

Metoda innowacyjnego modelowania tarcz rozdrabniaczy wielotarczowych z zastosowaniem systemów MCAD mid-range *UGS Solid Edge V15* oraz high-end *UGS Unigraphics NX2*

Wstęp

Rozdrabniacze wielotarczowe stanowią istotny element procesu recyklingu tworzyw sztucznych, ponieważ proces rozdrabniania przeprowadzony z ich zastosowaniem cechuje się względnie niewielkim udziałem frakcji pylistych w produkcie końcowym. Fakt ten jest niezwykle istotny, ponieważ frakcje pyliste (miały) są nieekonomiczne lub mało użyteczne do wytłaczania tworzyw.

Uwzględniając wciąż zwiększające się wymagania Unii Europejskiej, dotyczące procentowego udziału materiałów wtórnych w przetwórstwie tworzyw sztucznych, prowadzi się szereg prac naukowo-badawczych, mających na celu poszukiwanie optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych rozdrabniaczy wielotarczowych.

Jednym z kluczowych ośrodków naukowych w Polsce, zajmujących się tą tematyką jest Katedra Maszyn Spożywczych i Ochrony Środowiska na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy, prowadzona przez Prof. dr hab. inż. Józefa Flizikowskiego.

Koło Naukowe Solid Edge (KNSE), również znajdujące się na Wydziale Mechanicznym ATR, zaangażowało się w prace Katedry Prof. Flizikowskiego, celem zastosowania, używanych w Kole najnowocześniejszych obecnie systemów MCAD na świecie: *UGS Solid Edge V15* i *UGS Unigraphics NX2*, w profesjonalnych badaniach naukowych.

Potrzeba stosowania algorytmów genetycznych

W celu jak najszybszego pojawienia się nowoczesnych rozdrabniaczy na rynku, dąży się do tego, aby proces projektowo-konstrukcyjny trwał możliwie krótko [1,2,7]. Spowodowane jest to przede wszystkim zamiarem obniżenia cen wytwarzania urządzeń, a także stale rosnącą liczbą innowacji wprowadzanych w ich konstrukcji.

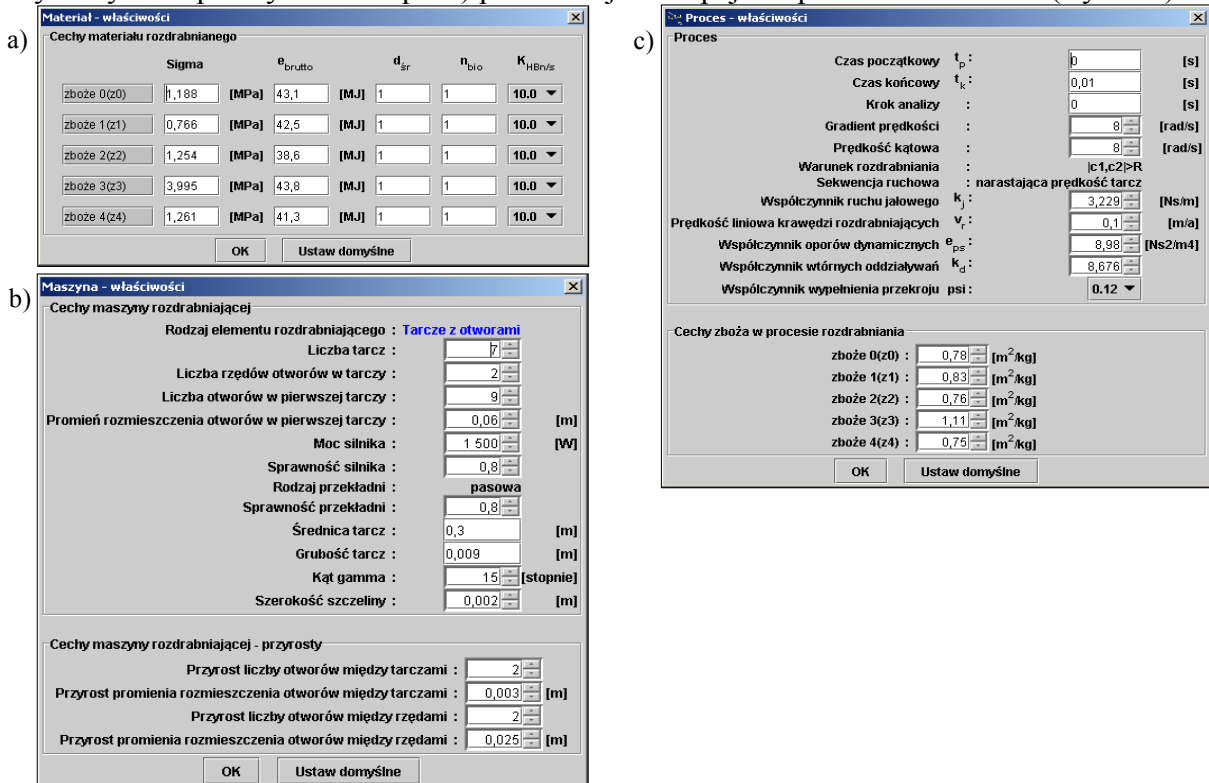
Elementami roboczymi rozdrabniacza wielotarczowego są krawędzie otworów w tarczach, którym ze względu na wydajność i sprawność procesu rozdrabniania poświęca się szczególną uwagę. Koniecznością jest stosowanie przez projektanta i konstruktora m.in. inteligentnych systemów wspomagania innowacji i konstrukcji, w tym zaawansowanych programów wspomagania prac inżynierskich MCAD.

Ideą idealną byłoby, gdyby każde urządzenie funkcjonowało w konfiguracji optymalnej, tzn. pobierana przez nie energia dążyła do zera, natomiast sprawność wykonywanego przez nie procesu - do jedności. Optymalizacja wartości wybranych parametrów tarcz rozdrabniacza jest procesem złożonym, nawet z zastosowaniem narzędzi komputerowych. Klasyczne obliczenia ulegają dalszemu skomplikowaniu, jeżeli wymaga się, aby optymalizowano wiele, coraz nowszych wariantów urządzenia, jedną metodą numeryczną.

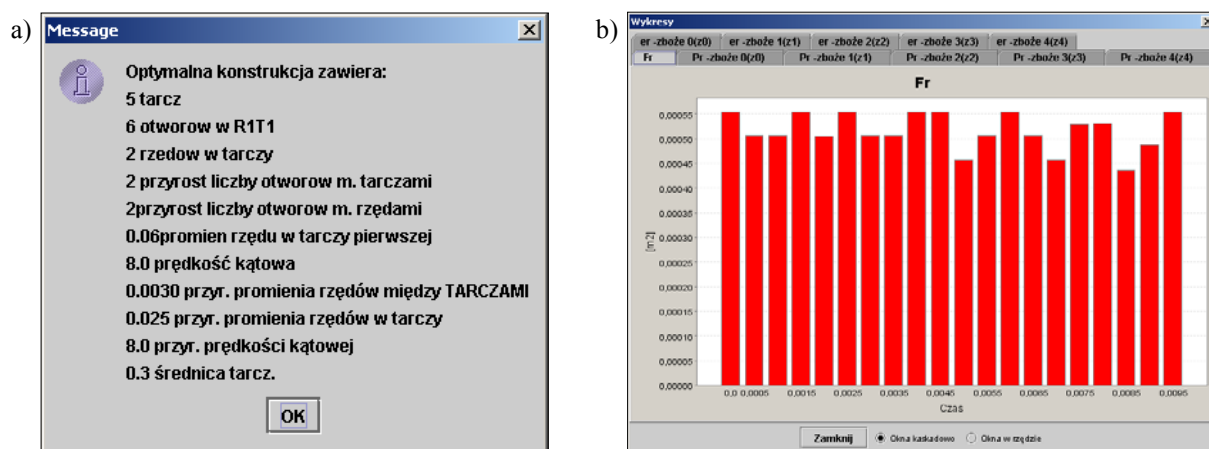
Jedynie zastosowanie algorytmów genetycznych [2,3,4,5] umożliwia stworzenie uniwersalnej aplikacji komputerowej, służącej do optymalizacji dowolnej liczby wariantów rozdrabniacza wielotarczowego. Otrzymując - w formie informacyjnego wyjścia z programu optymalizującego - wartości wybranych cech konstrukcyjnych tarcz rozdrabniacza, można natychmiast i automatycznie stworzyć asocjatywne modele przestrzenne tych elementów w postaci geometrycznie idealnej ze względu na wydajność i sprawność procesu rozdrabniania.

Sposób uzyskania zoptymalizowanych wartości wybranych parametrów konstrukcyjnych tarcz rozdrabniacza

Wykorzystano program **IE_TEST-07_BIO** [8], do którego kodu zaimplementowano algorytmy genetyczne. Wybrane okna dialogowe programu przedstawiono na Rys. 1. Do programu wprowadza się wartości wybranych parametrów procesu rozdrabniania, z których najważniejszymi są: cechy geometryczne i materiałowe rozdrabnianego materiału (Rys. 1.a), rodzaj, moc i sprawność napędu urządzenia oraz liczba i wymiary tarcz rozdrabniacza w jego zaproponowanej koncepcji pierwotnej (Rys. 1.b). Poza tym, użytkownik proponuje wartości parametrów kinematycznych (np. wartość prędkości kątowej) i dynamicznych (wartości wybranych współczynników oporu) pierwotnej koncepcji zespołu rozdrabniacza (Rys. 1.c).



Rys. 1. Wybrane okna dialogowe programu IE_TEST-07_BIO, podczas wprowadzania wartości wybranych parametrów procesu rozdrabniania: a) cechy rozdrabnianego materiału, b) cechy geometryczne tarcz oraz cechy siłowe źródła ich napędu, c) cechy kinematyczne i dynamiczne zespołu roboczego rozdrabniacza



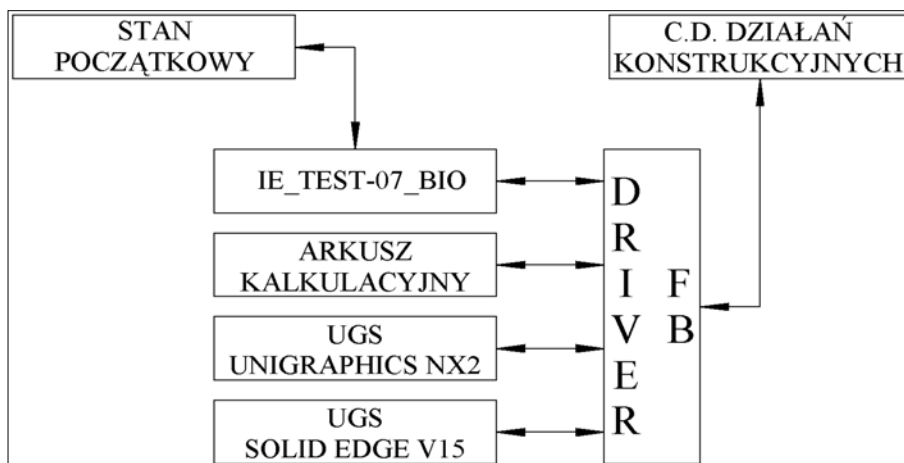
Rys. 2. Odpowiedzi programu, uzyskane dzięki zastosowaniu zaimplementowanych w jego kodzie algorytmów genetycznych: a) optymalne wartości wybranych parametrów konstrukcyjnych rozdrabniacza, b) wykres chwilowych wartości przekrojów rozdrabniania podczas procesu wykonywanego przez urządzenie w konfiguracji optymalnej

W chwili uruchomienia *solver'a* programu, rozpoczyna się tzw. skanowanie przestrzeni możliwych rozwiązań – typowy proces optymalizacji konstrukcji z zastosowaniem algorytmów genetycznych, wykorzystujących złożony model matematyczny. Tworzona jest bardzo duża liczba rozwiązań tj. elementów populacji, następnie w wyniku reprodukcji, krzyżowania i mutacji, następuje selekcja – wybór najlepszego rozwiązania (*optimum*) ze względu na sprawność i wydajność procesu rozdrabniania (również inne kryterium).

Odpowiedzią programu **IE_TEST-07_BIO** jest zoptymalizowany zbiór uprzednio wprowadzonych wartości parametrów konstrukcyjnych urządzenia (Rys. 2.a). Optymalizacja zbioru danych wsadowych ma na celu dokonanie minimalnej ilości zmian ich wartości, aby wydajność i sprawność procesu rozdrabniania, zależne od sposobu funkcjonowania urządzenia, były maksymalnie zbliżone do ideału. Poza tym, informacyjnym wyjściem z programu jest szereg wykresów, na których przedstawiono wartości parametrów pracy urządzenia w konfiguracji optymalnej, m.in. chwilowe wartości przekrojów rozdrabniania (Rys. 2.b) oraz sił działających na elementy robocze rozdrabniacza w funkcji czasu trwania procesu.

Name	Formula	Value	Formula Full
D_wew		40	=JEZELI((D_zad<(2*_r2)+20));30;JEZELI((D_zad<(2*_r3)+20));35;40))
D_zad		300	300=300
D_zew		300	300=JEZELI((D_zad>=300);300;JEZELI((D_zad<=130);130;D_zad))
H		5	5=5
d1		10	10=10
d2		10	10=10
d3		10	10=10
p8		0	0=0
p16		0	0=p8
p24		0	0=p8
p26		1	1=JEZELI((D_zew>(2*_r1)+20));1;0)
p27		1	1=JEZELI((D_zad>(2*_r2)+20));1;0)
p28		1	1=JEZELI((D_zad>(2*_r3)+20));1;0)
p38		12	12=360/_q3
p39		125	125=125
p40		1	1=JEZELI((D_zew>=(2*_r3)+20));1;0)
p50		18	18=360/_q2
p51		87,5	87,5=87,5
p52		1	1=JEZELI((D_zad>(2*_r2)+20));1;0)
p54		36	36=360/_q1
p55		50	50=50
p56		1	1=JEZELI((D_zew>(2*_r1)+20));1;0)
p63		0	0=0
p64		1	1=1
q1		10	10=JEZELI((D_zad>(2*_r3)+20));10;JEZELI((D_zad>(2*_r2)+20));13;JEZELI((D_zew>(2*_r1)+20));15;20))
q2		20	20=JEZELI((D_zad>(2*_r3)+20));20;JEZELI((D_zew>(2*_r2)+20));30;40))
q3		30	30=30
r1		50	50=JEZELI((D_zew<140);40;JEZELI((D_zew<271);70;50))
r2		87,5	87,5=JEZELI((D_zew<271);110;87,5)
r3		125	125=125

Rys. 3. Odpowiedzi programu optymalizującego IE_TEST-07_BIO zestawione w odpowiednich komórkach arkusza kalkulacyjnego



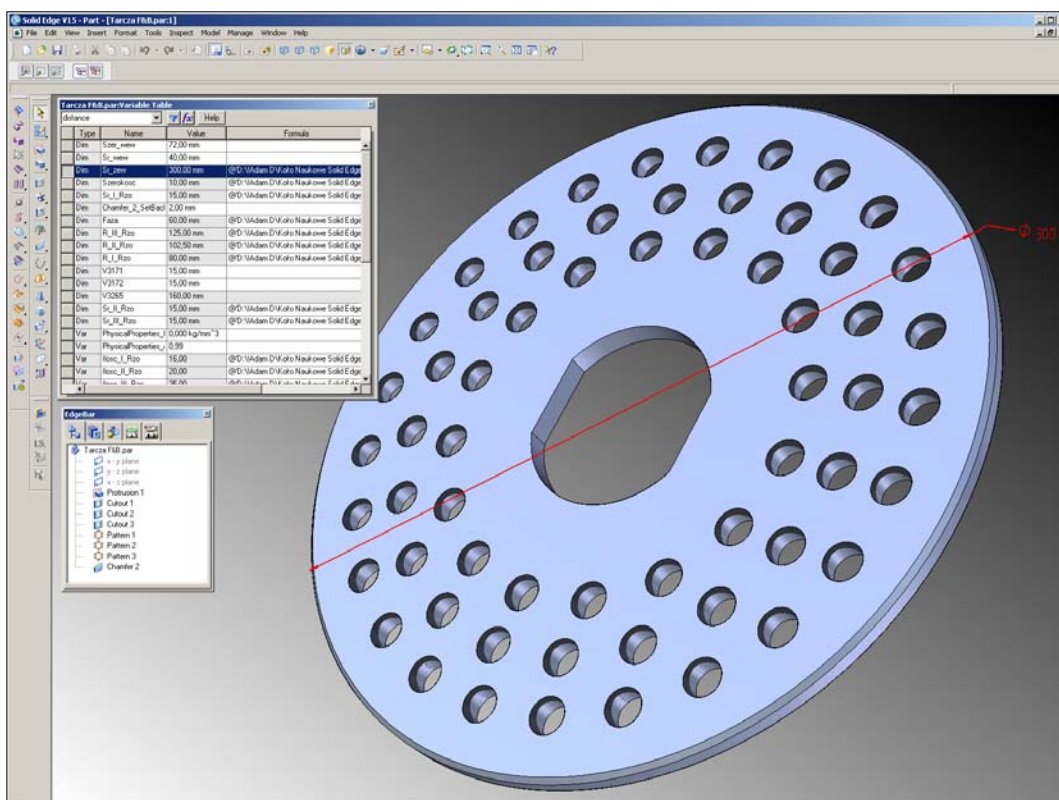
Rys. 4. Sposób wymiany informacji pomiędzy zastosowanymi narzędziami numerycznymi podczas modelowania przestrzennego zoptymalizowanych tarcz rozdrabniacza

Zoptymalizowane wartości wybranych parametrów konstrukcyjnych tarcz rozdrabniacza zostają wysłane do odpowiednich komórek arkusza kalkulacyjnego (Rys. 3), skąd eksportowane są do tablic zmiennych dwóch środowisk MCAD: UGS Solid Edge V15 oraz UGS Unigraphics NX2. Nad poprawnością transportu danych czuwa osobna aplikacja, której funkcjonowanie polega m.in. na wyeliminowaniu możliwości wprowadzenia do tablic zmiennych systemów MCAD danych sprzecznych ze sobą. Zastosowany algorytm przepływu informacji przedstawiono na Rys. 4.

Modelowanie zoptymalizowanej tarczy w systemie MCAD mid-range UGS Solid Edge V15

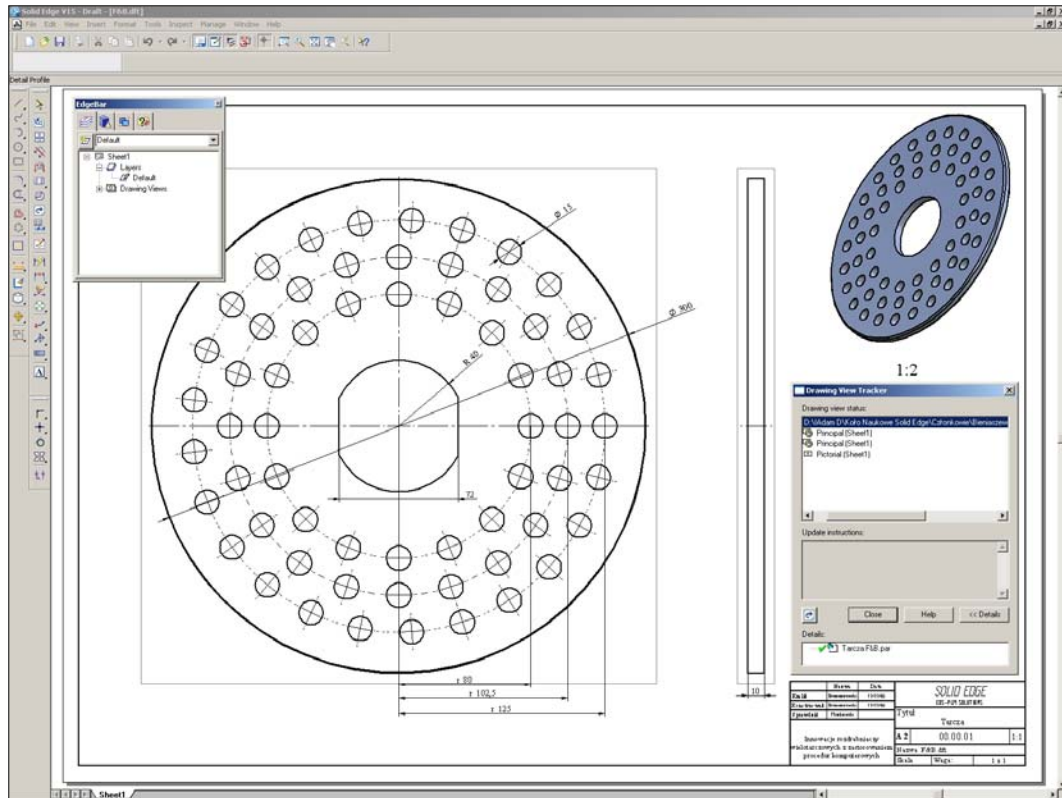
Przestrzenny asocjatywny model numeryczny idealnej geometrycznie, ze względu na wydajność i sprawność procesu rozdrabniania tarczy, wykonano w UGS Solid Edge V15 w module **Part**. Zamodelowano prostą tarczę z losowo wybraną ilością otworów w równie dowolnej liczbie rzędów. Zwrócono uwagę, aby nanieść wszystkie możliwe wymiary dotyczące średnicy tarczy, jej grubości, średnic otworów w poszczególnych rzędach, a także średnic podziałowych rzędów. Wobec powyższego, wartości niezbędnych wymiarów, a także parametrów (liczba otworów w danym rzędzie), znalazły się w tablicy zmiennych (**Variable Table**) modelowanej części. Odpowiednie wartości wymiarów i parametrów powiązano z odpowiadającymi im komórkami arkusza kalkulacyjnego, dzięki czemu model 3D tarczy natychmiast stał się geometrycznie idealny ze względu na funkcję celu uwzględnioną podczas obliczeń z zastosowaniem algorytmów genetycznych (Rys. 5). Najważniejszy jest jednak fakt, że efekty kolejnych optymalizacji modelu, np. w wyniku zmiany danych wsadowych lub zmiany funkcji celu, automatycznie spowodują aktualizację geometrii modelu tarczy.

Po umieszczeniu w złożeniu (moduł **Assembly**) zamodelowanej w ten sposób optymalnej tarczy rozdrabniacza lub ich dowolnej liczby, ponowne zoptymalizowanie modeli spowoduje również automatyczne zaktualizowanie cech geometrycznych całego złożenia.



Rys. 5. Aktualizujący się automatycznie model zoptymalizowanej tarczy rozdrabniacza, wykonany w module Part systemu MCAD UGS Solid Edge V15

Oczywistą kwestią jest również automatyczne aktualizowanie dokumentacji płaskiej inteligentnych modeli tarczy rozdrabniacza, wykonanej w module **Draft**. Ważne jest jednak to, że z pewnych względów użytkownik może pozostawić pewne rysunki *out-of-date*, w czym pomocne jest narzędzie **Drawing View Tracker**. Na Rys. 6 przedstawiono fragment dokumentacji 2D modelu tarczy, podczas definiowania rysunków (widoków, przekrojów lub kładów), które celowo nie zostaną poddane aktualizacji. Według potrzeb użytkownika, dostosowanie rysunków 2D do zmian zachodzących w geometrii 3D, można przeprowadzić manualnie w dowolnym czasie.



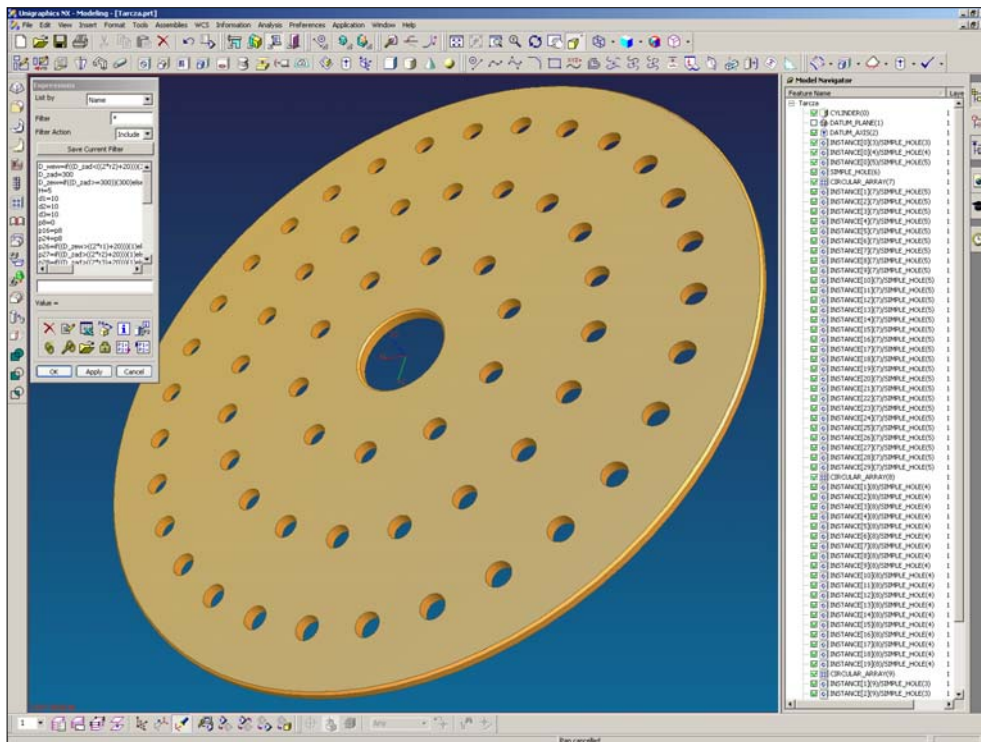
Rys. 6. Fragment dokumentacji 2D zoptymalizowanego modelu tarczy rozdrabniacza, gdzie użytkownik może celowo wybrać rysunki, które nie zostaną zaktualizowane w wyniku ewentualnych zmian geometrii modelu 3D, wynikających z kolejnej iteracji obliczeń numerycznych

Metoda modelowania wybranego elementu w systemie MCAD high-end UGS Unigraphics NX2

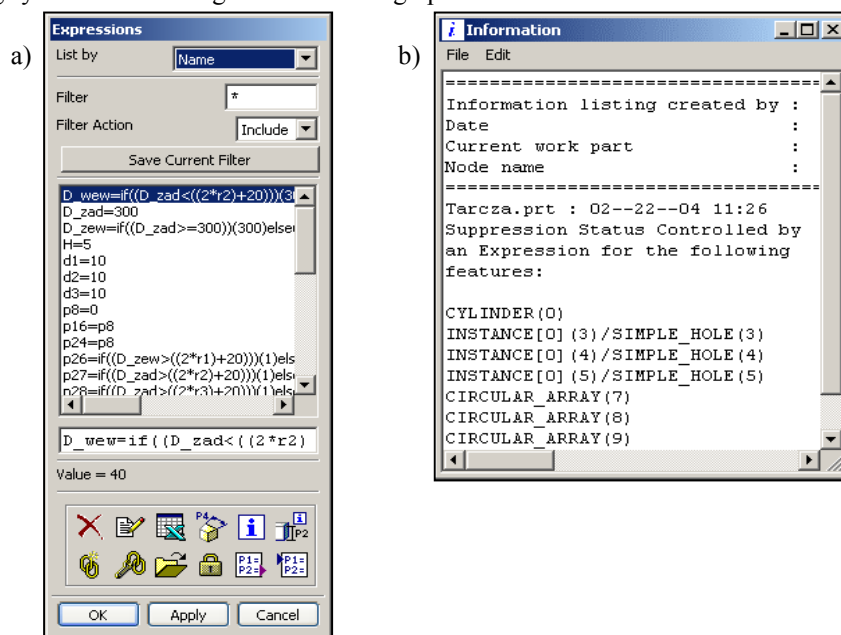
Proces modelowania elementu roboczego urządzenia przeprowadzono w module **Modeling**. Bazą dla modelu był prymityw geometryczny w postaci cylindra. Następnie przeprowadzono względnie dowolne operacje modyfikacji kształtu cylindra w celu otrzymania geometrii tarczy (Rys. 7). Uwagę zwraca okno dialogowe **Model Navigator**, w którym zawarte są poszczególne etapy powstawania tworzonego elementu.

Kolejnym etapem prowadzonych prac było sprzęgnięcie logiczne wartości wybranych cech obiektu z odpowiedziami programu IE_TEST-07_BIO. Dokonano tego przy użyciu polecenia **Expressions**, którego interface użytkownika przedstawiono na Rys. 8.a.

Dzięki narzędziu Expressions przypisano odpowiednie formuły logiczne dla wartości poszczególnych parametrów operacji zawartych w tabeli zmiennych, m.in. dokonano uzależnienia wybranych parametrów obiektu względem siebie. Wykluczyło to możliwość zaistnienia nieracjonalnych zdarzeń, np. faktu gdy średnica otworu wewnętrznego jest większa lub równa wartości średnicy zewnętrznej tarczy. Zawężono również przedział zmienności wartości średnicy zewnętrznej modelowanej tarczy, zarówno średnicy minimalnej jak i maksymalnej, co podyktowane zostało przede wszystkim względami technologicznymi.

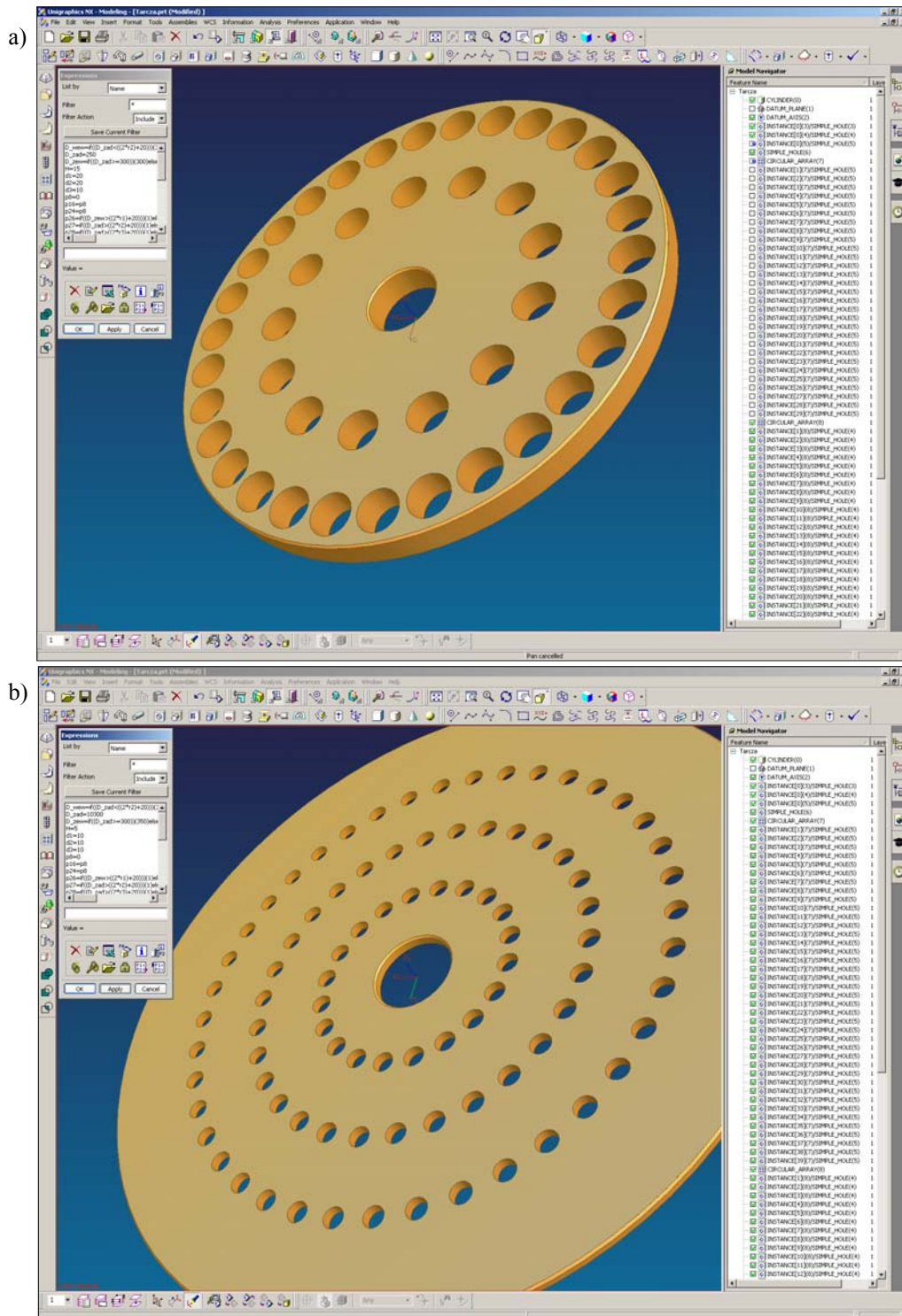


Rys. 7. Model 3D zoptymalizowanej geometrycznie tarczy rozdrabniacza wielotarczowego, wykonany w module Modeling systemu MCAD high-end UGS Unigraphics NX2



Rys. 8. Warunkowe sterowanie pojawianiem się lub zawieszaniem wybranych operacji modelowania wspomagane jest przez: a) narzędzie Expressions, b) komunikaty tekstowe

W przypadku systemu NX2 w bardzo łatwy (jak przystało na ultranowoczesny system high-end) sposób można dowolnie edytować wartości parametrów cech, jak również logicznie uzależnić sam fakt ich wystąpienia podczas modelowania części. W celu uzależnienia pojawiania się lub automatycznego zawieszania odpowiednich operacji modelowania 3D w funkcji wybranych zdarzeń logicznych, wykorzystano bardzo wygodne narzędzie *Suppress by Expression*.



Rys. 9. Kolejne warianty modelu tarczy rozdrabniacza, zoptymalizowane względem różnych koncepcji pierwotnych lub różnych funkcji celu; a) rozdrabnianie wstępne (grube), b) rozdrabnianie precyzyjne (drobne)

Zarządzane w ten sposób operacje automatycznie zostały przeniesione do specjalnego zbioru *Suppression Status Controlled by an Expression*, o czym świadczy odpowiedni komunikat tekstowy (Rys. 8.b). W ten sposób sterowano liczbą rzędów otworów w zoptymalizowanym modelu tarczy rozdrabniacza.

Zamodelowana w ten sposób tarcza rozdrabniacza również dostosowuje automatycznie swą geometrię do kolejnych serii odpowiedzi programu optymalizującego

z zastosowaniem algorytmów genetycznych. Założywszy, że wynikiem pierwszej z serii optymalizacji był model przedstawiony na Rys. 7, następne warianty modelu tarczy, zoptymalizowane względem różnych koncepcji pierwotnych lub różnych funkcji celu przedstawiono na Rys. 9.

Wnioski

Dzięki łatwości pracy w dwóch ultranowoczesnych środowiskach MCAD: mid-range UGS Solid Edge V15 i high-end UGS Unigraphics NX2, stworzono uniwersalną metodę uzyskania optymalnego geometrycznie modelu 3D elementu roboczego rozdrabniacza.

W wydajny sposób połączono wyjście informacyjne ze złożonej aplikacji obliczeniowej - w której kodzie zaimplementowano algorytmy genetyczne, oparte na złożonym modelu matematycznym – z wejściem informacji do systemów MCAD, jakim mogą być tablice zmiennych.

Dzięki innowacyjnej metodzie modelowania tarcz rozdrabniaczy wielotarczowych, zaktualizowanie modelu 3D - do ewentualnych kolejnych wyników złożonych obliczeń numerycznych z zastosowaniem algorytmów genetycznych - nie wymaga żadnych ingerencji ze strony konstruktora, choć może przez niego zostać celowo zamrożone, a następnie przywołane w dowolnym momencie.

Następnym etapem prowadzonych prac badawczych będzie zamodelowanie kompletnego i wielowariantowego złożenia zoptymalizowanego zespołu tarcz rozdrabniacza, w którym m.in. procesy kształtowania geometrii wałów i doboru łożysk będą również odbywać się automatycznie, ze względu na odpowiednią dynamikę mas wirujących.

Kolejnym krokiem badań może być asocjatywne zamodelowanie obróbki numerycznej CAM w UGS Unigraphics NX2, a następnie przeprowadzenie rzeczywistego procesu wytwarzania, dzięki czemu użytkownik może otrzymać do dyspozycji nie tylko zoptymalizowane, ze ściśle przez niego wyznaczonych względów, tarcze wirtualne, ale i rzeczywiste tarcze rozdrabniaczy wielotarczowych.

Metoda tworzenia zoptymalizowanych modeli wirtualnych tarcz rozdrabniaczy na podstawie obliczeń z zastosowaniem algorytmów genetycznych została przedstawiona przez autorów m.in. podczas IX Konferencji Międzynarodowej - Inżynieria Maszyn w Bydgoszcy.

**Koło
Naukowe
Solid
Edge**



Prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

Kierownik Katedry Maszyn Spożywczych
i Ochrony Środowiska

Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz

mgr inż. Adam Budzyński

Opiekun *Koła Naukowego Solid Edge*

Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz

Wojciech Bieniaszewski

Magistrant Katedry Maszyn Spożywczych
i Ochrony Środowiska

Wydział Mechaniczny ATR, Bydgoszcz

Literatura

- [1] Bieniaszewski W., Budzyński A., Kuta K: Model numeryczny wybranego przesiewcza zbudowany z zastosowaniem środowiska Solid Edge V14, Konferencja Naukowa – Recyrkulacja w Budowie Maszyn, ATR Bydgoszcz 2003
- [2] Flizikowski J., Bieniaszewski W.: Algorytm innowacji rozdrabniaczy wielotarczowych, IX Konferencja Międzynarodowa - Inżynieria Maszyn, ATR Bydgoszcz 2004

- [3] Flizikowski J., Flizikowski A.: Przekrój, siła i energia jako estymatory konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych, Konferencja Naukowa – Recykulacja w Budowie Maszyn, ATR Bydgoszcz 2003
- [4] Flizikowski J., Flizikowski A., Kamyk W.: Ontologia i rozwój konstrukcji rozdrabniaczy żywności, Inżynieria Maszyn v.20, Wydawnictwa Uczelniane ATR Bydgoszcz 2003
- [5] Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowanie, WNT Warszawa 2003
- [6] Kazmierczak G.: Solid Edge 8/9, Wydawnictwo HELION Gliwice 2001
- [7] Macko M.: Zarządzanie danymi o procesie rozdrabniania w zintegrowanym systemie pomiarowo-kontrolnym, IX Konferencja Międzynarodowa - Inżynieria Maszyn, ATR Bydgoszcz 2004
- [8] Sprawozdanie z badań naukowych, (Grant KBN) MNiI 0622/T08/2002/23: Projekt implementacji inteligentnego systemu wspomagania konstrukcji młynów, szczególnie wielotarczowych IE_TEST-07_BIO, NMG ATR Bydgoszcz 2003