

## KOMPUTEROWY SYSTEM SWM WSPOMAGAJĄCY MODELOWANIE ZORIENTOWANE NA SYMULACJĘ RUCHU

JERZY ŚWIDER, KRZYSZTOF HERBUŚ

*Institut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania,  
Politechnika Śląska  
e-mail: jerzy.swider@polsl.pl ,krzysztof.herbus@polsl.pl*

Streszczenie. Praca przedstawia system wspomagający modelowanie zorientowane na symulację ruchu (SWM) przekładni zębatych walcowych w formie aplikacji działającej w systemie klasy CAD/CAE OneSpaceDesigner firmy CoCreate. Utworzony system działa na podstawie metody polegającej na integracji procesu modelowania przestrzennej postaci konstrukcyjnej mechanizmu z procesem przygotowania zamodelowanej konstrukcji do przeprowadzenia symulacji ruchu w systemach klasy CAD/CAE.

### 1. WSTĘP

Cechą charakterystyczną każdego mechanizmu jest ruch. Opis geometrii ruchu bez uwzględnienia mas i sił stanowi przedmiot analizy kinematycznej. Analiza kinematyczna mechanizmu obejmuje analizę torów, prędkości i przyspieszeń poszczególnych punktów i członów całego mechanizmu. Do wymienionej analizy stosowane są: metody wykreślne, metody analityczne, metody macierzowe, metody komputerowego wspomaganie symulacji ruchu.

Wraz z rozwojem technik komputerowych pojawiły się programy do numerycznego wspomaganie analizy kinematycznej mechanizmów (np.: MATLAB Simulink), w których zastosowano metody analityczne i macierzowe. Równolegle w systemach klasy CAD zaczęto stosować moduły do symulacji ruchu mechanizmów. Obecnie istnieje wiele systemów klasy CAD, które umożliwiają przeprowadzenie analizy ruchu na podstawie przestrzennego modelu geometrycznego.

Do dynamicznie rozwijających się technik modelowania złożonych brył z zastosowaniem systemów CAD można zaliczyć tzw. „modelowanie obiektowe” lub „modelowanie z zastosowaniem obiektów elementarnych” (Feature Modelling) [2]. Modelowanie to polega na zastosowaniu obiektów zorientowanych graficznie (Feature Based Modelling). Obiekty te najczęściej definiowane są jako obiekty 3D o specyficznych (zorientowanych) cechach.

### 2. KOMPUTEROWE MODELOWANIE ŚRODKÓW TECHNICZNYCH

Klasyczny sposób modelowania na podstawie systemów CAD, ukierunkowany na przeprowadzenie symulacji ruchu, można przedstawić w następujących punktach [4, 5]:

- tworzenie geometrycznych obiektów składowych modelu,
- pozycjonowanie wszystkich obiektów w taki sposób, aby utworzyły żądany model,
- nadanie relacji powiązań pomiędzy współpracującymi obiektami,
- nadanie wartości zmiennym wpływających na ruch,
- przeprowadzenie symulacji.

Modelowanie na podstawie systemów CAD, z zastosowaniem metody obiektów elementarnych, można przedstawić w następujących punktach:

- wybór wstawianego obiektu elementarnego, uprzednio zapisanego w bazie obiektów elementarnych, oraz jego ewentualna modyfikacja,
- pozycjonowanie wszystkich obiektów w taki sposób, aby utworzyły żądany model,
- nadanie relacji powiązań pomiędzy współpracującymi obiektami,
- nadanie wartości zmiennym wpływających na ruch,
- przeprowadzenie symulacji.

Modelowanie na podstawie systemów CAD, z zastosowaniem funkcyjnych obiektów elementarnych, można przedstawić w następujących punktach:

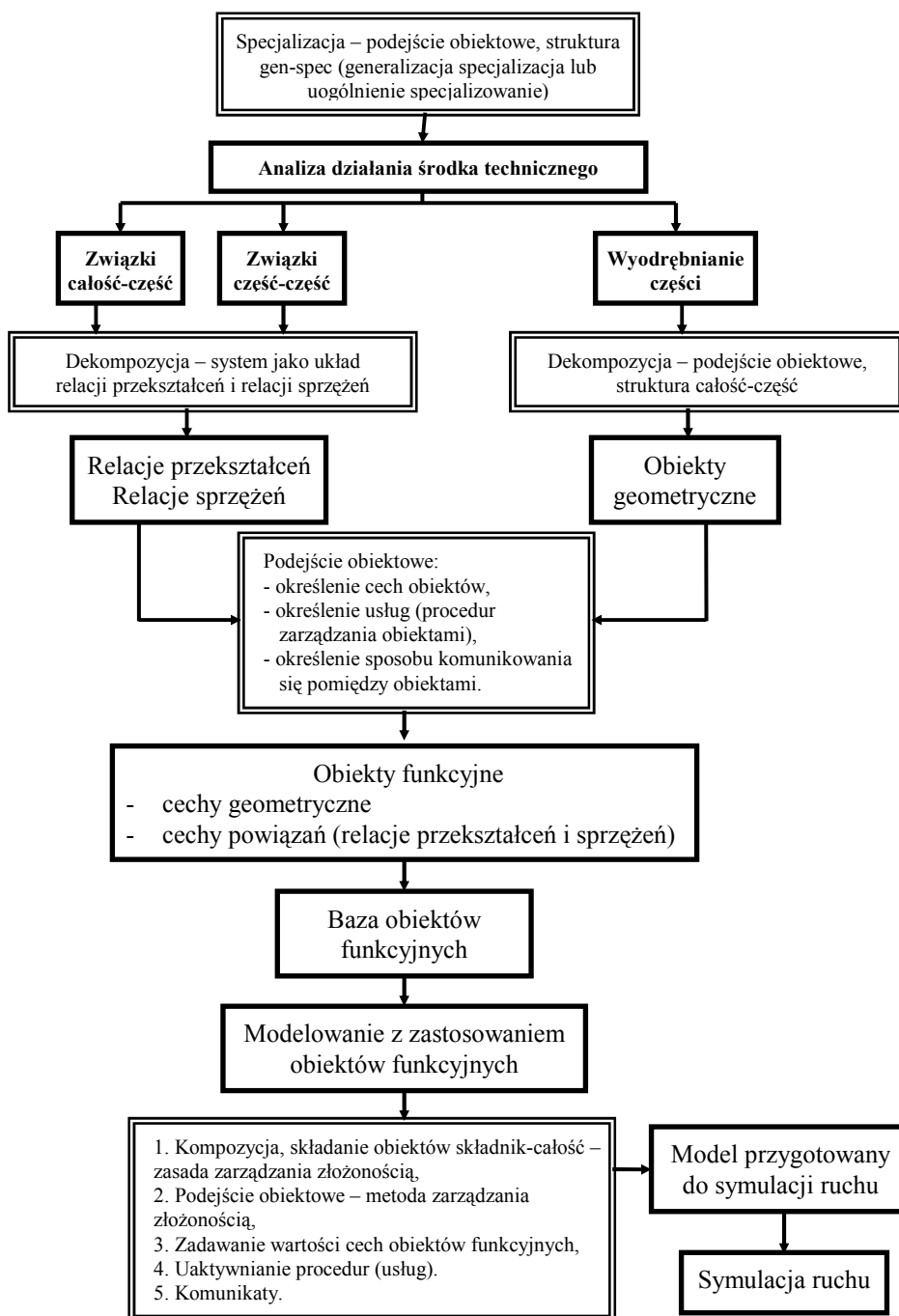
- wybór wstawianego funkcyjnego obiektu elementarnego, uprzednio zapisanego w bazie funkcyjnych obiektów elementarnych, oraz jego ewentualna modyfikacja,
- wybór parametrów opisujących ruch,
- nadanie wartości zmiennym wpływających na ruch,
- przeprowadzenie symulacji.

Modelowanie na podstawie funkcyjnych obiektów elementarnych polega na składaniu modelu z wybranych obiektów z uprzednio utworzonej bazy funkcyjnych obiektów elementarnych. Obiekty zapisane w bazie zawierają zarówno cechy geometryczne jak i zbiór możliwych połączeń – relacji. Tworzenie modelu polega na składaniu go z tych obiektów, gdzie ich połączenie realizowane jest automatycznie na podstawie zbioru możliwych połączeń z innymi obiektami.

### 3. ALGORYTM WYODRĘBNIANIA FUNKCYJNYCH OBIEKTÓW ELEMENTARNYCH

Prezentowana koncepcja metody oparta jest na modelowaniu z zastosowaniem funkcyjnych obiektów elementarnych. Obiekty te zawierają w sobie zarówno cechy geometryczne jak i cechy powiązań z innymi obiektami (relacje sprzężeń i przekształceń) [4, 5]. W celu zapewnienia możliwości korzystania z tak określonych obiektów proponuje się w tej pracy ich definiowanie na podstawie algorytmu przedstawionego na rys. 1. Pierwszym krokiem w prezentowanym algorytmie jest zawężenie grupy rozważanych środków technicznych, w celu analizy ich działania. Kolejnym etapem algorytmu jest analiza działania środka technicznego, która odbywa się w celu wyodrębnienia związków typu całość – część oraz część – część, i samych części, a ściślej mówiąc ich postaci geometrycznej. W celu wyodrębnienia opisanych związków proponuje się zastosowanie metody opartej na systemie, jako układu relacji przekształceń i relacji sprzężeń [3]. Natomiast w celu wyróżnienia elementów składowych analizowanej grupy maszyn proponuje się zastosowanie podejścia obiektowego, a w szczególności strukturę całości – część [1]. Po zastosowaniu zaproponowanych metod do analizy działania środków technicznych otrzyma się związki pomiędzy częściami maszyn jako relacje przekształceń i relacje sprzężeń oraz obiekty geometryczne, z którymi związane są te relacje. Następnym krokiem algorytmu jest próba potraktowania wyników dekompozycji jako cech, a nie jako obiektów, oraz powiązania tych cech w formie jednego nowego obiektu. W celu realizacji tak określonego zadania proponuje się zastosowanie podejścia obiektowego. Metoda ta pozwala na zapisanie nowego obiektu

elementarnego, nazwanego funkcyjnym. Obiekt funkcyjny zawiera w sobie zapis cech geometrycznych, jak i cech powiązań, jakim mogą one podlegać.



Rys. 1. Schemat algorytmu wspomaganie modelowania ukierunkowanego na symulację ruchu

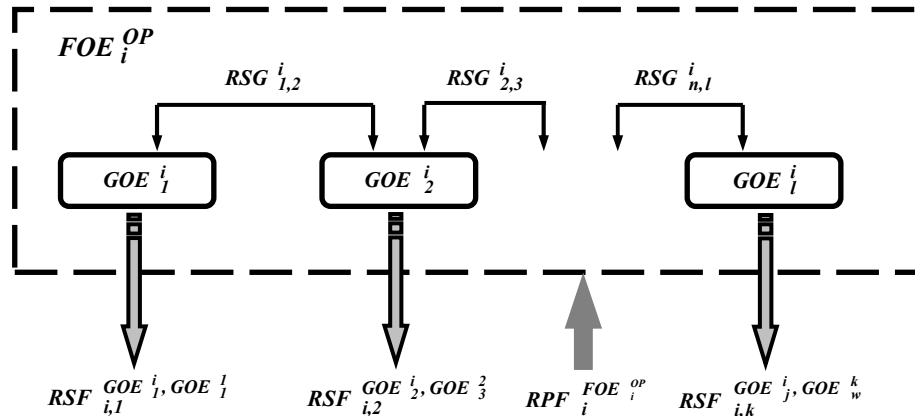
#### 4. OPIS FUNKCYJNEGO OBIEKTU ELEMENTARNEGO

Złożoność i postać funkcyjnego obiektu elementarnego zależą od rozpatrywanej dziedziny problemu. W obrębie funkcyjnego obiektu elementarnego (rys. 2) można wyróżnić:

- geometryczne obiekty elementarne – GOE,

- relacje sprzężeń pomiędzy geometrycznymi obiektami elementarnymi – RSG,
- możliwe relacje sprzężeń z innymi funkcyjnymi obiektami elementarnymi – RSF,
- relację przekształcenia związaną z danym funkcyjnym obiektem elementarnym – RPF.

Przyjęto następującą zasadę definiowania funkcyjnych i geometrycznych obiektów elementarnych: funkcyjne obiekty elementarne wydzielane są ze względu na funkcję, jaką pełnią w obrębie obiektu podstawowego, natomiast geometryczne obiekty elementarne wyodrębniane są ze względu na zapewnienie współpracy danemu funkcyjnemu obiektowi elementarnemu z drugim tak, aby mógł on realizować założoną funkcję w obrębie obiektu podstawowego.



Rys. 2. Schemat opisu funkcyjnego obiektu elementarnego

Definicję funkcyjnego obiektu elementarnego, jako zbioru GOE, RSG, RSF i RPF, przedstawia zależność 1.

$$FOE_i^{OP} = \left\{ \begin{array}{l} (GOE^i_1, GOE^i_2, \dots, GOE^i_l); \\ (RSG^i_{1,2}, RSG^i_{2,3}, \dots, RSG^i_{n,l}); \\ (RSF^{GOE^i_1, GOE^i_1}_{i,1}, RSF^{GOE^i_2, GOE^i_2}_{i,2}, \dots, RSF^{GOE^i_j, GOE^k_w}_{i,k}); \\ RPF^{FOE_i^{OP}}_i \end{array} \right\} \quad (1)$$

gdzie:

$FOE_i^{OP}$  – funkcyjny obiekt elementarny  $i$  wchodzący w skład obiektu podstawowego  $OP$ ,

$GOE^i_l$  – geometryczny obiekt elementarny  $l$  wchodzący w skład funkcyjnego obiektu elementarnego  $i$ ,

$RSG^i_{n,l}$  – relacja sprzężenia pomiędzy geometrycznymi obiektami elementarnymi  $n$  i  $l$ , wchodzącymi w skład funkcyjnego obiektu elementarnego  $i$ ,

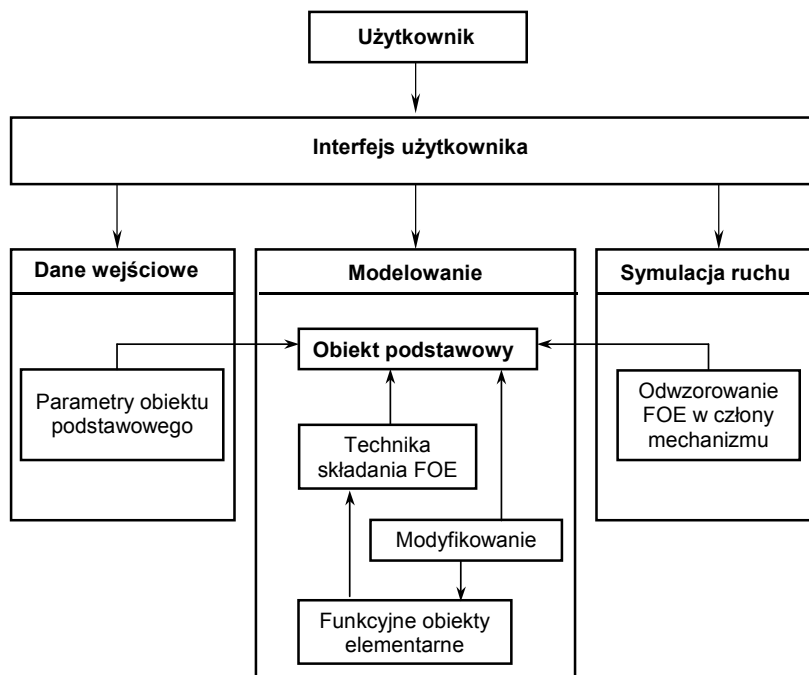
$RSF^{GOE^i_j, GOE^k_w}_{i,k}$  – relacja sprzężenia pomiędzy funkcyjnymi obiektami elementarnymi  $i$  oraz  $k$ , w odniesieniu do geometrycznych obiektów elementarnych  $GOE^i_j$  oraz  $GOE^k_w$ ,

$RPF^{FOE_i^{OP}}_i$  – relacja przekształcenia związana z funkcyjnym obiektem elementarnym  $i$ ,

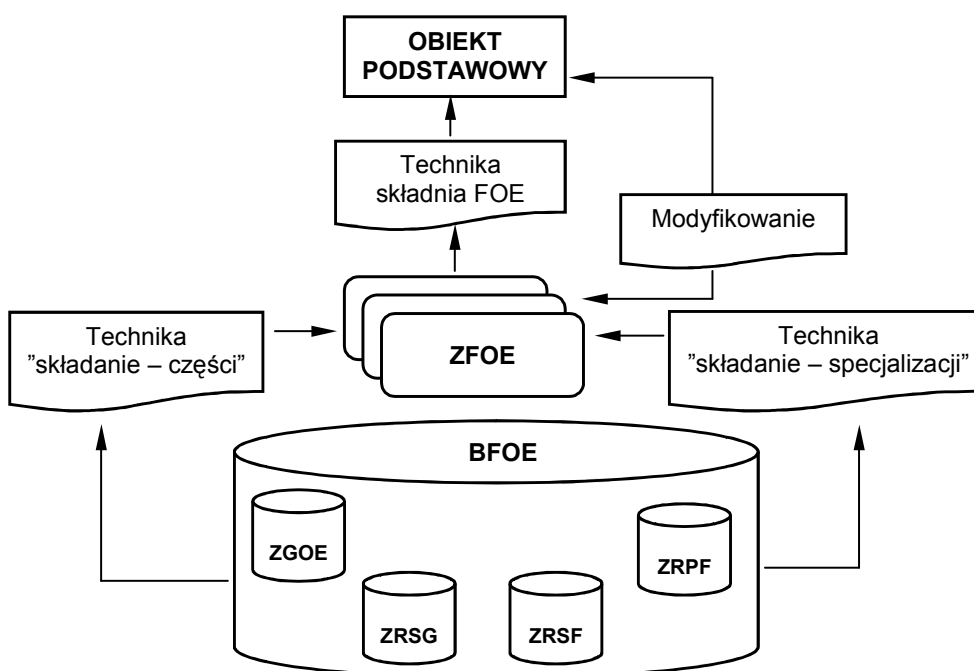
$i, j, k, l, m, n, w = 1, 2, \dots, p; p \in \mathbb{N}$ .

5. STRUKTURA I OPIS SYSTEMU WSPOMAGAJĄCEGO MODELOWANIE ZORIENTOWANE NA SYMULACJĘ RUCHU

Na podstawie funkcyjnych i geometrycznych obiektów elementarnych wyodrębnionych na podstawie opracowanego algorytmu oraz technik składania wymienionych obiektów elementarnych utworzono system wspomagania modelowania zorientowanego na symulację ruchu.



Rys. 3. Struktura systemu wspomagającego modelowanie zorientowane na analizę ruchu

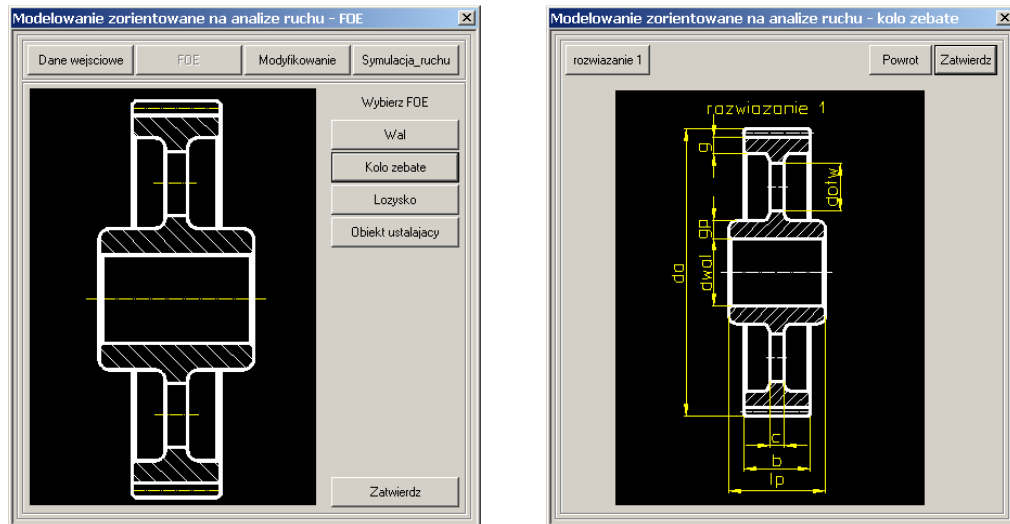


Rys. 4. Struktura modułu SWM\_M

Na rys. 3 przedstawiono strukturę utworzonego systemu wspomagającego modelowanie zorientowane na symulację ruchu (SWM). System SWM składa się z trzech modułów, a mianowicie:

- moduł dane wejściowe (SWM\_DW)
- moduł modelowanie (SWM\_M)
- moduł symulacja ruchu (SWM\_SR)

Na rys. 4 przedstawiono strukturę modułu SWM\_M. Na podstawie przedstawionych powiązań pomiędzy poszczególnymi obszarami struktury realizowane jest zadanie modelowania obiektu podstawowego (przekładni zębatej walcowej).



Rys. 5. Okno modułu SWM\_M – wybór funkcyjnego obiektu elementarnego

**kolo zebate**

Istniejący Ob: zebate\_zk\_rw\_f

Nazwa: kolo\_zebate

kształt piasty: symetryczne

kształt zebow: zebny\_proste

modul m: 3

l\_zeb z: 63

Zalecenia:  
150 < da <= 500 [mm]

da = 195.0

kat\_zarysu: 20

zakres: 60

szer wienca: 60

d walu: 40

Wymiar t2: 3.3

Wymiar b: 12

Zalecenia:  
g = (6.0 - 9.0) >= 10  
c = (9.0 - 18.0) >= 10  
gp = (10.0 - 12.0)  
lp = (56.0 - 72.0) >= 60.0

gr wienca g: 10

gr tarczy c: 15

gr piasty gp: 12

dlug piasty: 70

Zalecenia:  
dotw = (34 - 39)

wartosc dotw: 34

**uksztaltowanie\_piasty**

uksztaltowanie\_piasty

symetryczne

niesymetryczne\_lewe

Apply Close ?

**Wartosci modulu**

Modul m	Szereg
1.0	1
1.125	2
1.25	1
1.375	2
1.5	1
1.75	2
2.0	1
2.25	2
2.5	1
2.75	2
3.0	1
3.5	2
4.0	1
4.5	2
5.0	1
5.5	2
6.0	1
7.0	2
8.0	1
9.0	2
10.0	1
11.0	2
12.0	1
14.0	2
16.0	1
18.0	2
20.0	1
22.0	2

Apply Close ?

**Wymiary rowkow na wpusty wg PN-70/M-85005**

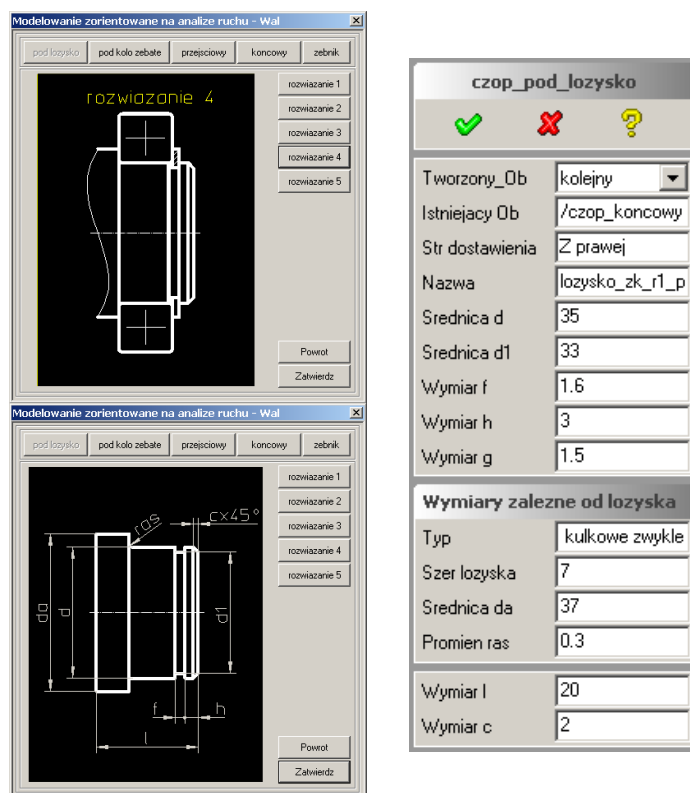
Srednica D	Wpust b x h	Szerok row b	Glebok row t2
6 - 8	2 x 2	2	1.0
8 - 10	3 x 3	3	1.3999999999999999
10 - 12	4 x 4	4	1.8
12 - 17	5 x 5	5	2.2999999999999999
17 - 22	6 x 6	6	2.7999999999999999
22 - 30	8 x 7	8	3.2999999999999999
30 - 38	10 x 8	10	3.2999999999999999
38 - 44	12 x 8	12	3.2999999999999999
44 - 50	14 x 9	14	3.7999999999999999
50 - 58	16 x 10	16	4.2999999999999999
58 - 65	18 x 11	18	4.4000000000000000
65 - 75	20 x 12	20	4.9000000000000000
75 - 85	22 x 14	22	5.4000000000000000
85 - 95	25 x 14	25	5.4000000000000000
95 - 110	28 x 16	28	6.4000000000000000
110 - 130	32 x 18	32	7.4000000000000000
130 - 150	36 x 20	36	8.4000000000000000
150 - 170	40 x 22	40	9.4000000000000000
170 - 200	45 x 25	45	10.4
200 - 230	50 x 28	50	11.4
230 - 260	56 x 32	56	12.4
260 - 290	63 x 32	63	12.4
290 - 330	70 x 36	70	14.4
330 - 380	80 x 40	80	15.4
380 - 440	90 x 45	90	17.3999999999999999
440 - 500	100 x 50	100	19.5

Apply Close ?

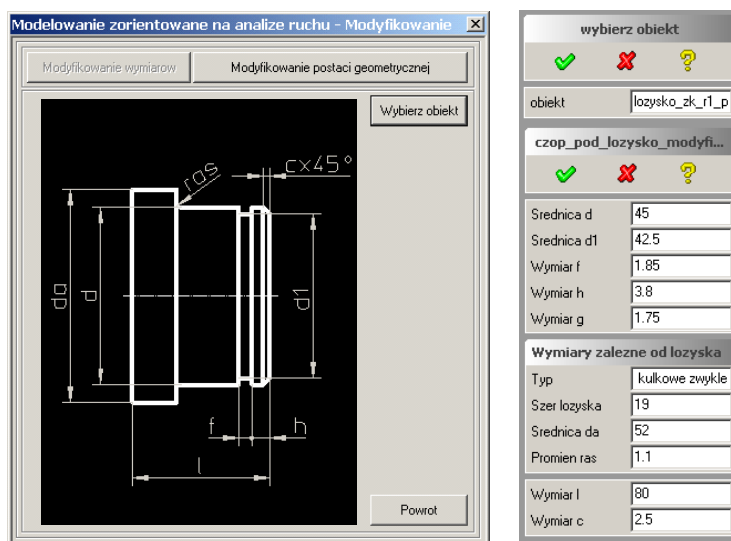
Rys. 6. Przykład okna dialogowego do tworzenia FOE<sub>kolo\_zebate</sub>

Moduł SWM\_M pozwala na:

- wybór funkcyjnych obiektów elementarnych na podstawie utworzonej bazy FOE (rys. 5),
- wybór geometrycznych obiektów elementarnych na podstawie rozwiązania projektowego w zakresie modelowania (rys. 7),
- modyfikowanie układu wymiarów GOE (rys. 8) oraz ich postaci geometrycznej (zaokrąglenia, ścięcia),
- automatyczny dobór wartości wielkości znormalizowanych (np: wymiary rowków wpustowych) (rys. 6).



Rys. 7. Okno modułu SWM\_M – wybór geometrycznego obiektu elementarnego



Rys. 8. Okno modułu SWM\_M – modyfikowanie wymiarów

Moduł SWM\_SR pozwala na:

- tworzenie modelu do symulacji ruchu z zastosowaniem techniki odwzorowania funkcyjnych obiektów elementarnych w ogniwa mechanizmu,
- powrót do modelowania w celu wykonania niezbędnych poprawek w modelu mechanizmu (np. układu wymiarów obiektów ze względu na występowanie kolizji),
- wizualizację symulacji ruchana podstawie procedur animacji dostępnych w programie OneSpaceDesigner.

Przedstawiony komputerowy system wspomagający modelowanie zorientowane na symulację ruchu zawiera opis funkcyjnych obiektów elementarnych w formie klas obiektów. W wyniku odpowiedniego doboru geometrycznych obiektów elementarnych, w odniesieniu do danego rozwiązania projektowego w zakresie modelowania uzyskuje się egzemplarze funkcyjnych obiektów elementarnych. System SWM ma charakter „ramowy”, ponieważ utworzone klasy FOE nie zmieniają się po rozszerzeniu zbioru GOE, lecz powiększają się o nowe egzemplarze.

## 6. WNIOSKI

Zorientowanie modelowania maszyn na daną dziedzinę problemu przyspiesza zapis ich postaci geometrycznej, jak również usprawnia proces analizy utworzonego modelu w założonym zakresie.

Utworzony system nie automatyzuje prac projektowych związanych z modelowaniem, oprócz doboru wielkości znormalizowanych, lecz je wspomaga.

Komputerowe modelowanie ukierunkowane na symulację ruchu może być wspomagane poprzez zastosowanie funkcyjnych obiektów elementarnych.

## LITERATURA

1. Coad P., Yourdon E.: Analiza obiektowa. READ ME, Warszawa, Polska, 1994
2. Chlebus E.: Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji. Warszawa: WNT, 2000.
3. Dietrych J.: System i konstrukcja. Warszawa: WNT, 1978.
4. Herbuś K.: Realizacja wybranych funkcji mechanizmów za pomocą obiektów elementarnych. Praca doktorska. Politechnika Śląska, Gliwice 2006.
5. Świder J., Herbuś K.: Zastosowanie funkcyjnych obiektów elementarnych do wspomaganie modelowania maszyn zorientowanego na analizę ruchu. Monografia. Gliwice: Wyd. Pol. Śl. 2006. .

## **SWM COMPUTER PROGRAM AIDING THE MODELLING PROCESS ORIENTED ON MOTION ANALYSIS**

Summary. The work presents the SWM system aiding the modelling process oriented on motion analysis of gear transmission. The system is an application working in the OneSpaceDesigner system of CoCreate firm belonging to the CAD/CAE class of systems. Created system works basing on the method of integration the modeling process of the three dimensional constructional form of a mechanism with the process of preparation the modeled construction for motion simulation in CAD/CAE systems.