodzin konstrukcji elastycznych systemów modułowych konstrukcji siłowników hydraulicznych dla górnictwa, hutnictwa i przemysłu budowlanego.

Weryfikacja praktyczna metod stosowanych w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji potwierdziła poprawność przyjętych koncepcji dotyczących: unifikacji wartości cech charakterystycznych z zastosowaniem sześciu stadiów ich przekształceń, dwustopniowej oceny wariantów rozwiązań konstrukcyjnych, zastosowania sześciu operatorów doboru ilościowych cech konstrukcyjnych. Operatory uwzględniają potencjał teorii podobieństwa konstrukcyjnego oraz analizy wariantowej MES. Na potrzeby dyskretyzacji wartości wymiarów rozszerzono teorię automatycznej klasyfikacji, dostosowując ją do: klasyfikacji ilościowych cech konstrukcji, wyboru reprezentantów klas, oceny układów klas

ze względu na: częstotliwości powtarzających się potrzeb, redundancję mas, redundancję kosztów wytwarzania. Wyniki prac potwierdziły możliwość tworzenia *uporządkowania wyprzedzającego* uwzględniając przebieg przekształceń cech przedstawiony w rozdz. 5. Również potwierdzono celowość tworzenia *elastycznych systemów modułowych* konstrukcji przedstawiając podstawy ich tworzenia w rozdz. 8.

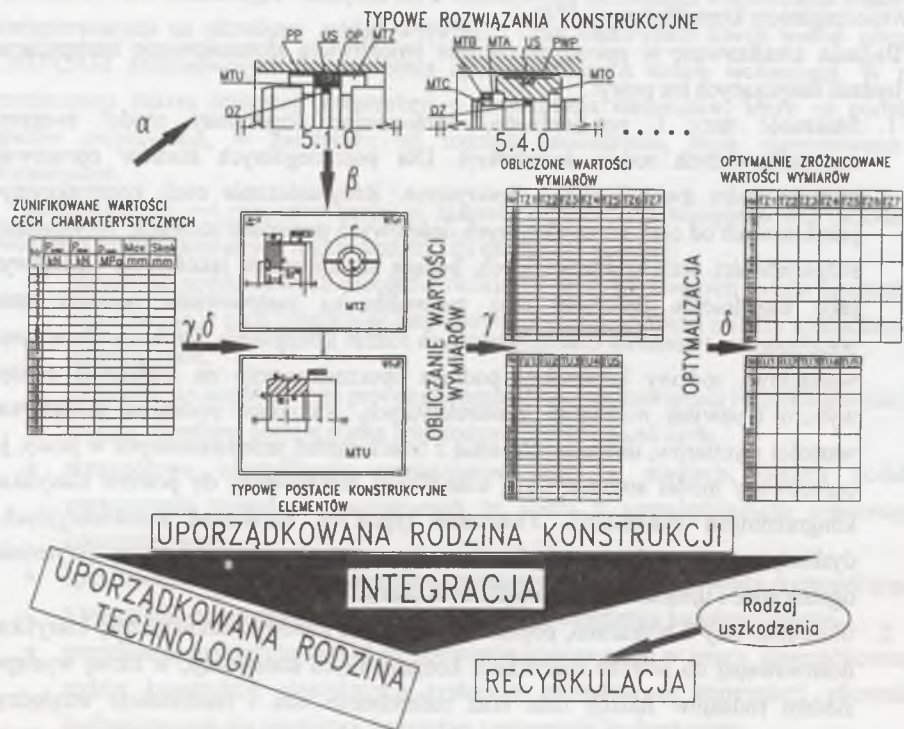
Integrację tworzenia uporządkowanych technologii, na podstawie uporządkowanych konstrukcji, przeprowadzono na podstawie dostępnych w Katedrze programów graficznych: klasy CAD – AutoCAD, LogoCAD, klasy CAM – MasterCAM oraz zaawansowanych programów graficznych - I-DEAS, Euclid. Przyczyny i skutki uszkodzeń zostały zebrane z czterech zakładów remontujących siłowniki i stojaki hydrauliczne dla górnictwa, dla których przygotowane zostały zgodnie z zasadami przedstawionymi w pracy procesy regeneracji wraz ze wspomaganiami komputerowymi [75].

Badania zrealizowane w opisanym zakresie umożliwiają sformułowanie następujących stwierdzeń dotyczących tej pracy:

1. Słuszność tezy 1 potwierdzono, opracowując uogólniony model tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Dla poszczególnych stadiów opracowano metody, które zweryfikowano praktycznie. Rozgraniczenie cech konstrukcyjnych jakościowych od cech konstrukcyjnych ilościowych pozwoliło rozważać optymalizację różnorodności cech konstrukcyjnych, będącą zagadnieniem jakościowo-ilościowym, jako zagadnienie ilościowe oraz pozwoliło na zastosowanie nowych metod wspomagania tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji. Struktura systemowa i wariantowa rodziny konstrukcji podlega uporządkowaniu na podstawie oceny i wyboru typowych rozwiązań konstrukcyjnych. Natomiast podstawą dyskretyzacji wartości wymiarów, dobieranych jedną z trzech metod przedstawionych w pracy, jest opracowany model automatycznej klasyfikacji dostosowany do potrzeb klasyfikacji kongruentnych konstrukcji. Tworzenie typowych rozwiązań konstrukcyjnych i dyskretyzacja wartości wymiarów zorientowana jest na zuniifikowane (kryterialnie ograniczone i ujednoczone) wartości cech charakterystycznych.
2. Słuszność tezy 2 wykazano, poprzez opracowanie metody automatycznej klasyfikacji dostosowanej do potrzeb klasyfikacji kongruentnych konstrukcji, w której występuje siedem rodzajów funkcji celu oraz redundancje mas i redundancje względnych kosztów wytwarzania. Na podstawie funkcji celu i miar oceny układów klas twórca uporządkowanej rodziny konstrukcji dokonuje wyboru liczby klas dla poszczególnych konstrukcji elementów w kolejności ustalonej przez graf relacji sprzężeń. Istotnym składnikiem metody jest sposób wyboru reprezentantów klas, dokonywany na podstawie podobieństwa konstrukcyjnego, wartości cech charakterystycznych oraz częstotliwości powtarzających się potrzeb. Wynik kryterialnego wyboru układu klas wpływa na liczbę uporządkowanych składników rodziny konstrukcji (modułów konstrukcyjnych, typowości). Implementację metody automatycznej klasyfikacji konstrukcji w tworzenie przyporządkowania  $\delta$  przedstawiono w formie trzech metod: selekcji wymiarów, relacji sprzężeń oraz iteracyjnego doboru.

3. Słuszność tezy 3 wykazano poprzez opracowanie trzech metod integracji CAD/CAM zorientowanych na tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji i technologii. W metodach przedstawiono sposoby przekształcania cech konstrukcyjnych w cechy technologiczne oraz przedstawiono możliwości tworzenia aplikacji programów graficznych. Podstawą tworzenia aplikacji programów są: modyfikacje menu, przygotowanie zapisów prototypowych, tworzenie programów nadzorujących, cztery główne sposoby parametryzacji, techniki bloków, techniki bloków z atrybutami, zastosowanie slajdów, piktogramów, symboli i fleksogramów w stadiach decyzyjnych procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, asocjatywność CAD/CAM w programach graficznych, zastosowanie zewnętrznych modułów programowych.

Ogólny model przekształceń cech przedstawiono na rys. 9.1.



Rys. 9.1. Model tworzenia uporządkowanych konstrukcji, technologii i recykulacji

Fig. 9.1. Model of creating ordered constructions, technologies and recycling

Korzystanie z uporządkowanych rodzin konstrukcji i technologii oraz zbiorów recykulacji polega na wyborze uporządkowanych składników rodzin według reguł doboru. Podstawą tworzenia reguł doboru dla rodzin konstrukcji są przyporządkowania  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , natomiast podstawą tworzenia reguł doboru technologii jest przyporządkowanie między uporządkowanymi konstrukcjami elementami a uporządkowanymi technologiami ich wytwarzania.

Najwyższą formą uporządkowania rodziny konstrukcji, jak wykazano, jest system modułowy konstrukcji. Jego podstawową cechą jest zapewnienie, w wyznaczonym zakresie potrzeb, największej powtarzalności cech konstrukcyjnych, a co z tym jest również związane, powtarzalności technologii. Ponadto jest formą uporządkowania, pozwalającą również w obrębie rodziny konstrukcji na wariantowość postaci konstrukcyjnej. Na podstawie praktycznych wdrożeń dla przemysłu wyróżniono następujące zalety stosowania uporządkowanych rodzin konstrukcji:

- 1) szybkie przygotowanie ofert,
- 2) skrócenie czasu realizacji zamówienia,
- 3) korzystanie z prac konstrukcyjnych i technologicznych już rozwiązywanych i sprawdzonych praktycznie,
- 4) intensyfikacja rozwoju komputerowego wspomaganie konstruowania i przygotowania procesów wytwarzania,
- 5) zatrudnienie optymalnej liczby konstruktorów i technologów w działach projektowo-konstrukcyjnych i technologicznych,
- 6) zmniejszenie kosztów wytwarzania, użytkowania i recykulacji,
- 7) dokładniejsze, aniżeli metody szacunkowe, określanie kosztów wytwarzania,
- 8) seryjność wytwarzania,
- 9) ujednoczenie procesów wytwórczych,
- 10) wyspecjalizowanie środków i procesów wytwórczych,
- 11) lepsze wykorzystanie zasobów środków wytwórczych,
- 12) zwiększenie wymienności i zamienności elementów w uporządkowanych środkach technicznych,
- 13) racjonalna utylizacja odpadów,
- 14) zintensyfikowanie regeneracji zużytych elementów.

W dobre gospodarce rynkowej niezbędne jest tworzenie elastycznych uporządkowanych rodzin konstrukcji. Wymusza to rynek oraz konkurencja, gdyż kto szybszy z niższą ceną przygotuje ofertę na dobry wytwór, otrzyma większą szansę istnienia na rynku, a tym samym rozwoju przedsiębiorstwa. Dlatego w pełni uzasadnione jest rozwijanie metod tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji, umożliwiających lepsze dostosowanie się do potrzeb przyszłych użytkowników.

W pełni uzasadniono konieczność intensyfikowania procesu tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji i stosowanie w stadiach zrutynizowanych oraz pracochłonnych tego procesu wspomaganie komputerowe. W związku z powyższym, kierunki dalszych badań będą dotyczyć między innymi takich problemów, jak:

1. W zakresie unifikacji wartości cech charakterystycznych:
  - a) dalszy rozwój metod prognozowania w zabiegach ograniczania wartości cech charakterystycznych,
  - b) rozwijanie metod dyskretyzacji wartości cech charakterystycznych na podstawie zmieniającego się rynku potrzeb.
2. W zakresie typizacji rozwiązań konstrukcyjnych:

- a) dalszy rozwój metod: intuicyjnych, systematycznych i algorytmicznych, rozwijających wariantowość rozwiązań konstrukcyjnych,
  - b) kontynuacja metod oceny wariantów rozwiązań konstrukcyjnych,
  - c) tworzenie nowych typów „adapterów” pozwalających na zwiększenie liczby kombinacji łączenia typowych rozwiązań konstrukcyjnych.
3. W zakresie doboru ilościowych cech konstrukcyjnych:
- a) opracowanie metody doboru wartości wymiarów z zastosowaniem sieci neuronowych, gdzie na poziomie uczenia sieci korzysta się z istniejących przyporządkowań  $\chi$ , po czym dla struktury sieci neuronowej odpowiadającej rodzinie konstrukcji generowanie wartości wymiarów elementów dla nowych wartości cech charakterystycznych,
  - b) kontynuacja rozwoju zastosowania operatorów wyznaczania wartości wymiarów, szczególnie poprzez dalsze wdrażanie MES i MEB. Szczególnie uzasadnione jest rozwijanie analizy wariantowej z zastosowaniem MES w zakresie spełniania relacji sprzężeń między współdziałającymi modelami elementów (zagadnienie kontaktu). Wymaga to opracowania analizy wariantowej MES: zorientowanej na typowe rozwiązania konstrukcyjne, uwzględniającej różne formy kontaktu między modelami 3D,
  - c) kontynuacja tworzenia modułów programowych z zastosowaniem programowania obiektowo zorientowanego i rozszerzanie bazy algorytmicznego doboru wartości wymiarów.
4. W zakresie optymalizacji różnorodności wartości wymiarów:
- a) dalszy rozwój metod automatycznej klasyfikacji, szczególnie w zakresie wyboru optymalnego układu klas konstrukcji z zastosowaniem klasyfikacji hierarchicznej, iteracyjnej oraz wprowadzanie dodatkowo metody z zastosowaniem teorii grafów,
  - b) kontynuacja metod wyznaczania relatywnych kosztów wytwarzania w celu określania redundancji kosztów układów klas i rozszerzanie ich o relatywne koszty eksploatacji i recykulacji.
5. W zakresie tworzenia reguł doboru oraz zapisu konstrukcji uporządkowanych:
- a) opracowanie nowych metod tworzenia graficznych programów doradczych, zorientowanych na rodziny konstrukcji i technologii, ze szczególnym uwzględnieniem metod rozwijanych w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn,
  - b) zastosowanie w programach graficznych metod pozwalających na automatyczną weryfikację cech konstrukcyjnych uporządkowanych rodzin konstrukcji, jak np. analizy tolerancji, spełnienia relacji sprzężeń.
6. W zakresie tworzenia uporządkowanych technologii:
- a) zastosowanie metody obiektów elementarnych (całostek) do tworzenia uporządkowanych technologii odpowiadających uporządkowanym konstrukcjom,
  - b) opracowanie metod tworzenia i oceny wariantów technologicznych.

7. W zakresie recykulacji środków technicznych w uporządkowanych rodzinach konstrukcji:
- a) rozwój metod określania kosztów użytkowania i recykulacji w celu kryterialnego wyboru elementów do utylizacji i regeneracji,
  - b) kontynuacja rozwoju metod recykulacji środków technicznych utworzonych na podstawie uporządkowanych rodzin konstrukcji, którym odpowiada powtarzalność regenerowanych elementów,
  - c) opracowanie nowych metod generowania dokumentacji regeneracyjnej elementów, z uwzględnieniem również zastosowania do tego celu symulacji procesów obróbczych.

Zdaniem autora, realizacja zadań wynikających z zarysowanych kierunków dalszych badań oraz zgromadzonej wiedzy umożliwia opracowanie zintegrowanego zbioru algorytmicznych metod tworzenia uporządkowanych rodzin: konstrukcji, technologii i im odpowiadających procesów recykulacji. Zadanie to może być podjęte przez zespół pracowników realizujący prace naukowe na potrzeby zakładów wytwórczych.

## LITERATURA

1. Алексеев В. И., Панфилов Е. А.: *Системный подход в стандартизации. Стандарты и качество.* № 8, 1969, s. 40 - 43.
2. Anderl R.: *Normung von CAD-Schnittstellen.* CIM- Management Nr 1, 1989.
3. Anderl R., Castro P.: *CAD/CAM. Auf dem Weg zu einer branchenübergreifenden Integration.* Springer – Verlag, Berlin 1990.
4. Anderl R.: *CAD- Schnittstellen, Methoden und Werkzeuge zur CA- Integration.* Hanser 1993.
5. Bacher J.: *Clusteranalyse.* Oldenbourg, München 1994.
6. Backhaus M., Erichson K., Plinke. W, Weiber L.: *Multivariate Analysemethoden.* Springer 1996.
7. Barg A.: *Recyclinggerechte Produkt- und Produktionsplanung.* VDI -Z 133/1991, Nr 11, s. 64 - 74.
8. Bartel D.L., Marks R.W.: *The Optimum Design of Mechanical Systems with Competing Design Objectives.* Trans. ASME s. B, Feb. 1974.
9. Baier A.: *Komputerowo zintegrowane konstruowanie i wytwarzanie obrotowych elementów maszyn.* Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997.
10. Berg S.: *Konstruieren in Größenreihen.* Konstruktion 17 (1965) s. 15- 21.
11. Bergs S.: *Optimalität bei Cluster - Analysen.* Diss. Münster 1981.
12. Bock H. H.: *Automatische Klassifikation.* Vandenhoeck & Ruprecht in Göttingen 1974.
13. Bogusz Z.: *Unifikacja w budowie włókienniczych maszyn wykańczalnych.* Zbiór referatów Konferencji „Metody unifikacji, typizacji oraz tworzenia typoszeregów maszyn i ich składowych”, Gliwice - Wisła 1984.
14. Brankamp K., Herrmann J.: *Baukastensystematik - Grundlagen und Anwendung in Technik und Organisation.* Industrie Anzeiger 91 (1969).
15. Branowski B.: *Elementy sprzężyste.* WNT, Warszawa 1990.
16. Breiing A., Knosala R.: *Theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen.* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1997.
17. Buchacz A., Świder J., Wojnarowski J. i inni: *Szkielety hipergrafów w modelowaniu, badaniu i pozycjonowaniu manipulatorów, robotów oraz podzespołów maszyn.* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
18. Chisholm A. W. J.: *Design for Economic Manufacture.* CIRP Annuals (1973) 22, s. 243 - 247.
19. Chlebus E., Kozera M., Trzeźniowski T.: *CAD/CAM systems integration.* Zeszyt Naukowy Politechniki Śląskiej „Mechanika” z. 117, Gliwice 1994, s. 87 - 92.
20. Cholewa W., Kaźmierczak J.: *Data Processing and Reasoning in Technical Diagnostics.* WNT Warszawa 1995.
21. Cholewa W., Pedrycz W.: *Systemy doradcze.* Skrypt uczelniany. Pol. Śląskiej nr 1447, Gliwice.
22. Cichosz P., Gendarz P., Knosala R., Krzyżanowski J., Polowski W., Potrykus J., Streubel A., Wasiak Z., Wojciechowski T.: *Ekologiczne aspekty produkcji.* Prace Naukowe Technologii Maszyn i Automatyzacji Politechniki Wrocławskiej. Konferencja „Automatyzacja produkcji 97 - Inowacje w technice i zarządzaniu”, Wrocław 1997, T1-referat plenarny, s. 417 - 440.
23. Clark K., Fujimoto T.: *Product development performance, strategy, organization and management in the world auto industry.* Boston 1991.
24. Clark K., Fujimoto T.: *Das Erfolgsgeheimnis integrierter Produkte* Harvard Manager 2, 1991, s. 113 - 123.
25. Dichtl E., Schobert R.: *Multidimensionale Skalierung.* Verlag Vahlen, München 1979.
26. Diet P.: *Baukastensystematik und methodisches Konstruieren in Werkzeugmaschinenbau.* Werkstatt und Betrieb 116 (1983) s. 185 - 189 i 485 - 488.
27. Dietrych J.: *Projektowanie i konstruowanie.* WNT, Warszawa 1974.
28. Dietrych J.: *System i konstrukcja.* WNT, Warszawa 1985.
29. Dietrych J.: *Założenia i wyniki - podstawowe problemy projektowania i konstruowania.* Problemy Postępu Technicznego, nr 6, 102, 1982.
30. Dietrych J.: *Prawo ograniczonego zróżnicowania.* Problemy Postępu Technicznego nr 1, 1978, s. 3-8.
31. Dietrych J.: *Zarys metodologii unifikacji i typizacji.* Zbiór referatów Konferencji: „Metody unifikacji, typizacji oraz tworzenia typoszeregów maszyn i ich składowych”, Wisła 1984, s. 20 - 32.
32. Dobrzański L. A.: *Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach.* WNT, Warszawa 1999.
33. Dorr H. J., Oess A.: *CAD/CAM - Systeme im industriellen Einsatz.* RKW 1985.
34. Drebing U.: *Zur Metrik der Merkmalsbeschreibung für Produktdarstellende Modelle beim Konstruieren.* Diss. Braunschweig, 1991.
35. Dziama A., Michniewicz M., Niedźwiecki A.: *Przekładnie zębate.* PWN, Warszawa 1989.
36. Ehrlenspiel K.: *Kostengünstig Konstruieren.* Springer – Verlag, Berlin 1985.
37. Ehrlenspiel K.: *Kostengesteuertes Design - Konstruieren und Kalkulieren am Bildschirm.* Konstruktion 40 (1988), s. 359 - 364.
38. Ehrlenspiel K., Steiner M.: *Konstruktionsbegleitende Kalkulation.* VDI Berichte, nr 993, 1992, s. 117 - 132.
39. Ehrlenspiel K.: *Kostenfrüherkennung im Konstruktionsprozess.* VDI-Berichte nr 347, Düsseldorf 1979.
40. Ehrlenspiel K.: *Möglichkeiten zum Senken der Produktkosten - Erkenntnisse aus einer Auswertung von Wertanalysen.* Konstruktion 32, H. 5, 1980, s. 173 - 178.
41. Eversheim W., Dahl B., Spenrath K.: *CAD/CAM Einführung.* RKW - Verlag. Verlag TÜV Rheinland 1998.
42. Feld M.: *Poradnik inżyniera - obróbka skrawaniem. Podział elementów maszyn według podobieństwa technologicznego.* WNT, Warszawa 1994.
43. Feld M.: *Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych części maszyn.* WNT, Warszawa 1994.
44. Feld M.: *Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn.* WNT, Warszawa 2000.
45. Franke J. H.: *Untersuchungen zur Algorithmisierbarkeit des Konstruktionsprozesses.* Fortschrittberichte der VDI, R1, nr 47, VDI - Verlag, Düsseldorf 1976.
46. Gabryelewicz F.: *Typizacja produkcji w przemyśle maszynowym.* WNT, Warszawa 1970.
47. Garbe E., Salomon D.: *Recyclinggerechtes Konstruieren - Erfordernis moderner Produktgestaltung.* VDI - Z 131/1989, nr 4, s. 79 - 83.
48. Gendarz P.: *Komputerowo wspomagany proces tworzenia typoszeregów konstrukcji na przykładzie sprzęgieł podatno-przeciążeniowych.* X Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn. "Mechanika", z. 142. Kraków 1981, s. 143 - 146.
49. Gendarz P., Knosala R.: *Metodyczne podstawy unifikacji i typizacji konstrukcji środków technicznych.* Problemy Projektowe Biur Projektujących Zakłady Produkcyjne, nr 3, 1981, s. 139 - 143.
50. Gendarz P., Knosala R.: *Unifikacja i typizacja wozów zużłowych w ujęciu metodycznym.* Problemy Projektowe Biur Projektujących Zakłady Produkcyjne, nr 1, 1982, s. 21 - 27.



51. Gendarz P.: *Koncepcja typizacji konstrukcji na podstawie zrealizowanych w biurze dokumentacji technicznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Mechanika”, z. 73, Gliwice 1982, s. 35 - 43.
52. Gendarz P.: *Możliwości zastosowania nowoczesnych środków przetwarzania informacji w procesie normalizacji środków technicznych*. Problemy Postępu Technicznego, nr 103, 1983, s. 12 - 14.
53. Gendarz P.: *Proces tworzenia typoszeregów środków technicznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Mechanika” 80/1983, s. 88 - 96.
54. Gendarz P.: *Podstawy optymalizacji różnorodności konstrukcji środków technicznych w procesie tworzenia typoszeregów*. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1983.
55. Gendarz P.: *Praktische Möglichkeiten der Anwendung von CAD im Prozess der Bildung von Typenreihen der technischen Mittel*. International Conference on Engineering Desing. Hamburg 1985. V.2, s. 783 - 792.
56. Gendarz P., Knosala R., Płonka R., Wencel H.: *Analiza zmienności konstrukcji cylindrów hydraulicznych jako podstawa ich typizacji*. Maszyny Górnicze nr 2(200), 1986, s. 29 - 36.
57. Gendarz P.: *Wspomaganie nowoczesnymi środkami przetwarzania informacji w typizacji metodą zidentyfikowanego procesu konstrukcyjnego*. Konferencja: "Komputerowe wspomaganie w budowie maszyn", Zakopane 85. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Energetyka", z. 89, Gliwice 1985, s. 53 - 67.
58. Gendarz P.: *Kryteria i stadia procesu tworzenia typoszeregów środków technicznych*. Normalizacja nr 7, 1985, s. 2 - 6.
59. Gendarz P., Knosala R.: *Poradnik konstruowania maszyn górniczych*. Część 1. Wytyczne do konstruowania cylindrów hydraulicznych. Wyd. CNG POLMAG, Katowice 1986.
60. Gendarz P., Knosala R., Velisek K.: *CAD vo vyvoji typovych radov*. NARADIE Odborny Casopis, 4, 1988, s. 23 - 24.
61. Gendarz P., Knosala R.: *Proces tworzenia systemu modułowego maszyn*. Przegląd Mechaniczny, 20, 1990, s. 5 - 9.
62. Gendarz P., Knosala R.: *Rechnerunterstützte Entwicklung der Moduln von Maschinenbauelementen*. Materiały: "12. Konferenz von Konstrukteuren und Projektanten", Olomuc 1990, s. 121 - 130.
63. Gendarz P., Knosala R.: *Proces tworzenia systemu modułowego maszyn*. Przegląd Mechaniczny, 20, 1990, s. 5 - 9.
64. Gendarz P., Baier A., Knosala R.: *System modułowy cylindrów hydraulicznych dla przemysłu, wydobywczego, budowlanego i hutniczego*. Maszyny Górnicze nr 38, 1992, s. 58 - 68.
65. Gendarz P.: *Modulbildungsprozess im Bereich Konstruktionsfamilie*. Materiały Konferencyjne 3 Sympozjum "Fertigungsgerechtes Konstruieren". Egloffstein 1992, s. 92 - 108.
66. Gendarz P., Knosala R.: *System modułowy cylindrów hydraulicznych - wyznaczenie ilościowych cech konstrukcyjnych*. Maszyny Górnicze 44, 1993. Wkładka czasopisma.
67. Gendarz P.: *Progettazione sistemi modulari e sistemi esperti esempio di disegno di cilindri idraulici*. IDRAULICA - PNEUMATICA, 3, 1993, s. 72 - 76.
68. Gendarz P.: *Relationen bei der Bearbeitung von quantitativen Konstruktionsmerkmalen im Modulbildungsprozess*. Materiały Konferencyjne 4 Sympozjum "Fertigungsgerechtes Konstruieren", Egloffstein 1993, s. 85 - 98.
69. Gendarz P., Knosala R.: *System modułowy cylindrów hydraulicznych w aspekcie miniaturyzacji i materiałoozczędności ich wykonania*. Maszyny Górnicze, nr 49, Gliwice 1994. Wkładka s. 1 - 17.

70. Gendarz P.: *Modulbildungsprozess mit CAD*. Materiały konferencyjne CO MAT TECH, Trnawa 1994, s. 154 - 157.
71. Gendarz P.: *Anwendung der Computerunterstützter Aufzeichnung in gebildete mit Modulsystem Dokumentation*. Materiały Konferencyjne AMME'94, Gliwice 1994, s. 129 - 136.
72. Gendarz P., Knosala R.: *Automatyczne generowanie dokumentacji konstrukcyjnej na przykładzie cylindrów hydraulicznych*. Maszyny Górnicze nr 3/53, Gliwice 1995. Wkładka czasopisma s. 31 - 54.
73. Gendarz P.: *Parametrisierung als Werkzeug zur CAD/CAM Integration*. Materiały 6 Symposium "Fertigungsgerechtes Konstruieren", Egloffstein 1995, s. 12.1 - 12.5.
74. Gendarz P.: *Relazionitra caratteristiche e dimensioni di elementi meccanici*. LAMIERA, sierpień 1995, s. 58 - 64.
75. Gendarz P., Baier A., Grabowik C., Monica Z.: *Konstruowanie i wytwarzanie odpowiednich ze względu na środowisko wytworów*. Sprawozdanie Pracy Naukowo-Badawcze, BW - 428/RMT - 8/96.
76. Gendarz P.: *Elastyczne systemy modułowe konstrukcji i technologii na przykładzie siłowników hydraulicznych*. Maszyny Górnicze nr 67, Gliwice 1997, s. 59 - 72.
77. Gendarz P.: *Zapis konstrukcji tworzony na podstawie systemów modułowych*. Materiały XI Konferencji „Metody i środki projektowania wspomaganego komputerowo”, Warszawa 1997, s. 145 - 152.
78. Gendarz P.: *Integration von Berechnungen im Modulbildungsprozess*. Materiały 8 Symposium „Fertigungsgerechtes Konstruieren”, Schneitach 1997, s. 82 - 90.
79. Gendarz P.: *Opracowanie metody tworzenia konstrukcji modułowych maszyn z uwzględnieniem integracji z procesem wytwórczym i relatywnym wyznaczeniem kosztów*. Sprawozdanie projektu badawczego nr 7 T07D 012 08. Gliwice 1997.
80. Gendarz P.: *Podstawowe narzędzia tworzenia elastycznych systemów modułowych konstrukcji*. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej CAE. Kudowa Zdrój 1998, s. 221 - 230.
81. Gendarz P.: *Podobieństwo konstrukcyjne w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji*. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej CAE. Kudowa Zdrój 1998, s. 213 - 220.
82. Gendarz P.: *Aplikacje programów graficznych w uporządkowanych rodzinach konstrukcji*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
83. Gendarz P.: *Zbiór zadań z zakresu tworzenia aplikacji programów graficznych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
84. Gendarz P.: *Berechnung von Abmessungen für die Entwicklung von Baureihen*. Konstruktion 50 (1998) H.10, s. 23 - 28.
85. Gendarz P.: *Systemy modułowe konstrukcji i technologii siłowników hydraulicznych w zaawansowanych programach graficznych*. Zbiór Referatów IX Konferencji: „Badanie, konstrukcja, wytwarzanie, eksploatacja układów hydraulicznych”, Zakopane 1999, s. 84 - 93.
86. Gendarz P.: *Parametryzacja w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji*. Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Komputerowe Wspomaganie Prac Inżynierskich”. Polanica Zdrój 2000, s. 321- 331, tom I
87. Gendarz P.: *Asocjatywność w komputerowo wspomaganym tworzeniu modułów konstrukcyjnych i technologicznych*. Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich”. Polanica Zdrój 2000, s. 331- 341, t. I

88. Gendarz P.: *Asocjatywne systemy modułowe konstrukcji i technologii*. M<sup>2</sup>E 2000 The 55<sup>th</sup> Anniversary Scientific Conference. Silesian University of Technology in Gliwice 2000, s. 215 - 220.
89. Gendarz P.: *Integracja doboru cech konstrukcyjnych z zapisem konstrukcji i technologii w uporządkowanych rodzinach konstrukcji*. Materiały Konferencji: "Materials, Mechanical & Manufacturing Engineering". Gliwice 2000, s. 103 - 108.
90. Gendarz P.: *CIM im Modulbildungsprozess*. International Conference on „Computer Integrated Manufacturing“. Materiały Międzynarodowej Konferencji: „Computer Integrated Manufacturing“, Zakopane 2001. WNT, Warszawa 2001, t.1, s. 136 - 146.
91. Gerhard E.: *Baureihenentwicklung*. Kontakt & Studium Band 105, Expert Verlag, Grafenaut 1984.
92. Gerhard E.: *Die wichtigsten Ähnlichkeitsgesetze in Elektrotechnik, Mechanik und Thermik* Feinwerktechnik 75 (1971), z. 5, s. 189 - 193.
93. Gläser F. J.: *Baukastensysteme in der Hydraulik*. Wt-Z. 65 (1975) s. 19 - 20.
94. Grabowski H., Rude S.: *Grundlagen der Konstruktionsmethodik für wissensbasierte CAD - Systeme*. VDI - Berichte, nr 903, Düsseldorf 1991, s. 1 - 32.
95. Grabowski H., Vogel H.: *Klassifizieren, Suchen und Ordnen von geometrischen Informationen durch automatische Klassifikation*. Konstruktion nr 44, 1992, s. 286 - 290.
96. Hansen F.: *Konstruktionswissenschaft*. Carl Hanser Verlag. München, Wien 1974.
97. Hansen F.: *Zusammenhänge zwischen der Konstruktionssystematik und der Standardisierung*. Die Technik 15 (1969), z. 7.
98. Hebenstreit H.: *Redurex - Zahnradgetriebe nach dem Baukastenprinzip*. Industrie Anzeiger 51, 1964, s. 1 - 7.
99. Heidrich R.: *Ein Beitrag zur Konzeption und Anwendung parametrisierter, integrierter Produktmodelle in CAD- Systemen*. Fortschritt - Berichte VDI, nr 27, VDI- Verlag 1990.
100. Höppner F., Klawonn F., Kruse R.: *Fuzzy-Clusteranalyse*. Vieweg, Braunschweig 1997.
101. Hubka V.: *Theorie Technischer Systeme*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1984.
102. Якушев А. И.: *Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения*. Машиностроение 1986.
103. Jordan W.: *Konstruieren recyclinggerechter Produkte mit der neuen Richtlinie VDI 2243*. VDI - Berichte, Nr 906, s. 23 - 41. VDI - Verlag, Düsseldorf 1991.
104. Käufer H.: *Recyclinggerechtes Konstruieren*. Kunststoffe 79/1989, Nr. 2, s. 339 - 343.
105. Kiewert A.: *Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren*. TU München, Diss. 1979.
106. Kilger W.: *Flexible Plankostenrechnung*. Gabler - Verlag, Wiesbaden 1978.
107. Klimek T., Winkler T.: *Komputerowe wspomaganie zintegrowanych procesów: projektowania, konstruowania i przygotowania wytwarzania na przykładzie zunifikowania suwnic pomostowych*. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1977.
108. Knosala R., Gendarz P.: *Unifizierung und Typisierung technischer Mittel*. International Conference on Engineering Desing. Kopenhagen, Denmark 1983, s. 453 - 458.
109. Knosala R., Gendarz P., Wencel H.: *Optimalizacja różnorodności konstrukcji cylindrów hydraulicznych w ujęciu metodycznym*. Część 4. Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa, 204, 1987, s. 5 - 13.
110. Knosala R.: *System informacyjny jako podstawa wyszukiwania gromadzonej racjonalnie dokumentacji technicznej*. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1981.

111. Knosala R.: *Methoden zur Bewertung von Bauelementen als Voraussetzung für die Entwicklung von Baukastensystemen*. Diss. B, TU Dresden 1989.
112. Knosala R.: *System numeracji dokumentacji projektowo - konstrukcyjnej jako język informacyjny*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej „Mechanika”, z. 73, Gliwice 1982, s. 45 - 53.
113. Knosala R., Gendarz P., Reich K., Wencel H.: *Poradnik konstruowania modułowych cylindrów hydraulicznych*. Wyd. CMG KOMAG, Gliwice 1990.
114. Knosala R., Gendarz P., Gwiazda A., Piłot T., Ćwikła G.: *Badanie podobieństwa konstrukcyjnego i technologicznego elementów maszyn jako podstawa racjonalizacji wytwarzania*. Sprawozdanie Pracy BK - 21/RMT -1/94.
115. Knosala R., Baier A., Gendarz P., Gwiazda A., Kampa A., Kost G., Majewski P., Paszek A., Skołod B., Zdanowicz R.: *Zintegrowany system wytwarzania modułowych zespołów maszyn*. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1939, Gliwice 1995.
116. Kohlhasse N.: *Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen, Strategien, Methoden, Instrumente*. Diss. TH Darmstadt 1997, Fortschr. -Ber. VDI, R.1. Nr 275 VDI Verlag, Düsseldorf 1997.
117. Koller R.: *Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen*. Springer - Verlag, Berlin 1994.
118. Koller R.: *Entwicklung und Systematik der Bauweisen technischer Systeme - ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik*. Konstruktion 38 (1986) 1- 7.
119. Kosiewicz T.: *Technologia budowy maszyn*. WNT, Warszawa 1977.
120. Krause D.: *Entwicklung einer Methodik zur Beurteilung recyclingfreundlicher Produktgestaltung*. Materiały 4. Symposium „Fertigungsgerechtes Konstruieren”, Egloffstein 1993, s. 93 - 110.
121. Linde H., Hill B.: *Erfolgreich erfinden. Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*. Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag. Darmstadt 1993.
122. Meerkamm H.: *Engineering worbench - ein Schlüssel zur Lösung komplexer Konstruktionsprobleme*. ICED, Praga 1995, s. 1261 - 1268.
123. Medland A. J.: *A Proposed Structure for a Rule-Based Description of Parametric Forms*. Engineering with Computers (1994) 10, 155 - 161.
124. Mellerowicz K.: *Kosten und Kostenrechnung*. Tom 1, 2.1, 2.2. Walter de Gruyter, Berlin 1974.
125. Meyer H.: *Recyclingorientierte Produktgestaltung*. VDI - Fortschrittsberichte. Nr 1/98.
126. Moom Y. B.: *Learning group - technology part families from solid models by parrale distributed procesing*. The International Journal of Advancet Manufacturing Technology, Syracuse University USA, 1992, pp. 109 - 118.
127. Müller R.: *Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche*. Diss. TU München 1991.
128. Müller R., H. Pickel: *Ein neues Verfahren zur Klassifizierung von Teilen*. CIM Management 10, 1994, s. 31-35
129. Nguyen H., Schnupp P.: *Wissensverarbeitung und Expertensysteme*. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1989.
130. Obermann K.: *CAD/CAM*. IVG - Verlag, Coburg 1982.
131. Opitz H.: *Werkstückbeschreibendes Klassifizierungssystem*. Girardet Verlag, Essen 1966.
132. Osiński Z., Wróbel J.: *Teoria konstrukcji*. PWN, Warszawa 1995.
133. Pahl G., Beelich K. H.: *Ermittlung von Herstellkosten für ähnliche Bauteile*. VDI-Berichte Nr. 347, Düsseldorf 1979.

134. Pahl G., Beulich K. H.: *Kostenwachstums Gesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweißverbindungen*. VDI-Berichte Nr. 457, Düsseldorf 1982.
135. Pahl G., Beitz W.: *Baureihenentwicklung*. Konstruktion 26 (1974), s. 71-79, 113 - 118.
136. Pahl G., Beitz W.: *Nauka konstruowania*. WNT, Warszawa 1984.
137. Pahl G., Rieg F.: *Kostenwachstums Gesetze für Baureihen*. Hanser 1984.
138. Pahl G., Zhang Z.: *Dynamische und thermische Ähnlichkeit in Baureihen von Schaltkupplungen*. Konstruktion 36 (1984) 421 - 426.
139. Paszek A.: *Metoda reprezentacji wiedzy w systemach doradczych wspomagających projektowanie procesów technologicznych elementów cylindrów hydraulicznych*. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
140. Pawlowski J.: *Die Ähnlichkeitstheorie in der physikalisch technischen Forschung*. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1971.
141. Piątkiewicz T., Sobolski R.: *Dźwignice*. WNT, Warszawa 1969.
142. Pickel H.: *Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren*, t. 2. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1988.
143. Plinke W.: *Industrielle Kostenrechnung*. Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 1991.
144. Podgórski A.: *Rachunek ekonomiczny efektywności przedsięwzięć typizacyjnych i unifikacyjnych stosowanych w przedsiębiorstwie przemysłowym*. Problemy Projektowe 3(28), 1972.
145. Pokojński J.: *Komputerowe wspomaganie decyzji wielokryterialnych w dynamice maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Prace Naukowe Mechanika, z. 134, Warszawa 1990.
146. Pokojński J., Wróbel J.: *Inteligentne bazy danych dla systemów komputerowo wspomaganego projektowania maszyn*. Materiały XVII Sympozjonu Podstaw Konstrukcji Maszyn, cz. II, s.731 - 736.
147. Prebil I., Zupan S., Lučić P.: *Adaptive and Variant Design of Rotational Connections*. Engineering with Computers (1995) 11, 83 -193.
148. Rathnow P. J.: *Integriertes Variantenmanagement*, Göttingen, 1993.
149. Rodenacker W.: *Methodisches Konstruieren*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1970.
150. Rohatyński R.: *Modelling in Engineering System Design*. Proceedings of ISS Conference: Problems of Constancy and Change, vol. 2, Budapest 1987.
151. Rohatyński R.: *Some Problems of Product data modelling for CAD and CAM Systems*. Materiały International Conference on CIM. Zakopane 1992, s. 335 - 342.
152. Roth K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen 2*. Springer-Verlag, Berlin 1994.
153. Ruf T.: *Featurebasierte Integration von CAD/CAM - Systemen*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1991.
154. Rusiński E.: *Przyszłość nowoczesnego projektowania i wytwarzania maszyn w C-technologii*. Przegląd Mechaniczny, nr 7, 1993, s. 22 - 25.
155. Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T.: *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2000.
156. Schaal S.: *Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD am Beispiel der Konstruktionsbegleitenden Kalkulation*. München, Hanser 1992.
157. T. Saaty : *The Analytic Hierarchy Processes*. Mc Grar - Hill, New York 1980.
158. Schuh G., Caesar Chr.: *Variantenorientierte Produktgestaltung - Standardisierung und Modularisierung von Serienprodukten*. Konstruktion 41 (1989) s.207 - 211.
159. Schuppar H.: *Rechnerunterstützte Erstellung und Aktualisierung von Relativkostenkatalogen*. Aachen: TH, Diss. 1977.

160. Sittig J.: *Gradation of technical parameters in a standard*. Proc. II Symp on Applications of Mathematics to Standardization, Wyd. Normalizacyjne, Warszawa 1972.
161. Späth H.: *Clusteranalyse - Algorithmen*. München 1975.
162. Steiner M., Ehrlenspiel K., Schnitzlein W.: *Erfahrungen mit der Einführung wissensbasierter Erweiterungen eines CAD - Systems zur konstruktionsbegleitenden Kalkulation*. VDI Berichte nr 1079, 1993, s 33 - 43.
163. Steinhausen D.: *Clusteranalyse großer Datenmengen effektive Verfahren und Programme zur Clusterung quantitativen Daten*. Schriftenreihe des Rechenzentrum der Universität Münster Nr. 18, 1977.
164. Steinhausen D., Langer K.: *Clusteranalyse*. Berlin, New York 1977.
165. Stusberg E.: *Produktivitätssteigerung durch Sortenminderung, Spezialisierung, Kooperation*. Mainz 1970.
166. Шебанов В. У.: *Системные исследования и методология системного подхода в стандартизации*. Стандарты и качество. № 6 i 7, 1983.
167. Tarnowski W.: *Podstawy projektowania technicznego*. WNT, Warszawa 1997.
168. Taylor D. A.: *Objektorientierte Technologien*. Addison - Wesleg. 1992.
169. Tempelmeier H., Kuhn H.: *Flexible Fertigungssysteme*. Springer - Verlag, Berlin 1992.
170. Urbaniec K.: *Optimization of the Type Series*. Opl. Res. Q. 1976, nr 411.
171. Urbaniec K.: *Optymalizacja w projektowaniu aparatury procesowej*. WNT, Warszawa 1979.
172. Urbaniec K.: *Dwukryterialna optymalizacja typoszeregu na przykładzie wymienników ciepła*. Materiały Konferencji „Metody unifikacji, typizacji oraz tworzenia typoszeregów maszyn i ich składowych”. Wisła 1984, s. 154 - 162.
173. VDI - Richtlinien 2222 Teil 2: *Erstellung und Anwendung von Konstruktionskatalogen*. VDI - Verlag, Düsseldorf 1982.
174. VDI-Richtlinie 2225: *Technisch - wirtschaftliches Konstruieren*. Blatt 1 u. 2. VDI-Verlag, Düsseldorf 1977.
175. VDI - Richtlinie 2243: *Konstruieren recyclinggerechte technischer Produkte*. VDI - Verlag, Düsseldorf 1993.
176. Vogel F.: *Probleme und Verfahren der Automatischen Klassifizierung*. Vandenhoeck & Rupprecht, Göttingen 1975.
177. Warnecke H. J., Bullinger H.J., Richert R., Voegelé A.: *Rachunek kosztów dla inżynierów*. WNT, Warszawa 1993.
178. Weber M.: *Das allgemeine Ähnlichkeitsprinzip der Physik und sein Zusammenhang mit der Dimensionslehre und der Modellwissenschaft*. Jahrbuch der Schiffbautechnik Ges., H.31/30, s. 274 - 354.
179. Weiss Z., Konieczny R., Rojek M., Stępiak D.: *Projektowanie technologii maszyn w systemach CAD/CAM*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1996.
180. Wencel H.: *Dobór optymalnych cech konstrukcyjnych zespołów uszczelniających cylindrów hydraulicznych*. Praca doktorska Politechniki Śląskiej, Gliwice 1994.
181. Wende A.: *Integration der recyclingorientierten Produktgestaltung in den methodischen Konstruktionsprozess*. Fortschritt - VDI Berichte, Nr 1/239.
182. Wildemann H.: *Optimierung von Entwicklungszeiten*. Just - In - Time in Forschung und Entwicklung, München 1993.
183. Windham M. P.: *Cluster Validity for the Fuzzy c-Means Clustering Algorithm*. IEEE Trans. Pattern Analysis and Maschine Intelligence 13 (1991), s. 841 - 847.
184. Winkler T.: *Komputerowy zapis konstrukcji*. WNT Warszawa 1997.
185. Wirth N.: *Algorithmen und Datenstrukturen*. B. G. Teubner, Stuttgart 1983.

186. Wisbauer W.: *Grundlagen der Modul - und Ringtheorie*. Verlag Reinhard Fischer, Berlin 1988.
187. Wróbel J.: *Technika komputerowa dla mechaników*. PWN, Warszawa 1994.
188. Wróbel J., Jusis J., Markowski W.: *Procesowe aspekty komputerowo wspomaganego projektowania*. Materiały III Konferencji Naukowej „Komputerowe wspomaganie prac inżynierskich”. Polanica Zdrój 1996, s. 269 – 276.
189. Wróbel J.: *Komputerowe bazy danych we wstępnych fazach projektowania maszyn dla potrzeb ratownictwa technicznego*. Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Computer Aided Engineering”. Polanica Zdrój 1998, s. 557 – 564.
190. Zelas A.: *Teoria prognozy*. PWE, Warszawa 1979.
191. Ch. Zich: *Integrierte Typen- und Teileoptimierung. Neue Methoden des Produktprogramm - Managements*. Deutscher Universität Verlag, Aachen 1996.

## METODOLOGIA TWORZENIA UPORZĄDKOWANYCH ZBIORÓW KONSTRUKCJI

### Streszczenie

Praca stanowi próbę syntezy obejmującej całokształt zagadnień związanych z tworzeniem uporządkowanych rodzin konstrukcji. W zależności od stopnia przekształcania cech konstrukcyjnych wyróżniono procesy: selekcji konstrukcji, tworzenia wzorcowych cech, tworzenia typoszeregu konstrukcji, tworzenia systemu modułowego konstrukcji. Opracowano uogólniony proces przekształceń cech. Wyróżniono w nim cztery podstawowe przyporządkowania:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , ujmujące zależności między wektorami potrzeb a wektorami konstrukcji. W uogólnionym procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji opracowano metody intensyfikujące kryterialne przekształcanie cech, które w stadiach zrutynizowanych i pracochłonnych wspomaganie komputerowo.

Przekształcenia cech jakościowych dotyczą wyróżnionej struktury systemowej i wariantowej rodziny konstrukcji. Dla izomorficznych składników struktury systemowej tworzono typowe rozwiązania konstrukcyjne z możliwie maksymalną liczbą relacji sprzężeń. W pracy opisano trzy podstawowe metody doboru ilościowych cech konstrukcyjnych, ze względu na zunifikowane wartości cech charakterystycznych: tradycyjną, podobieństwa konstrukcyjnego i algorytmiczną. W metodzie podobieństwa konstrukcyjnego przedstawiono warunki podobieństwa rodziny konstrukcji w celu zachowania identyczności stanów fizycznych, stereomechanicznych i prostych, tak jak w konstrukcji wzorcowej. Metoda algorytmiczna utworzona na podstawie sześciu grup operatorów, w operatorach wytrzymałościowych stosuje analizę wariantową z zastosowaniem MES. Podstawą dyskretyzacji ilościowych cech konstrukcyjnych jest rozwinięta i przystosowana do potrzeb tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji teoria automatycznej klasyfikacji. Klasyfikacja hierarchiczna przeznaczona jest do analizy strukturalnej zmienności ilościowych cech konstrukcyjnych. Wynikiem są dendrogramy i wstępne układy klas dla klasyfikacji iteracyjnej. W klasyfikacji iteracyjnej tworzono optymalne układy klas konstrukcji i kryterialnie wybierano reprezentantów klas. Reprezentanci klas stanowią uporządkowane składniki rodziny konstrukcji, dla których na podstawie przyporządkowania:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , tworzono reguły doboru. Wyróżnioną formą zapisu uporządkowanych rodzin konstrukcji jest parametryzacja, występująca w czterech podstawowych odmianach: dynamiczna, relacyjna, graficzna i programowa.

Uporządkowanym rodzinom konstrukcji powinny odpowiadać uporządkowane technologie wytwarzania. W pracy przedstawiono odpowiedniość między uporządkowanymi cechami konstrukcyjnymi a składnikami opisu technologii wytwarzania elementów. Wyróżniono trzy podstawowe metody integracji CAD/CAM w procesie tworzenia uporządkowanych rodzin konstrukcji i technologii to integracja z zastosowaniem: programów graficznych CAD, programów graficznych CAD i CAM oraz zaawansowanych programów graficznych.

Twórcy uporządkowanych rodzin konstrukcji powinni zwracać szczególną uwagę na problematykę recykulacji środków technicznych. Podstawą metodyczną przygotowania recykulacji jest przedstawiony w pracy układ kryteriów i zaleceń oraz grafy recykulacji. Grafy recykulacji określają relacje między rodzajem uszkodzenia a wymianą lub regeneracją elementów. Wynikiem jest zastosowanie w zakładach wytwórczych również zadań recykulacji na podstawie generowanej, ze wspomaganie komputerowym, dokumentacji regeneracyjnej środków technicznych. Weryfikacja doświadczalna w pełni potwierdziła poprawność stosowanych metod i możliwości ich wspomaganie komputerowego. Jej wynikiem są uporządkowane rodziny konstrukcji, technologii i recykulacji wdrożone w krajowym przemyśle maszynowym.

## METHODOLOGY FOR THE CREATION OF ORDERED SETS OF CONSTRUCTIONS

### Summary

This work attempts to synthesize all problems involving the creation of ordered families of construction. Depending on the transformation level of constructional features, the following processes have been distinguished: selection of construction, creation of model characteristics, creation of the series of types of constructions, creation of the module system of constructions. A generalized process involving the transformation of these characteristics has been elaborated. Four basic assignments have been distinguished in this process:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , covering the relations between the vectors of needs and vectors of construction. In the generalized process for the creation of ordered construction families, some methods have been elaborated which intensify criterion-based transformations of the characteristics, which in routine and work consuming stages of work necessitated the aid of computer.

The transformations of quality characteristics involve the distinguished structure and variant systems of construction family. For the isomorphous components of the system structure, typical constructional solutions were created with possibly the highest number of conjugation relations. In the work, three basic methods for the choice of quantitative constructional characteristics are presented, taking into consideration unified values of characteristic features. These are: a traditional method, method of constructional similarity and algorithmic method. In the method of constructional similarity, conditions of constructional similarity of construction family were presented, to preserve the identity of physical, stereomechanical and simple states, as in the model construction. The algorithmic method created basing on six groups of operators, for strength operators uses the variants analysis aided with FEA.

The base for the discretisation of quantity constructional features is the theory of automatic classification developed and adapted for the needs involving the creation of the ordered families of constructions. The hierarchical classification is designed for structural analysis of variability of quantitative constructional features, which results in dendrograms and initial systems of classes for iterative classification. In the iterative classification, optimal class systems of construction were created and the representatives of classes were chosen according to some criteria. The representatives of classes are the ordered elements of the construction family, for which, basing on assignments  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$ ,  $\delta$ , rules of selection have been created. Parameterization is one of the forms of notation of the ordered families of constructions. There are four basic types of parameterization: dynamic, relational, graphic and program.

The ordered manufacturing technologies should correspond to the ordered families of constructions. This paper presents the correspondence between ordered constructional features and elements of manufacturing technology descriptions. In the creation process of the ordered families of constructions and technologies, three basic methods of CAD/CAM integration were distinguished. These are: integration using graphic programs CAD, integration using graphic programs CAD and CIM and integration using advanced graphic programs.

The creators of the ordered families of constructions should pay particular attention to the problems of recycling of technological means. The presented in the work system of criteria and recommendations and graphs of recycling is the methodic base for the preparation of recycling. Recycling graphs determine the relation between the type of damage and the exchange or recycling of an element. It results in the application of recycling tasks in the production plants, basing on the elaborated, computer aided recycling documentation of technological means. Experimental verification fully confirmed the correctness of the applied methods and the possibility of computer aid. It resulted in the application of ordered families of construction, technology and recycling in the home machinery industry.

Książki Wydawnictwa Politechniki Śląskiej można nabyć  
w Wydawnictwie Politechniki Śląskiej w Gliwicach  
oraz w wymienionych poniżej księgarniach

### GLIWICE

- ◆ Punkt Sprzedaży - Wydział Górnictwa i Geologii Pol. Śl., ul. Akademicka 2
- ◆ Punkt Sprzedaży - Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Pol. Śl., ul. Akademicka 16
- ◆ Punkt Sprzedaży - Wydział Architektury Pol. Śl., ul. Akademicka 7
- ◆ Mercurius - ul. Konstytucji 14 b
- ◆ Matras - ul. Konstytucji

### KATOWICE

- ◆ Punkt Sprzedaży - Wydział Metalurgii, Inżynierii Materiałowej i Transportu Pol. Śl., ul. Krasińskiego
- ◆ Matras - ul. Ściegiennego 41
- ◆ Hurtownia „DJK” - ul. Dulęby 7

### ZABRZE

- ◆ Punkt Sprzedaży - Wydział Organizacji i Zarządzania Pol. Śl., ul. Roosevelta 26

### OPOLE

- ◆ Techniczna J. Szutenberg - ul. Sosnkowskiego 31

### KRAKÓW

- ◆ Hurtownia „Pagina” - ul. Moniuszki 25
- ◆ Naukowa - ul. Podwale 6

### GDAŃSK

- ◆ EKO-BIS - ul. Dyrekcyjna 6

### WARSZAWA

- ◆ Studencka - Pl. Politechniki 1
- ◆ Techniczna (filia Księgarni Ekonomicznej) K. Leki - ul. Kaliskiego 15
- ◆ Techniczna - ul. Świętokrzyska 14
- ◆ MDM - ul. Piękna 31
- ◆ ORPAN - Pałac Kultury i Nauki

### BIAŁYSTOK

- ◆ Dom Książki (Księgarnia 84) - ul. Dolistowska 3

BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
Politechniki Śląskiej

P.3361/02/44

Druk: Drukarnia Gliwice, ul. Zwycięstwa 27, tel. 230 49 50