

SYMULACJE NUMERYCZNE FLUIDALNEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Piotr GÓRSKI, Kamil KROT, Wojciech MATUSEWICZ

Streszczenie: Tematem artykułu są symulacje numeryczne procesów transportu fluidalnego na stanowiskach testowych w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych. Na podstawie zbudowanych modeli numerycznych wykonane zostały symulacje z wykorzystaniem metody układów wieloczłonowych, w zakresie możliwych do zastosowania parametrów pracy każdego z systemów. Przedstawione symulacje dostarczają wyników w postaci podstawowych wielkości fizycznych występujących podczas transportu elementów fotogalwanicznych w procesie produkcyjnym.

Słowa kluczowe: transport fluidalny, symulacje, MBS

1. Warianty transportu fluidalnego

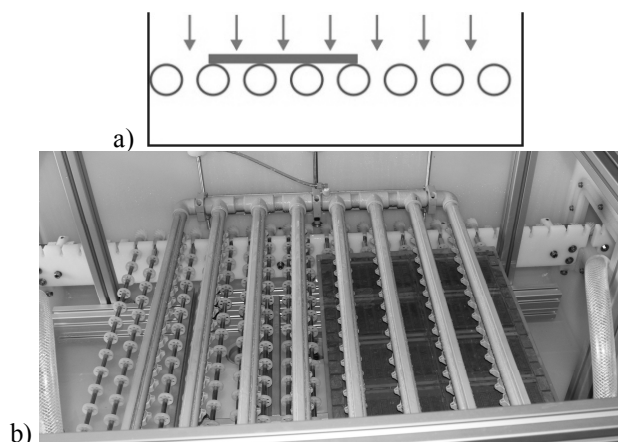
W wyniku prac prowadzonych w ramach projektu „Opracowanie i rozwój systemu transportu fluidalnego w obróbce horyzontalnej elementów do układów fotogalwanicznych” opracowano następujące warianty transportu fluidalnego:

1. Transport na rolkach czynnych z dociskiem ciśnieniem cieczy (horyzontalny) - rys.1.
2. Transport na rolkach biernych z dociskiem i napędem ciśnieniem cieczy (horyzontalny) - rys.3.
3. Transport bez rolek - prowadzenie i napęd przez ciśnienie cieczy rys.5.

Przeprowadzone prace badawcze oraz weryfikacja wyników obliczeń symulacyjnych na drodze pomiarów wybranych parametrów procesu na stanowisku badawczym dotyczyły analizy trzech wariantów transportu fluidalnego [1, 2, 3, 4].

Pierwszy opisywany wariant transportu fluidalnego przewiduje transport na rolkach czynnych (napędzanych) z dociskiem ciśnieniem cieczy (horyzontalny). W tym wariantcie tym płytka przemieszcza się na napędzanych rolkach tocznych zaś z góry dociskana jest przez ciśnienie cieczy wydobywającej się z dyszy pod kątem prostym.

Budowa tego wariantu różni się od standardowego sposobu transportu brakiem rolek dociskowych. Sterowanie dociskiem regulowane jest poprzez zmianę natężenia przepływu cieczy przez dysze. Prędkość procesu sterowana jest prędkością rolek, po których poruszają się płytki – rys.1.



Rys. 1. Transport na rolkach czynnych: a) schemat ideowy konstrukcji wanny wraz z transportowaną płytką, b) widok zbudowanego stanowiska.

W rozwiązaniu tym należy zastosować prowadnice boczne w celu umożliwienia prostoliniowego prowadzenia płytek. Przy długich liniach produkcyjnych płytki będą miały tendencje do zbaczania z kierunku prostego. Napęd rolek pozostaje bez zmian. W celu zapewnienia poprawności procesu trawienia należy zastosować ramę z dyszami z możliwością zmiany jej wysokości nad transportowanymi płytkami. Możliwość zmiany odległości dyszy od płytek umożliwia też wymianę rodzaju stosowanych dyszy i uzyskiwanie parametrów wymaganego docisku.

Drugi wariant przewiduje transport płytek z wykorzystaniem rolek tocnych biernych (nienapędzanych) z dociskiem wytworzonym przez przepływającą ciecz w dyszach oraz wymuszeniem ruchu poprzez ustawienie dyszy pod kątem - rys. 2.

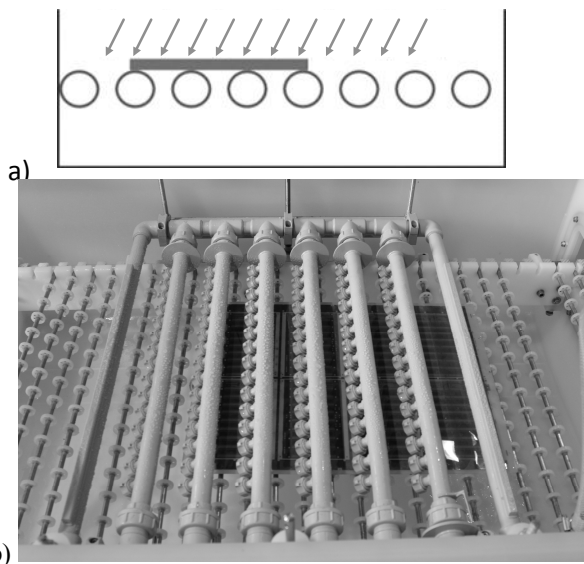
W wariantcie tym stosuje się rolki bez napędu. Ruch płytek wywołany jest przez działanie strumienia cieczy z dyszy procesowych skierowanych pod określonym kątem. Rolki muszą być tu zamontowane w łożyskach posiadających jak najmniejsze tarcie. Ważne jest, aby tarcie w łożyskach wzdłuż całej wanny było jednakowe. W innym przypadku może dochodzić do zatrzymywania procesu transportu. Należy zastosować zmienną odległość dyszy od transportowanych płytek.

Ma to na celu umożliwienie zachowania parametrów procesu trawienia. Ważne jest tu zastosowanie systemu płynnej zmiany kąta dyszy wzdłuż całej długości wanny procesowej. Najlepszym rozwiązaniem jest zautomatyzowanie regulacji kąta sekcji dyszy. W wannie należy zastosować prowadnice boczne w celu uzyskania ruchu prostoliniowego.

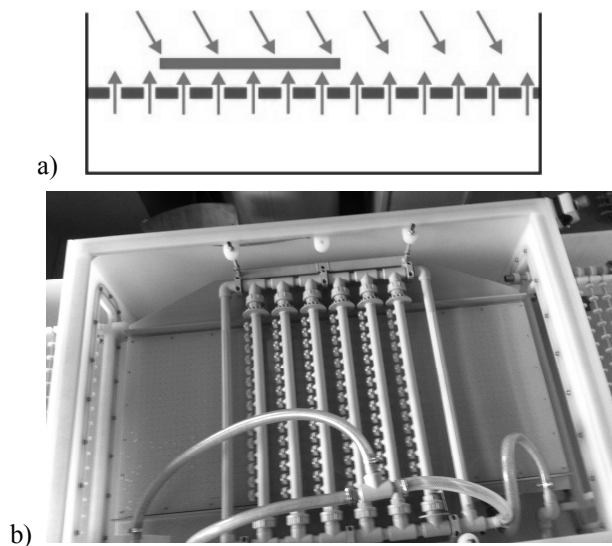
Trzeci wariant transportu płytek odbywa się z wykorzystaniem perforowanej płyty i poprzez docisk wytworzony przez przepływającą ciecz w dyszach. Prawidłowa orientacja transportowanej płytki jest realizowana przez ciśnienie generowane od dołu przez perforowaną płytę, docisk i napęd przez ciśnienie od góry przez dysze – rys. 3.

W metodzie transportu z wykorzystaniem perforowanej płyty elementy transportowane są na filmie z cieczy procesowej. Należy zastosować ramę z dyszami, którą można swobodnie obniżać i podnosić w kierunku transportowanych płytek. Należy też wprowadzić możliwość swobodnej zmiany kąta natrysku dyszy. Płyta powinna mieć nawiercone otwory w równych odstępach od siebie. Analizy i symulacje wykazały, że odległość około 20 mm między otworami są wystarczające. Średnice otworów powinny

być w granicach 1 mm do 2 mm dla układu jedna pompa i czynna długość i szerokość płyty nawiercanej 1300 mm i 500 mm.



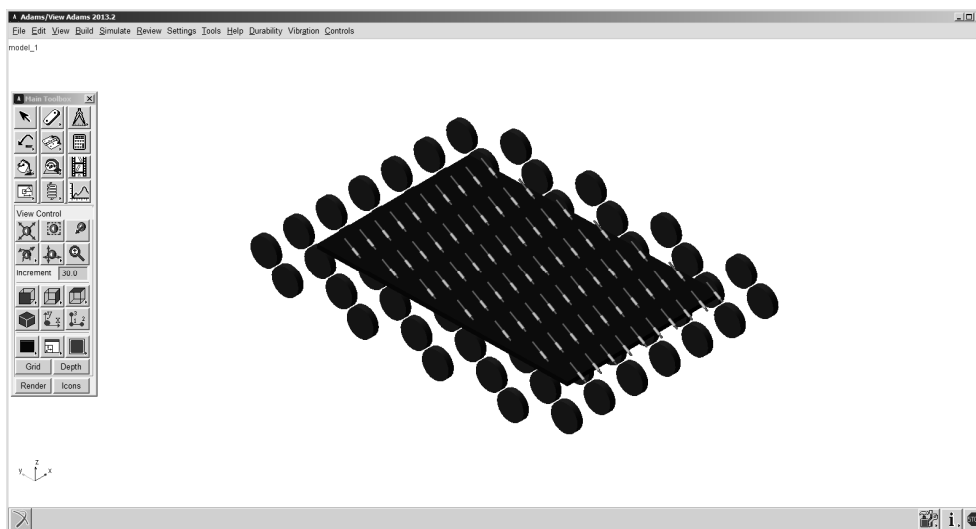
Rys. 2. Transport na rolkach biernych: a) schemat ideowy - docisk i napęd ciśnieniem cieczy, b) widok konstrukcji wanny.



Rys. 3. Transport w płynie - stateczność płytki otrzymana przez ciśnienie generowane od dołu przez perforowaną płytę, docisk i napęd przez ciśnienie od góry przez dysze – a) schemat ideowy b) widok konstrukcji wanny.

2. Badania symulacyjne transportu (metoda MBS) - model geometryczny, warunki brzegowe, warianty obliczeń

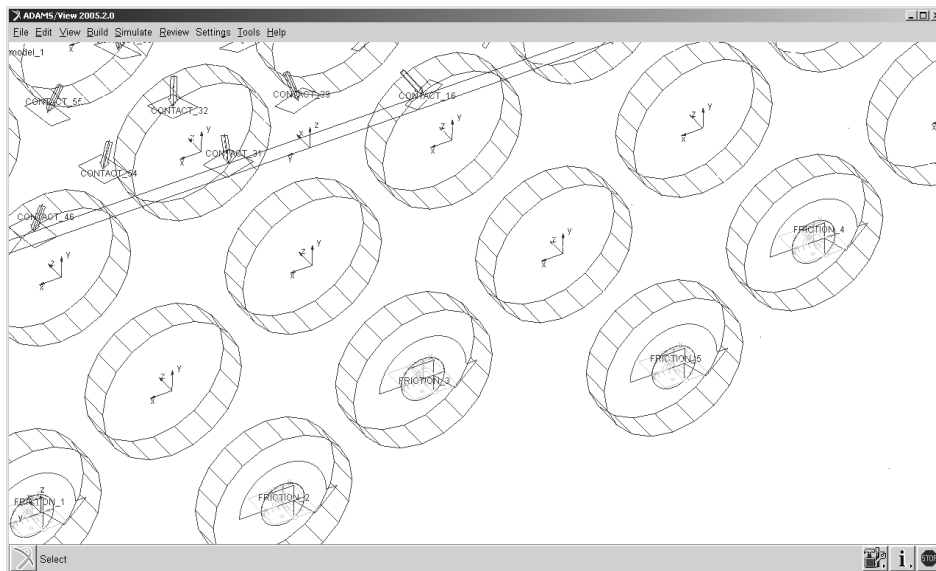
Obecnie w literaturze znane są zastosowania metod numerycznych takich jak FEM/CFD do obliczeń zjawisk zachodzących w transporcie fluidalnym [11,12,13,14]. Metody te pozwalają na poznanie zjawisk zachodzących podczas transportu fluidalnego. Trudnym zjawiskiem do symulacji jest modelowanie i symulacja przemieszczających się elementów w cieczy. Stąd też powstała próba zastosowania metody układów wieloczłonowych, która ma głównie zastosowania przy modelowaniu mechanizmów. W prezentowanym artykule przedstawione zostaną obliczenia numeryczne dla jednego wariantu : transportu na rolkach napędzanych – docisk ciśnieniem cieczy. Model geometryczny do obliczeń metodą układów wieloczłonowych MBS (*ang. Multi Body Simulation*) w oprogramowaniu MSC ADAMS [8, 9, 10] składa się z brył sztywnych oraz par kinematycznych (rys.4). W wybranym wariantcie transportowym są napędzane rolki, docisk płytki realizowany jest siłą wywieraną przez ciecz wypływającą z dysz. W analizach wstępnych wykonany został model składający się z :rolek z parą kinematyczną obrotową o jednym stopniu swobody, siły dociskającej – została ona zamieniona na element dociskowy, który z zadaną siłą uderzał w płytkę (element sztywny z parą kinematyczną postępową, sprężyną oraz kulką uderzającą w płytkę). Model ten ze względów obliczeniowych (duża liczba kontaktów – co sprawiło, że nie ma możliwości wykonania obliczeń dla tak wielu elementów typu CONTACT) został zmodyfikowany, w miejsce uderzających kulek wprowadzona została siła działająca na płytkę z zadaną wartością i w zadanych odstępach czasowych, tak zmieniony model pokazano na rys. 5 oraz rys. 6. Pełny model przygotowany do obliczeń wraz z transportowaną płytką pokazano na rys. 7. Zaprezentowany model odpowiadał warunkom, które występowały na stanowisku badawczym.



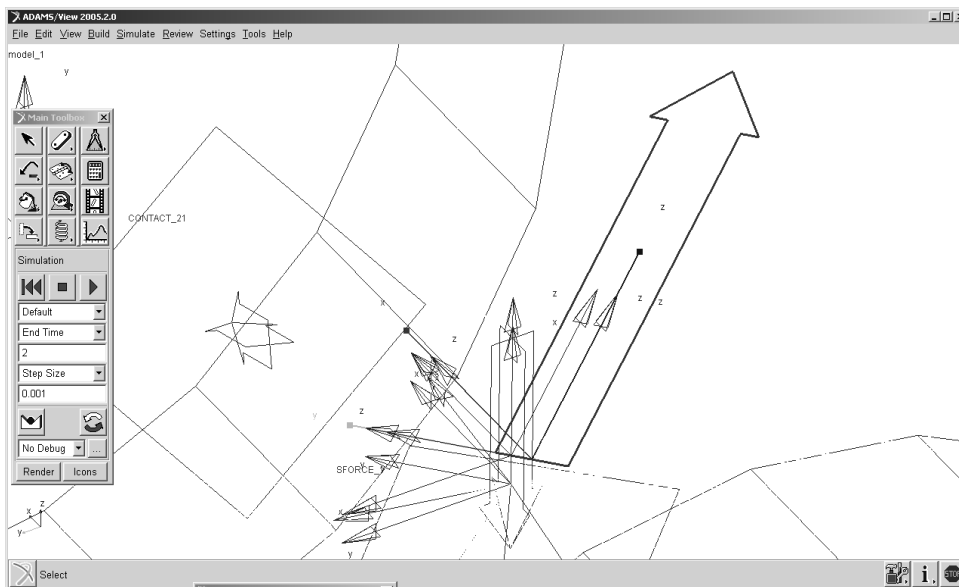
Rys. 4. Model numeryczny transportowanej płytki do obliczeń wstępnych z elementami kontaktującymi z płytką

Model numeryczny został uszczegółowiony o dane uzyskane podczas podstawowych badań na obiekcie fizycznym. Dane z obiektu rzeczywistego pozwoliły na dopracowanie

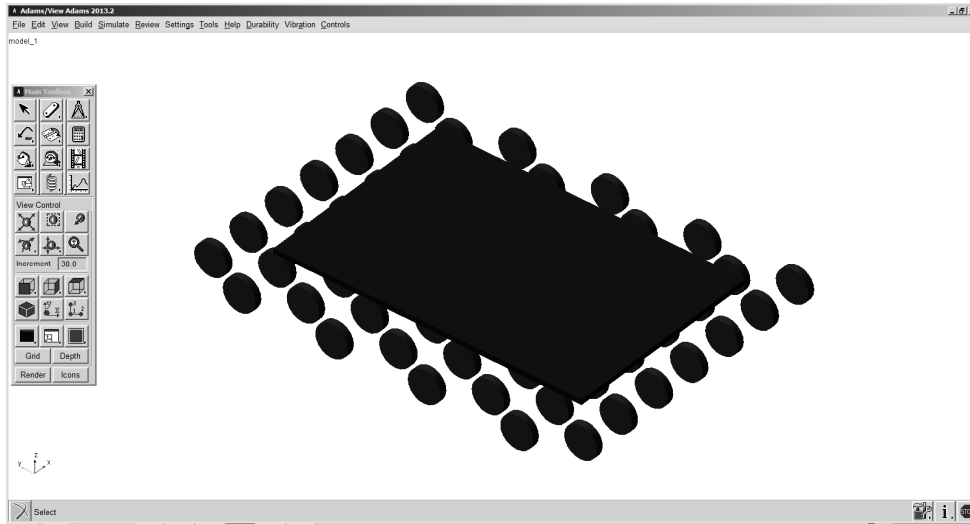
modelu numerycznego, a w szczególności na uszczegółowienie modelu styku płytki z rolami. Odzwierciedlenie zjawisk zachodzących na styku tych dwóch materiałów jest bardzo istotne z punktu widzenia sterowania parametrami transportowanych elementów [5, 6, 7].



Rys. 5. Widok zmodyfikowanego modelu numerycznego transportowanej płytki z widoczną rolką z parą kinematyczną, oraz wymuszeniem obrotowym

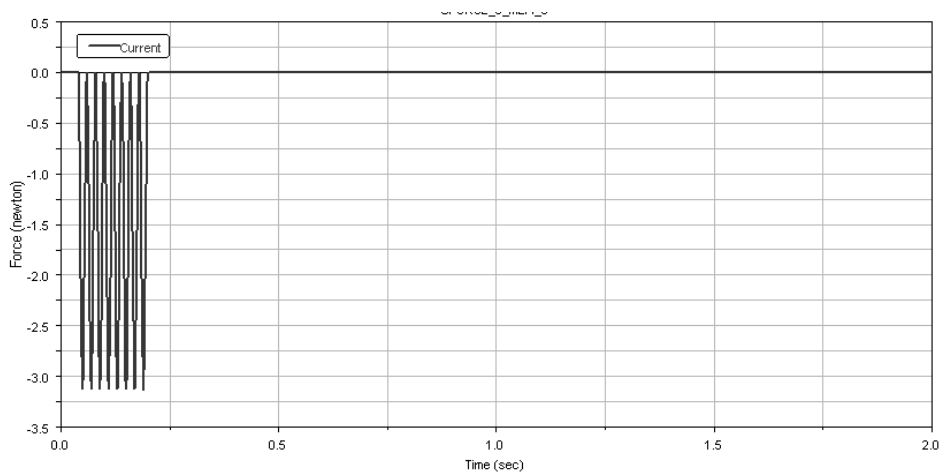


Rys.6. Widok zmodyfikowanego modelu numerycznego transportowanej płytki wraz z siłą



Rys.7. Widok zmodyfikowanego modelu numerycznego transportowanej płytki wraz z siłą

Kolejnym etapem wykonania obliczeń numerycznych było przygotowanie sygnału wymuszającego. Na rysunku 8 pokazany jest sygnał siły oddziałującej na płytkę (sygnał symulujący ciecz dociskającą płytkę od góry). Schemat obciążeń oraz kierunek obrotu rolek pokazano schematycznie na rys. 9.

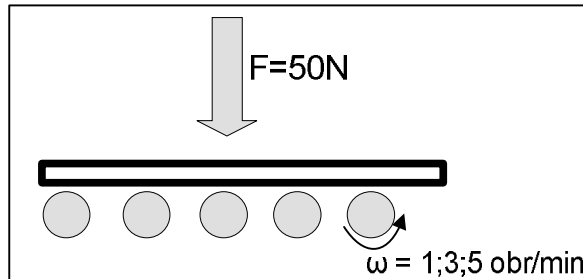


Rys. 8. Widok sygnału wymuszającego

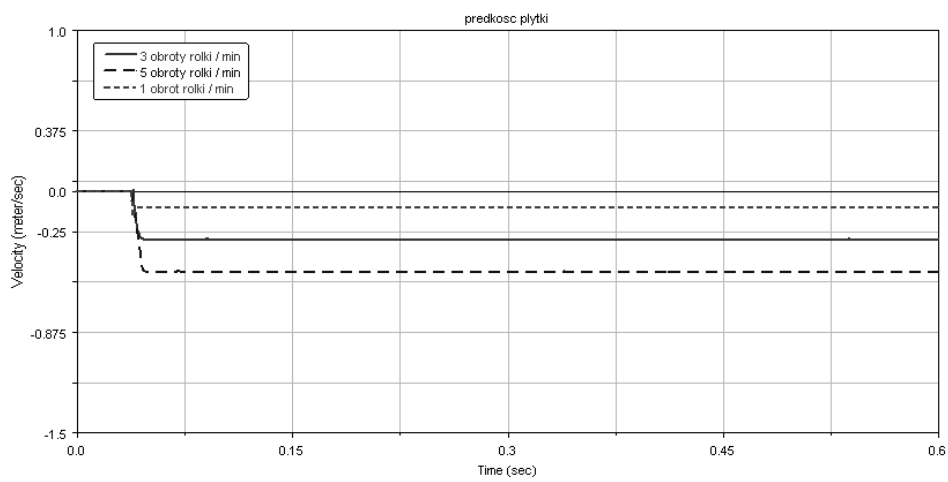
Na tak przygotowanym modelu wykonane zostały obliczenia numeryczne:

Działanie siły impulsowej 50N napęd na rolkach $\omega = 1$ obr/min; $\omega = 3$ obr/min $\omega = 5$ obr/min

Badanie prędkości translacyjnej dla tych 3 wymienionych wariantów – rys. 10.

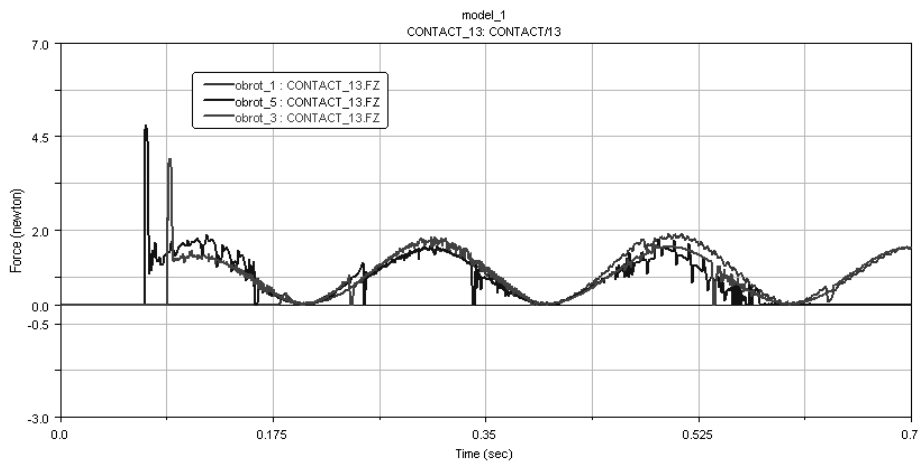


Rys. 9. Schemat badanego przypadku – siła 50N, napęd 1 obr/min ; 3 obr/min; 5 obr/min



Rys.10. Wykres prędkości płytki dla trzech wymuszeń

Badanie sił w kontakcie rolka – płytka dla trzech wymienionych wariantów prędkości – rys. 11.



Rys.11. Wykresy sił działających w kontakcie rolka-płytki (dla prędkości 1;3;5 obr/min)

Na powyższych rysunkach przedstawiono siłę w kontakcie rolka - płytki, początkowy wzrost siły wiąże się z siłą dynamiczną w momencie styku płytki z rolką.

Obliczenia numeryczne tego wariantu pokazały możliwość łatwego sterowania siłą docisku, układ zachowuje się dość stabilnie. Wariant jest dość prosty do wykonania i jest stosunkowo niedrogi. Wadą tego rozwiązania jest brak eliminacji kontaktu płytki z materiałem (kontakt na rolkach), wiąże się to z działaniem sił dynamicznych w trakcie przejazdu płytki na rolkach [4].

3. Podsumowanie

W wariacie (układ dysz pionowy, rolki z napędem) transport płytki realizowany jest dość stabilnie. Należy jednak zwrócić uwagę na siłę docisku realizowaną poprzez ciecz pod ciśnieniem z dyszy skierowanej pod kątem prostym do płytki. Przy zbyt dużej sile (duże ciśnienie) może dojść do uszkodzenia płytki, zaś przy zbyt małej sile (małe ciśnienie) może pojawić się problem np. z procesem trawienia. Wrażliwość tego układu (ciśnienie pod kątem prostym, rolki z napędem) na działanie siły pionowej widać szczególnie na rys. 15 – zmiany na wykresie jednoznacznie wskazują, że dochodzi do uderzeń rolek o płytkę. Ponadto na uwagę zasługuje fakt wzrostu siły na początku pomiaru, wiąże się to z momentem dojazdu płytki do rolki (skokowy wzrost siły) następnie siła w krótkim czasie się stabilizuje. Takie zjawisko będzie miało miejsce przy każdej sekcji rolek. W celu zminimalizowania tego zjawiska, należałoby na rolki użyć materiał bardziej miękkiej (np. na rolkach zastosować gumę, która będzie tłumiała tę siłę). Podsumowując należy podkreślić, że wyżej opisany wariant transportu jest dość łatwy do kontrolowania pod względem ustabilizowanej prędkości, jednak problemy mogą się pojawić z punktu widzenia trawienia płytek oraz ich wytrzymałości. Badania numeryczne kolejnych zaproponowanych wariantów zostaną przedstawione w odrębnych pracach.

Literatura

1. Furmanik K. „Transport przenośnikowy” Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 2008.
2. Materiały firmy KSL-Kuttler Automation Systems GmbH <http://kslkuttler.com/>.
3. Xavier F. Brun, Shreyes N. Melkote “Analysis of stresses and breakage of crystalline silicon wafers during handling and transport” Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1238–1247.
4. Gustafsson J. Larsson H. Solheim H., J., Bostrom T., “Mechanical stress tests on mc-Siwafers with microcracks” , in: Proceedings of the 23rd Conference, 1–5 September 2008, Valencia, Spain, pp. 1–4. European Photovoltaic Solar Energy
5. Frączek J., Wojtyra M.: Kinematyka układów wieloczłonowych – metody obliczeniowe, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa, Warszawa 2008.
6. Wojtyra M., Frączek J.: Metoda układów wieloczłonowych w dynamice mechanizmów. Ćwiczenia z zastosowaniem programu ADAMS. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007
7. Legutko S.: Podstawy eksploatacji maszyn i urządzeń. WSiP, Warszawa, 2004.
8. Craig J.J.: Introduction to Robotics, Mechanics and Control. Second Edition. Addison-Wesley Publishing Co. Inc., Reading Massachusetts, USA 1989
9. Kruszewski J., Sawiak S., Wittbrodt E.: Metoda sztywnych elementów skończonych w dynamice konstrukcji. WNT, Warszawa 1999

10. Blajer W.: Metody dynamiki układów wielomasowych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 1998
11. Norbert Szmolke.: Przepływ w aparacie fluidalnym z pękiem rur. Oficyna wydawnicza Opole 2011
12. Kozołub, Paweł.: Numerical simulation of transport phenomena in a cyclone of the circulating fluidized bed installation Praca doktorska Gliwice 2014
13. Adamczyk W.P., Kozołub P., Klimanek A., Białecki R.A., Andrzejczyk M., Klajny M., Numerical simulations of the industrial circulating fluidized bed boiler under air- and oxy-fuel combustion, Applied Thermal Engineering, doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.04.056
14. Klimanek A., Adamczyk W., Katelbach-Woźniak A., Węcel G., Szłęk A.: Towards a hybrid Eulerian–Lagrangian CFD modeling of coal gasification in a circulating fluidized bed reactor, Fuel, doi:10.1016/j.fuel.2014.10.058

Dr inż. Piotr GÓRSKI

Dr inż. Kamil KROT

Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji i Organizacji Produkcji
Politechnika Wrocławska

50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5

tel.: (71) 320 26 00, fax.: (71) 328 06 70

e-mail: piotr.gorski@pwr.edu.pl

kamil.krot@pwr.edu.pl

Wojciech MATUSEWICZ

Matusewicz Budowa Maszyn S. J.

Ul. Lwowska 40

59-620 Gryfów Śląski

tel.: (75) 7820011, fax.: (75) 7813004

e-mail: wojtek@matusewicz.pl