



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Marek MACKO, Józef FLIZIKOWSKI, Adam MROZIŃSKI

BADANIA I SYMULACJE ROZDRABNIANIA WIELOKRAWĘDZIOWEGO

Streszczenie

W pracy zaprezentowano możliwości w zakresie implementacji programów z grupy CAD/CAE do oceny relacji kinematycznych rozdrabniacza wielokrawędziowego. Przeprowadzono badania wg własnej metodyki, której założeniem była analiza porównawcza przemieszczeń, prędkości i przyspieszeń liniowych i kątowych występujących między tarczami roboczymi. Na tej podstawie określono zakres średnich tych wartości występujących między tarczami. W badaniach użyto pakiety SolidWorks, SolidWorks Simulations i SolidWorks Motion. Główny obszar poszukiwań dotyczył rozdrabniania wielokrawędziowego.

WSTĘP

Zagadnienia rozdrabniania odnoszą się do przygotowania surowca, produktu do dalszego przetwórstwa i dotyczą w zasadzie wszystkich gałęzi przemysłu. Niedostatecznie rozwiązany problemem jest niska sprawność procesu rozdrabniania. Prowadzone są aktualnie prace zmierzające do poprawy takiego stanu [2, 3, 8, 10, 11, 12, 13, 14,]. Jedną z dróg prowadzonych badań jest opis i analiza zjawisk zachodzących podczas procesu rozdrabniania modelowego. Podobnie jak w rzeczywistym procesie występuje skomplikowany charakter obciążeń dynamicznych. Z tego względu poszukuje się nowych metod badania tych zjawisk, przede wszystkim nowoczesnych opartych o techniki komputerowe i systemy komputerowego wspomaganie projektowania CAD/CAE [1, 4, 5, 6, 7, 9]. Stosowanie tych systemów stało się standardem w zakresie poszukiwań najlepszego rozwiązania. Podczas procesu istotnym zagadnieniem jest utworzenie wirtualnego modelu bryłowego: części i złożeń. Taki model jest dalej wykorzystywany do różnego rodzaju badań symulacyjnych, na przykład wytrzymałościowych, kinematycznych, określenia kolizji, prezentacji wyrobu itp., zanim zostanie fizycznie wykonany prototyp. W trakcie tych badań prowadzone są liczne analizy wyników, co może wpłynąć na końcowy wybór cech geometrycznych. W ten sposób zmniejsza się ilość błędów w procesie i podnoszona jest jakość wyrobu. Oprócz programów służących do tworzenia modelu urządzenia, niezwykle ważne są aplikacje do przeprowadzenia na nim symulacji. Od zastosowanych rozwiązań w symulatorach, w postaci algorytmów metod numerycznych, zależy dokładność oraz czas uzyskania wyników. W dalszym ciągu do wykorzystania pozostaje ogromne pole w dziedzinie optymalizacji, tworzenia nowych, lepszych rozwiązań dla tych narzędzi.

Wykorzystanie informatycznych narzędzi komputerowego wspomaganie projektowania znacznie przyspieszyło prace nad tworzeniem konstrukcji rozdrabniacza. Zastosowane w SolidWorks rozwiązania tzn. pomocne instrumenty projektowania, pozwoliły na szybkie

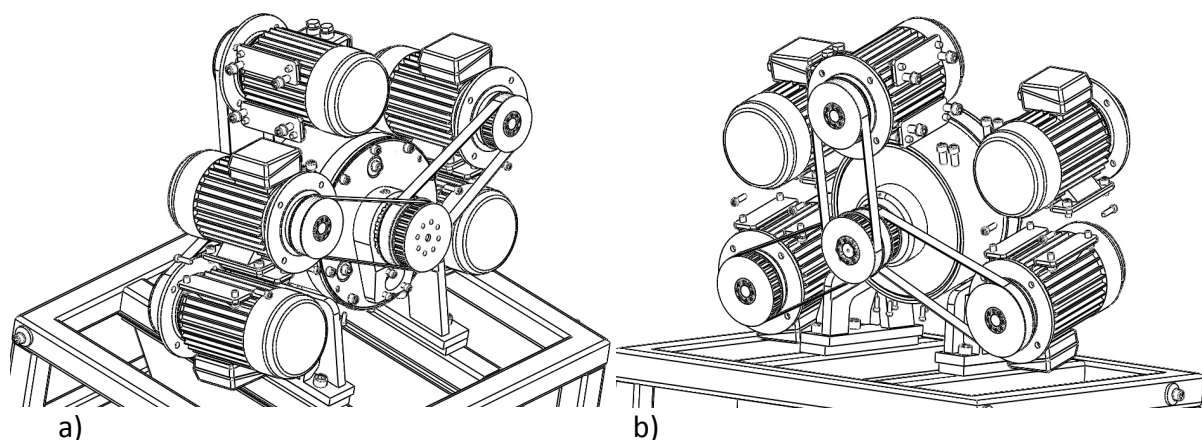
stworzenie części, a w dalszym toku funkcjonowania złożeń. Aplikacje te pozwoliły na szybką i precyzyjną ocenę rozwiązania oraz wyeliminowanie błędów na podstawie licznych testów części i złożeń na wczesnym etapie procesu projektowania, wtedy, kiedy można szybko i sprawnie wprowadzić zmiany. Takie działania nie tylko oszczędzają czas, ale także zmniejszają znacznie koszty. Należy podkreślić, że im później są wykrywane błędy, tym trudniej je wyeliminować, nie wspominając o poświęconym czasie oraz wydatkach.

Poszukiwania w zakresie najlepszego rozwiązania konstrukcyjnego opierają się na szczegółowej analizie danych literaturowych wskazujących na różnorodność konstrukcji rozdrabniaczy i właściwości makroskopowych tworzywa. Pod uwagę jest brany również sposób rozdrabniania odpowiedni dla indywidualnych właściwości nadawy. Uzyskanie mniejszych ziaren wymaga większej ilości „zdarzeń”, podczas których zachodzi uderzenie lub cięcie. Mniejsze ziarna i ich mniejsza liczba oznacza mniejszą szansę na ich rozdrobnienie. Stąd zwiększenie zapotrzebowania energii jest konieczne do podwyższenia prawdopodobieństwa liczby zderzeń oraz zwiększenia obciążeń niszczących ziarna, podczas których mniejsze ziarna mogłyby być rozdrobnione (szczególnie w wypadku materiałów kruchych).

1. METODYKA BADAŃ

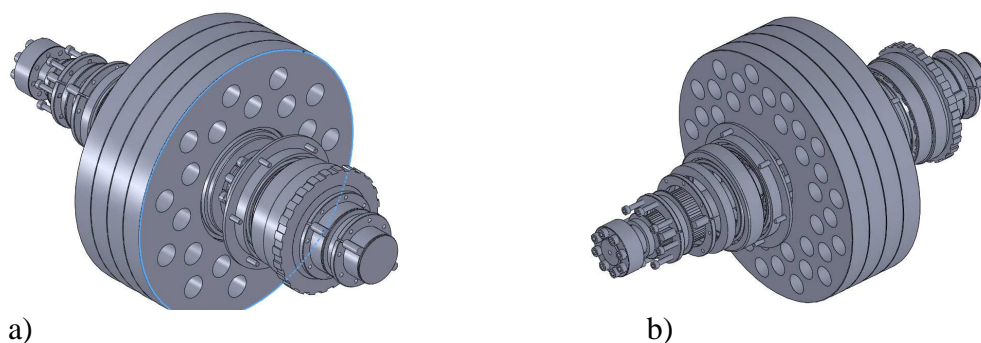
Do wykonania analizy kinematycznej i wytrzymałościowej, a także do przeprowadzenia optymalizacji konstrukcji rozdrabniacza zostały wykorzystane pakiety *SolidWorks*, *SolidWorks Simulations* i *SolidWorks Motion* [15]. Użycie tych aplikacji pozwoliło na wprowadzenie zmian, które spowodowały poprawę charakterystyki wytrzymałościowej lub zmniejszyły koszty, czas wytworzenia produktu końcowego projektu. Przy zastosowaniu pakietu *SolidWorks Motion*, zostały zweryfikowane zależności kinematyczne w urządzeniu. Dzięki tym analizom, można zaobserwować funkcjonowanie, zależności między częściami, a także przebieg wybranych wielkości fizycznych. Pakiet ten został wykorzystany w nowy, nietypowy sposób, mianowicie do symulacji został wprowadzony nowy obiekt nie będący częścią mechanizmu. Pełnił on rolę elementu rozdrabnianego w części roboczej mechanizmu, pozwoliło to zaobserwować stan obciążeń i przemieszczeń rozdrabnianych tworzyw.

Przeprowadzenie symulacji przyczyniło się do całej walidacji zaprojektowanego wcześniej rozdrabniacza. Niektóre testy pozwoliły zajrzeć „w głąb” rozdrabniacza i jednocześnie wykonać pomiary, jakie na rzeczywistym prototypie byłyby niemożliwe do wykonania. Obiektem badań jest układ roboczy rozdrabniacza wielokrawędziowego, wyposażonego w 5 tarcz napędzanych niezależnie przez silniki prądu trójfazowego (Rys.1).



Rys. 1. Widok rozdrabniacza wielokrawędziowego; a) od strony zasilania, b) z tyłu.

Rozdrabniacz został tak skonstruowany i zbudowany, aby możliwe było precyzyjne sterowanie prędkością każdej z tarcz, niezależnie od pozostałych (Rys.2).

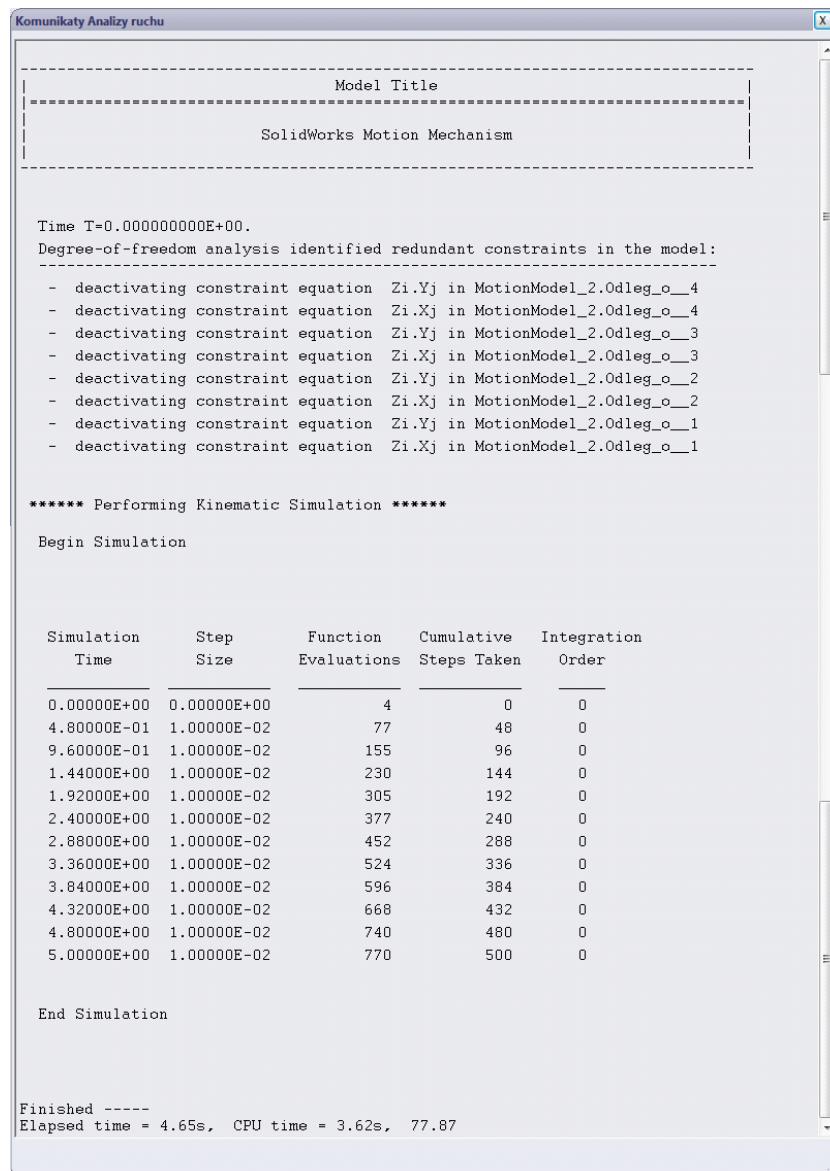


Rys. 2. Widok zespołu tarcz rozdrabniacza wielokrawędziowego; a) od strony zasilania, b) z tyłu.

Wyznaczone zostały w module SolidWorks Motion prędkości obrotowe każdej z ruchomych tarcz:

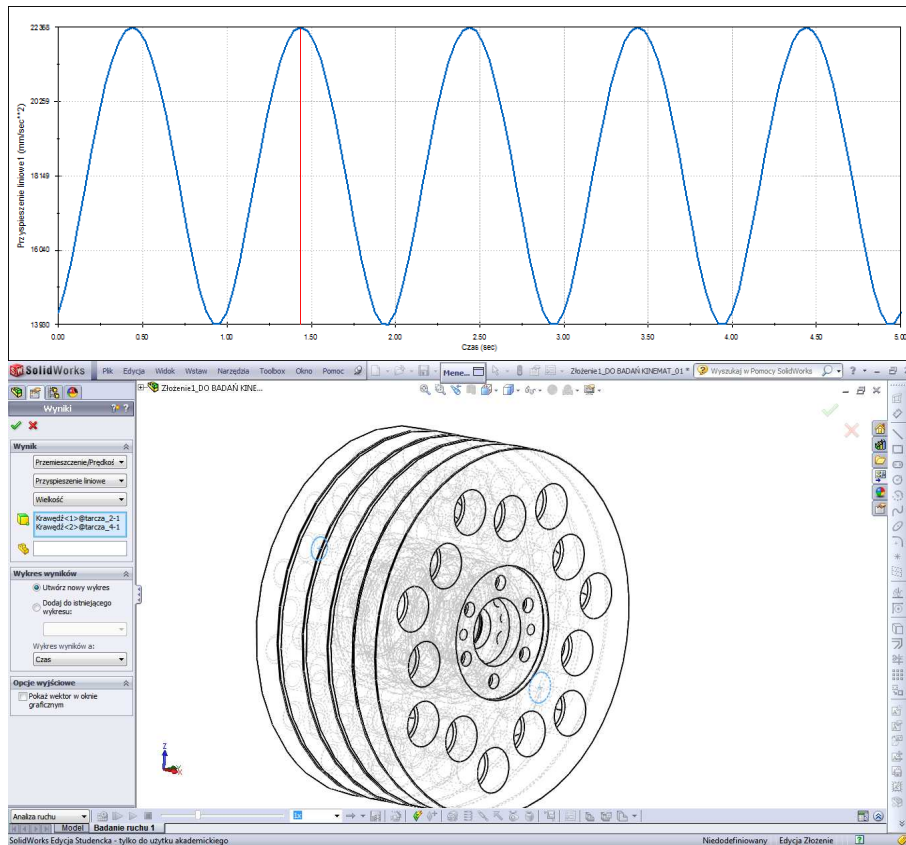
- tarcza nr 2 – 60 obr/min,
- tarcza nr 3 – 90 obr/min,
- tarcza nr 4 – 120 obr/min,
- tarcza nr 5 – 150 obr/min.

Właściwości geometryczne i masowe poszczególnych elementów mające wpływ na dynamikę całego mechanizmu, obliczone zostały na podstawie geometrii modelu i właściwości fizycznych materiału zdefiniowanego w SolidWorks (Rys. 3). Mechanizm może być symulowany w otoczeniu uwzględniającym grawitację. Jako wynik symulacji otrzymujemy m.in. charakterystyki przemieszczeń, prędkości, przyspieszeń (liniowych i kątowych), siły i momenty reakcji w więzach, zapotrzebowanie na moc urządzeń napędzających mechanizm itp. Wartości obciążeń mechanizmu mogą być przetransferowane do systemu SolidWorks Simulation jako dane wejściowe do analiz MES. Możliwość wizualizacji wyników, charakterystyki przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia, kierunku siły, śladu dowolnego punktu w trakcie symulacji, animacje 3D oraz zapis w formacie AVI i VRML, dynamiczne sprawdzanie kolizji, eksport wyników do MS Excel i TXT.

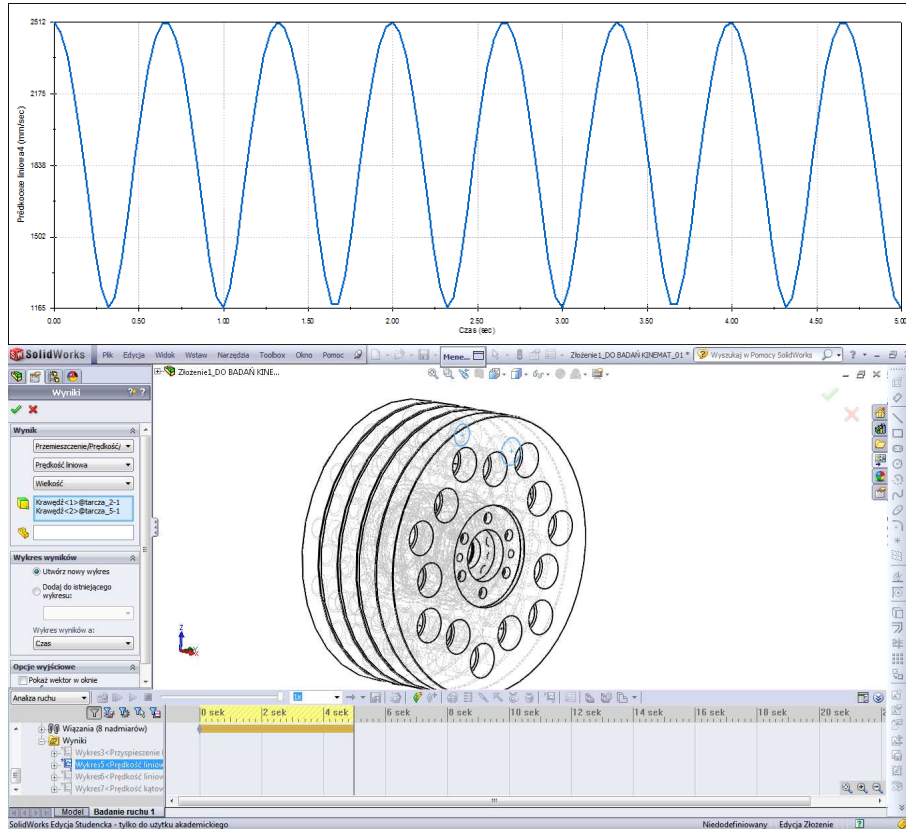


Rys. 3. Widok panelu obliczeń i symulacji kinematycznych wzajemnych prędkości sąsiednich tarcz rozdrabniacza.

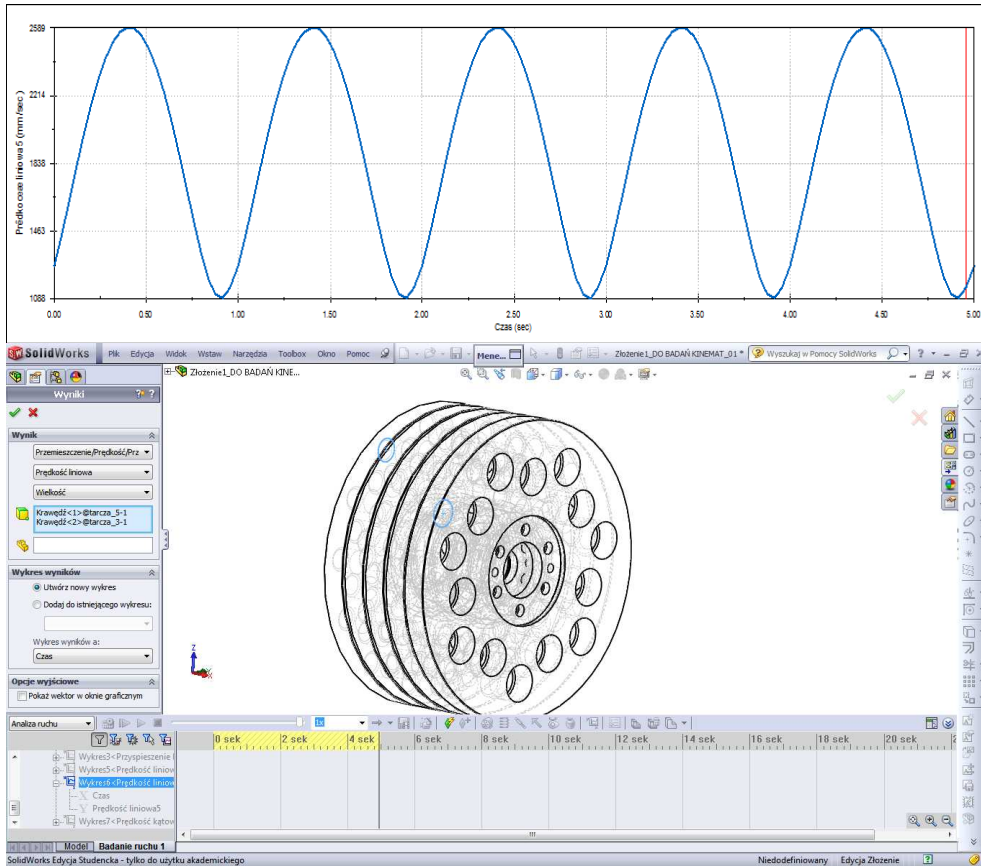
Poniżej zaprezentowano wybrane wyniki symulacji kinematycznych, relacji wzajemnych prędkości wybranych punktów na tarczach. W tym celu wybrano jedną z krawędzi otworów w dwóch tarczach, aby obliczyć wynik dla ruchu względem początku układu współrzędnych złożenia. Wybrano również dwie krawędzie otworów, aby obliczyć wynik dla ruchu początku układu współrzędnych pierwszej wybranej części względem początku układu współrzędnych drugiej wybranej części. Określono rodzaj napędu, aby obliczyć wynik dla ruchu punktu lokalizacji dla napędu względem jego pozycji początkowej. Punkt lokalizacji napędu jest określany przy określaniu napędu w menedżerze właściwości *PropertyManager Napęd*. Zdefiniowano układ odniesienia dla ruchu napędu w menedżerze właściwości *PropertyManager Napęd*, wybierając komponent dla Komponent względem którego nastąpi przeniesienie, lub zdefiniować układ odniesienia z początku układu współrzędnych złożenia poprzez pozostawienie pustej opcji Komponent względem którego nastąpi przeniesienie.



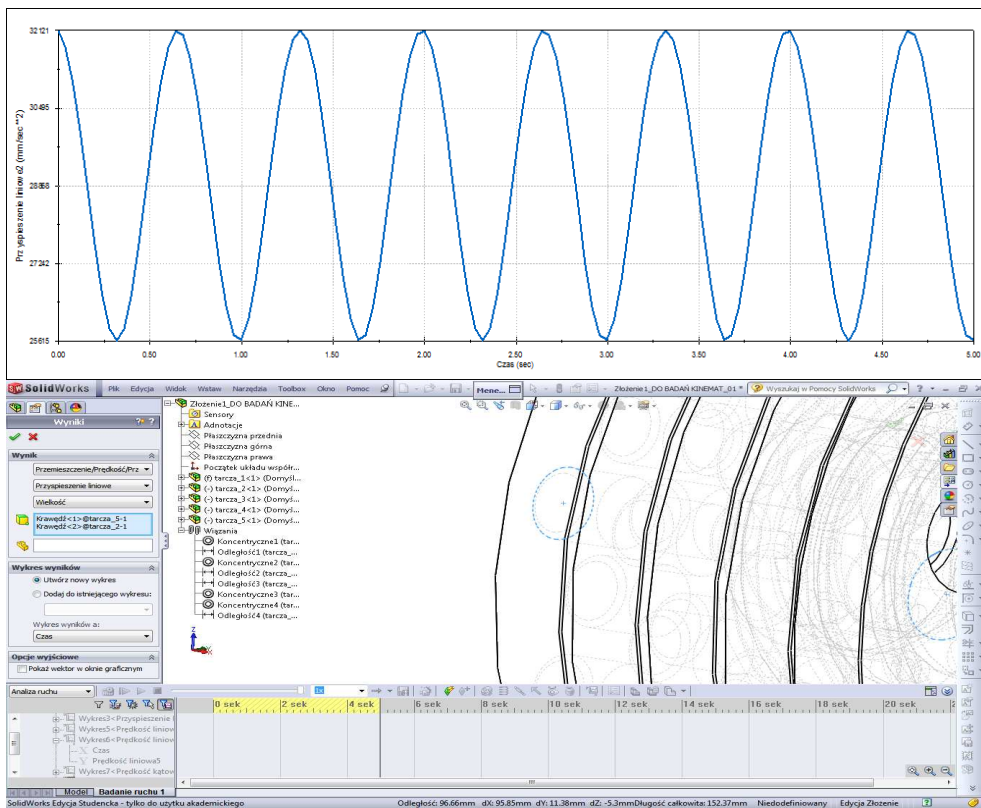
Rys. 4. Wykres przyspieszenia liniowego między otworami w tarczy 2 i tarczy 4.



Rys. 5. Wykres prędkości liniowej między otworami w tarczy 2 i tarczy 5.

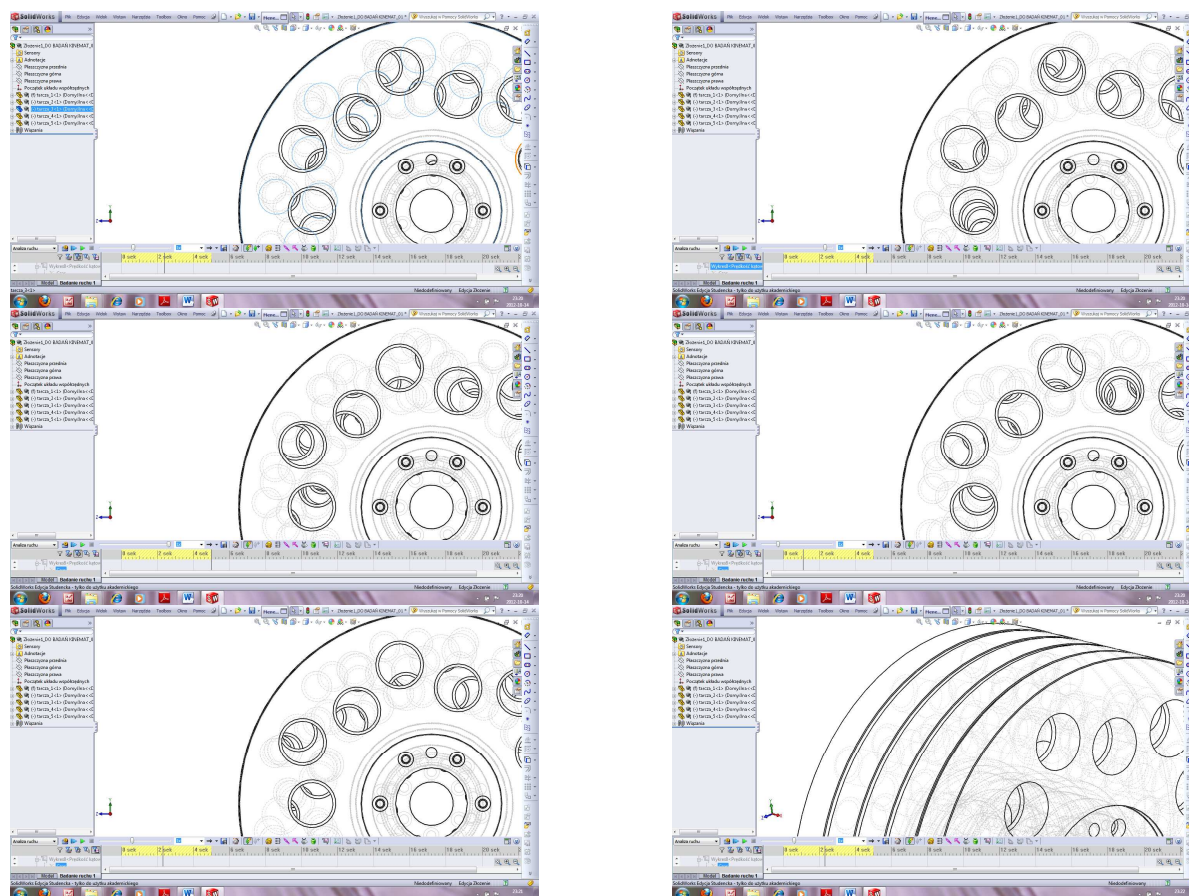


Rys. 6. Wykres prędkości liniowej między otworami w tarczy 3 i tarczy 5.



Rys. 7. Wykres przyspieszenia liniowego między otworami w tarczy 2 i tarczy 5.

Przeprowadzono również analizę wzajemnych pól przekrojów w otworach sąsiednich tarcz. Wyniki pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Analiza wzajemnych pól przekrojów w otworach sąsiednich tarcz w czasie 6 s, w odstępach czasu co 1 s.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i szczegółowych analiz można stwierdzić występowanie podobieństw między wynikami eksperymentalnymi i symulacyjnymi. Zakres przyspieszeń liniowych wahał się w granicach od 16 m/s^2 do 22 m/s^2 w przypadku tarczy 2 i 4. Zakres prędkości liniowych wynosił od $1,1 \text{ m/s}^2$ do $2,5 \text{ m/s}^2$ dla tarcz 2 i 5. Analiza wzajemnych pól przekrojów umożliwiła określenie położenia otworów tarcz w kolejnych sekwencjach ruchu obrotowego. Wykonanie tego typu symulacji może na tym etapie służyć jako uzupełnienie lub jako pomoc w wizualizacji danego zjawiska. Dalsze badania procesu wielokrawędziowego powinny koncentrować się na podwyższaniu jakości modeli numerycznych. Co za tym idzie należałoby powiększyć zakres badania do nieliniowego zachowania materiałów, z których wykonana jest próbka. Należałoby zdefiniować między innymi rodzaj propagacji uszkodzeń, plastyczność materiału i wiele innych danych materiałowych, które pozwoliłyby zminimalizować poziom błędów. Ponadto nałożona siatka dyskretyzacyjna dla takich symulacji musiałaby zostać zagęszczona. Należy mieć również świadomość, że potrzebne są bardziej zaawansowane aplikacje, w których można zdefiniować materiał plastyczny oraz sposób w jaki próbka będzie ulegała zniszczeniu. Niemniej jednak interpretacje tych metod przyczyniają się do poszerzenia zakresu badawczego i dają pełniejszy obraz zjawisk zachodzących w próbkach podczas rozdrabniania.

RESEARCH AND SIMULATIONS OF MULTI-EDGE COMMINUTION

Abstract

There are some implementation's possibilities of CAD/CAE in aim to kinematic relations estimation of multi-edge comminution. There were conducted some simulations based on own methodology. Results of these investigations were comparative analysis of locations, velocities and accelerators occurring between plates of the grinder. Based on results we could describe middle level of values between plates. There have been used SolidWorks Simulations and SolidWorks Motion. Main area to looking for there were multi-edge comminution.

BIBLIOGRAFIA

1. Arola D., Ramulu M.: *Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis*. International Journal of Mechanical Sciences. Vol. 39, nr 5, 1997 (s. 597–613).
2. Bauer W., Wüstenberg D.: *Fracture behavior of polypropylene under dynamic cutting and shearing action in granulators*. Chemical Engineering & Technology, Vol. 25 – No. 11/2002, s. 1047–1051.
3. Flizikowski J., Macko M., Mroziński A.: Implementacje mechatroniczne w rozdrabniaczu do materiałów nie-kruchych. XV Międzynarodowa Konferencja nt.: KOMPUTEROWE SYSTEMY WSPOMAGANIA NAUKI, PRZEMYSŁU I TRANSPORTU „TransComp 2011”, 12/2011 Radom/Zakopane, Czsopismo Logistyka 6/11, s. 955-963.
4. Macko M., Cieślak M., Kowalski A., Kreft A., Warmbier K., Wieczorek P., Wojda M., Wysocki M., Dąbek M., Radej A.: *Analiza pracy rozdrabniacza na podstawie wyników badań symulacyjnych w aplikacji SolidWorks/CosmosWorks*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2/2008, IZACAX 47(39), str.42-44.
5. Macko M., Sobczyński A., Zybert G., Zgórski Ł., Jędrzejewski Ł., Wieczorek P., Wysocki M.: *Analizy numeryczne wybranych konstrukcji rozdrabniacza*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 2/2009, IZACAX, 48(40), s. 92 – 93, Bydgoszcz 2009.
6. Macko M., Sobczyński A., Drop A., Grabińska D., Grzelczak B., Boniecka M.: *Analiza badań symulacyjnych rozdrabniania jednokrotnego*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna 5/2010, s.75-76.
7. Macko M., Flizikowski J., Mroziński A., Tyszczyk K., Rydzkowski T., Jankowski M., Czerniak J.: *Integration of CAD/CAE environment in aim to increasing energy effectiveness during milling*. Scientific monograph “Machine Modeling and Simulation”. ISBN 978-80-8075-494-5. 16th International Slovak–Polish Conference “Machine Modeling and Simulations 2011” September 5-7, 2011, Terchová, Slovak Republic, s.167 - 172.
8. Macko M.: *Comminution as an important stage in recycling*. Chapter in: "Recycling / Book 2" edited by Damanhuri E. ISBN 978-953-307-1150-2, InTech - Open Access Publisher, 09/2011, Rijeka, Croatia. Recycling / Book 2.
9. Macko M.: *Metoda doboru rozdrabniaczy wielokrawędziowych do przeróbki materiałów polimerowych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz 2011, ISBN 978-83-7096-821-2, ss. 177.
10. Meier M., John E., Wieckhusen D., Wirth W., Peukert W.: *Generally applicable breakage functions derived from single particle comminution data*. Powder Technology 194 (2009) 33–41
11. Sadrai S., Meech J.A., Ghomshei M., Sassani F., Tromans D.: *Influence of impact velocity on fragmentation and the energy efficiency of comminution*. Internal Journal of Impact Engineering, 33 (2006), s.723–734.

12. Stamboliadis E. Th.: *The energy distribution theory of comminution specific surface energy, mill efficiency and distribution mode*. Minerals Engineering 20 (2007), s. 140–145.
13. Stavros E. D., Giannis T. T., Costas P. P., Nikos P. R.: *Aggregating and evaluating the results of different environmental impact assessment methods*. Ecological Indicators, 4 (2004), s. 125–138.
14. Wang Y., Forssberg E.: *Enhancement of energy efficiency for mechanical production of fine and ultra-fine particles in comminution*. China Particuology 5 (2007) s. 193–201.
15. www.solidworks.com

Autorzy:

dr inż. Marek MACKO – Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy

prof. dr hab. inż. Józef FLIZIKOWSKI – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy

dr inż. Adam MROZIŃSKI – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy