

ANALIZA SYMULACYJNA ZACHOWAŃ KINEMATYCZNYCH I DYNAMICZNYCH WIRTUALNEGO MODELU ZACZEPIANEJ DO CIĄGNIKA MASZYNY DO ZBIORU I ZAGĘSZCZANIA BIOMASY METODĄ ZWIJANIA

Streszczenie

Na potrzeby wyznaczenia maksymalnych naprężeń opracowano wirtualny model CAD 3D maszyny. Wyznaczono parametry kinematyczno-dynamiczne zespołów roboczych zaczepianej do ciągnika maszyny do zbioru i zagęszczania biomasy metodą zwijania. Następnie przeprowadzono symulacje i analizy inżynierskie będące podstawą dalszych prac konstrukcyjnych.

Słowa kluczowe: biomasa, prasa zwijająca, model wirtualny, parametry kinematyczne, parametry dynamiczne

Wprowadzenie

Wytwarzanie i wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych jest obecnie jednym z najważniejszych zagadnień światowej i europejskiej polityki energetycznej. Od wielu lat opracowywane są dokumenty, zawierające preferowane kierunki rozwoju polityki energetycznej, a także określone są niezbędne limity mające poprawić efektywność energetyczną gospodarek europejskich [2, 3, 4, 5, 13].

Jednym z najczęściej wykorzystywanych do celów grzewczych źródeł energii odnawialnej jest biomasa - m.in. resztki z produkcji rolnej i leśnej. Takie resztki stanowi również, nie wykorzystywana do innych celów, słoma pozostała po zbiorze zbóż [3, 4, 6, 13].

Do spalania, jako biopaliwo, może być użyta słoma praktycznie wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Aby możliwe było racjonalne wykorzystanie słomy do celów energetycznych musi ona spełniać określone wymagania technologiczne, posiadając odpowiednią wartość opałową, wilgotność, stopień zwiędnięcia i gęstość [1, 2, 3, 6, 8].

Niewielka gęstość usypowa powoduje, że słoma ma równocześnie mniejszą gęstość energetyczną (wartość opałową odniesioną do jednostki objętości). Aby więc było ekonomicznie uzasadnione jej wykorzystanie w energetyce należy zwiększyć jej stopień zagęszczenia i to najlepiej bezpośrednio na polu. Taki proces jest realizowany przez wszelkiego rodzaju prasy wysokiego stopnia zgniotu i pozwala nawet na dziesięciokrotne zwiększenie stopnia zagęszczenia słomy. Większe zagęszczenie słomy, a przez to większą gęstość energetyczną, uzyskuje się przez jej brykietowanie lub peletowanie [1, 2, 3, 6, 7, 8, 12].

Do tej pory do brykietowania najczęściej stosowano stacjonarne brykieciarki tłokowe bądź ślimakowe, dla których materiałem wyjściowym była pocięta na sieczkę lub zmielona słoma. Pod koniec lat 60. XX w. opracowano i opatentowano pierwsze polowe maszyny przyczepiane do brykietowania niepociętego na sieczkę siana oraz podwędniętych zielonek z przeznaczeniem na kiszonkę. Z opatentowanych maszyn wykonano kilka prototypów, które zbadano w warunkach polowych [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Z różnych względów, m.in. z obawy o trwałość uzyskiwanych aglomeratów nie próbowano wówczas tej metody wykorzystywać do zagęszczania słomy. Kilka lat temu w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu powrócono do pomysłu wykorzystania metody zwijania do bezpośredniego brykietowania na polu (ściernisku) pozostałej po zbiorze

kombajnowym niepociętej słomy zbóż z przeznaczeniem jej na cele energetyczne. Efektem prowadzonych prac badawczych jest uzyskanie wiedzy poznawczej i użytecznej pozwalającej na opracowanie konstrukcji ciągnikowej maszyny brykietującej słomę metodą zwijania oraz wytycznych pozwalających na jej efektywną pracę z tym materiałem [1, 2, 3].

W pracy zawarto wyniki analiz kinematyki zespołów roboczych tej maszyny.

Cel pracy

Celem pracy było wyznaczenie zachowań kinematyczno-dynamicznych konstrukcji zaczepianej do ciągnika maszyny do zbioru i zagęszczania biomasy metodą zwijania. Do realizacji tego celu opracowano wirtualne modele 3D maszyny oraz przeprowadzono symulacje komputerowe dla wyznaczenia wymuszeń kinematycznych i dynamicznych maszyny do zbioru i zagęszczania biomasy metodą zwijania.

Przedmiot badań i analiz

Zaczepiana do ciągnika maszyna jest urządzeniem do zagęszczania słomy metodą zwijania do postaci brykietów przy niskim zapotrzebowaniu na energię. Materiał w postaci luźnej słomy zbierany jest i podawany przez przenośnik listwowy do komory zagęszczania. Wysuwający się z komory zagęszczania brykiet cięty jest na odcinki o długości ok. 250 mm.

Zaczepiana do ciągnika maszyna do zbioru i zagęszczania biomasy metodą zwijania, której model przedstawia rys. 1, składa się z: ramy (1), dyszla (2), układu napędowego (3), podbieracza (4), przenośnika podającego (5), zespołu brykietującego (6), zespołu cięcia brykietu (7), przenośnika brykietów (8), układu jezdnych (9).

Zakres i metodyka badań

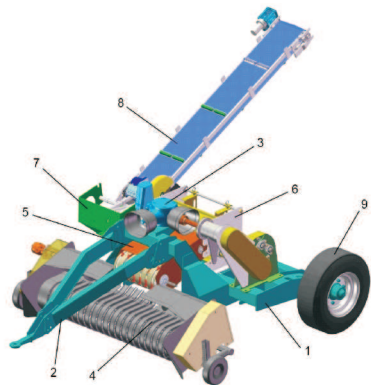
Na potrzeby przeprowadzenia symulacji kinematyczno-dynamicznych przygotowano modele obliczeniowe, które modyfikowano dla potrzeby każdego z rozpatrywanych przypadków. Przez modyfikacje należy rozumieć np.: zmianę funkcji ruchu. Model maszyny uproszczono pomijając wszystkie połączenia śrubowe oraz elementy hydrauliki siłowej. Do modelu obliczeniowego globalnie przyłożono wektor grawitacji $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$.

Dla elementów konstrukcyjnych przyjęto gęstość stali, tj. $7820 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, zgodnie z [14]. Masa konstrukcji została przez

program komputerowy obliczona automatycznie na podstawie objętości zamodelowanej bryły oraz gęstości przypisanego do niej materiału. Elementom roboczym w postaci uproszczonej przypisano masę odpowiadającą masie kompletnego zespołu.

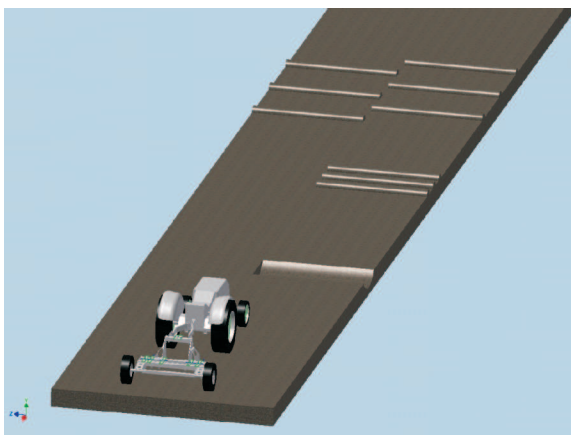
Model obliczeniowy został poddany analizie z użyciem systemu *Autodesk Inventor Professional 2013*.

W obliczeniach kinematycznych wyznaczono obciążenia związane z poruszaniem się maszyny podczas pracy przyczepionej do dolnego zaczepu transportowego ciągnika. Przejazd maszyny odbywał się na zamodelowanej trasie przejazdu z nierównościami (rys. 2).



Rys. 1. Model strukturalny zaczepianej do ciągnika maszyny do zbioru i zagęszczania biomasy metodą zwijania: 1 - rama, 2 - dyszel, 3 - układ napędowy, 4 - podbieracz, 5 - przenośnik podający, 6 - zespół brykietujący, 7 - zespół cięcia brykietu, 8 - przenośnik brykietów, 9 - układ jezdny

Fig. 1. Structural model of the trailed machine for harvesting and biomass compaction with the curling method: 1 - frame, 2 - drawbar, 3 - drive line, 4 - pick-up unit, 5 - feed conveyor, 6 - rolling up segment, 7 - cutting unit, 8 - loader conveyor, 9 - underbody



Rys. 2. Geometryczny model 3D maszyny wraz z modelem ciągnika oraz modelem trasy do przeprowadzania symulacji

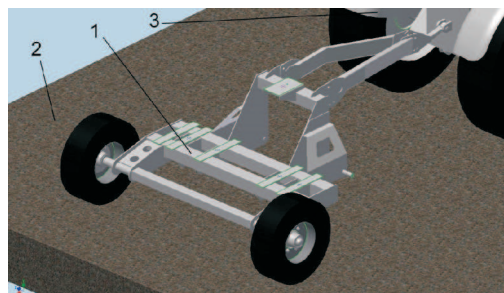
Fig. 2. Geometric 3D model of the machine with the tractor model and the model of the route for carrying out simulations

Wyznaczono maksymalne siły nacisku na koła oraz w punkcie mocowania dyszla maszyny z ciągnikiem. Dodatkowe symulacje miały na celu wyznaczenie oporów roboczych aktywnych elementów maszyny. Zasympulowano oddziaływanie sił na ramę maszyny w punktach mocowania głównych elementów roboczych układu napędowego oraz zespołu brykietującego w trakcie oddziaływania maksymalnego dopuszczalnego momentu obrotowego.

W symulacji 1 (rys. 3) wyznaczono obciążenia kół oraz mocowania dyszla maszyny w położeniu roboczym. Ciężar pochodził jedynie od masy maszyny.

Na potrzeby przeprowadzenia symulacji umieszczono model maszyny (1) na podłożu (2) za pomocą łącza przestrzennego. Wiązanie przestrzenne umożliwia dokładne ustawienie wyjścio-

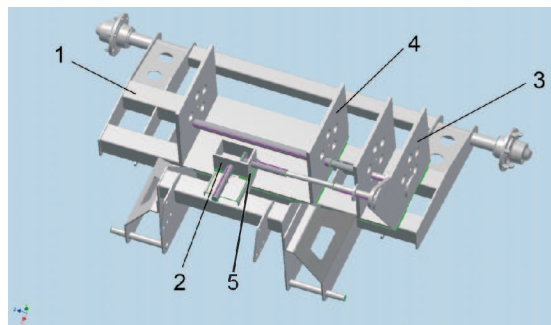
wego położenia maszyny. Koła połączone z modelem za pomocą łącza obrotowego typu zawias. Oddziaływanie kół na podłoże zamodelowano za pomocą kontaktów 3D, których parametry sztywności tłumienia oraz tarcia dobrano na podstawie wielkości ogumienia oraz właściwości materiałowych opony i podłoża. Zastosowano również uproszczony model ciągnika (3). W przypadku przejazdu transportowego odebrano jeden stopień swobody, umożliwiając obrót ciągnika względem osi pionowej, co eliminuje niepożądane zmiany toru jazdy wynikające z najazdu na nierówności. Maszyna związana została z ciągnikiem za pomocą łącza sferycznego, które umożliwia obrót dyszla we wszystkich płaszczyznach. Maszyna (1) poruszała się z prędkością $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ i pokonywała poprzeczne nierówności.



Rys. 3. Geometryczny model 3D konstrukcji nośnej maszyny: 1 - model geometryczny maszyny, 2 - model podłoża, 3 - model ciągnika

Fig. 3. Geometric 3D model of the supporting structure of the machine: 1 - geometric model of the machine, 2 - a ground model, 3 - the model of the tractor

W przypadku obliczeniowym 2 (rys. 4) wyznaczono reakcję aktywnych elementów maszyny (1) na jej ramę podczas skrajnego obciążenia w trakcie pracy.



Rys. 4. Geometryczny model 3D ramy maszyny wraz z modelami układu napędowego i zespołu brykietującego: 1 - model ramy maszyny, 2 - model przekładni głównej, 3 - model przekładni pięciodrożnej, 4 - model zespołu brykietującego, 5 - płytki

Fig. 4. The geometry of the 3D model of the machine frame along with models of the drive line and the briquetting unit: 1 - the machine frame model, 2 - the main gearbox model, 3 - the five-way gearbox model, 4 - the briquetting unit model, 5 - plates

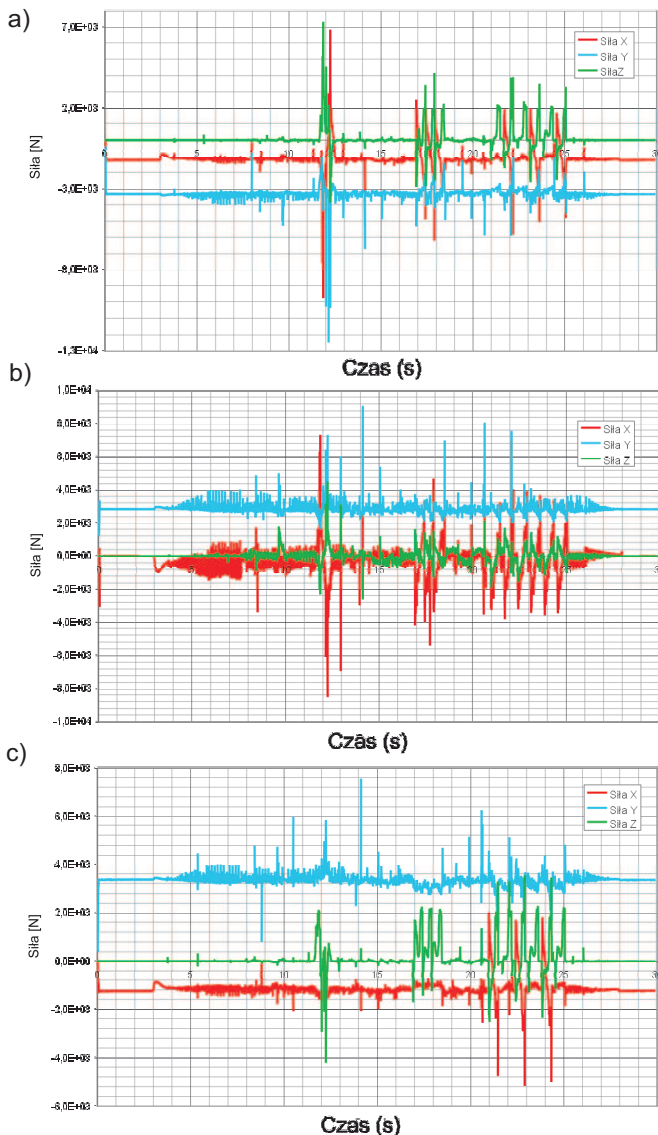
Na potrzeby przeprowadzenia symulacji model ramy maszyny (1) wykorzystano jako podstawę, na której umieszczono modele: głównej przekładni kątovej (2), przekładni pięciodrożnej (3) oraz zespołu brykietującego (4). Dodatkowo model ramy maszyny w miejscach łączenia zespołów roboczych wyposażono w płytki łączące te zespoły z ramą maszyny. Wiązania poszczególnych elementów dobrano w taki sposób, aby nie przesztynić układu. Do wału wejściowego przekładni kątovej (2) przyłożono przekazywany z ciągnika moment 2000 Nm . Jest on dalej przekazywany przez momentomierz, przekładnię łańcuchową, przekładnię pięciodrożną (3) oraz wały przegubowo teleskopowe na osie walców tworzących zespół brykietujący. Dla uproszczenia symulacji w modelu zaimplementowano tylko jeden wałek brykietujący. W celu wytworzenia momentów skręcających na ramę maszyny zablokowano możliwość obrotu walca zespołu zwijającego.

Analiza wyników badań

Analiza otrzymanych, w postaci wykresów, wyników przeprowadzonych symulacji komputerowych zachowań kinematycznych pozwala ocenić wpływ masy poszczególnych zespołów na całkowity rozkład nacisków na elementy ramy maszyny oraz wpływ warunków jazdy i własności modelu na wystąpienie naprężeń w konstrukcji ramy maszyny.

Na wykresach przejazdu w początkowej fazie ruchu widoczne jest charakterystyczne zaburzenie będące wynikiem znajdowania się modelu w położeniu nierównowagi statycznej w momencie startu obliczeń. Początkowe wartości sił są wyższe od zera, co jest to spowodowane oddziaływaniem siły ciężkości pochodzącej od masy zespołów roboczych.

W symulacji pierwszej, na wykresach (rys. 5) przedstawione zostały siły z kierunków x , y , z działające na oś piasty lewego i prawego koła oraz w punkcie mocowania dyszla maszyny z zaczepem transportowym ciągnika. Symulacja trwała 30 sekund.



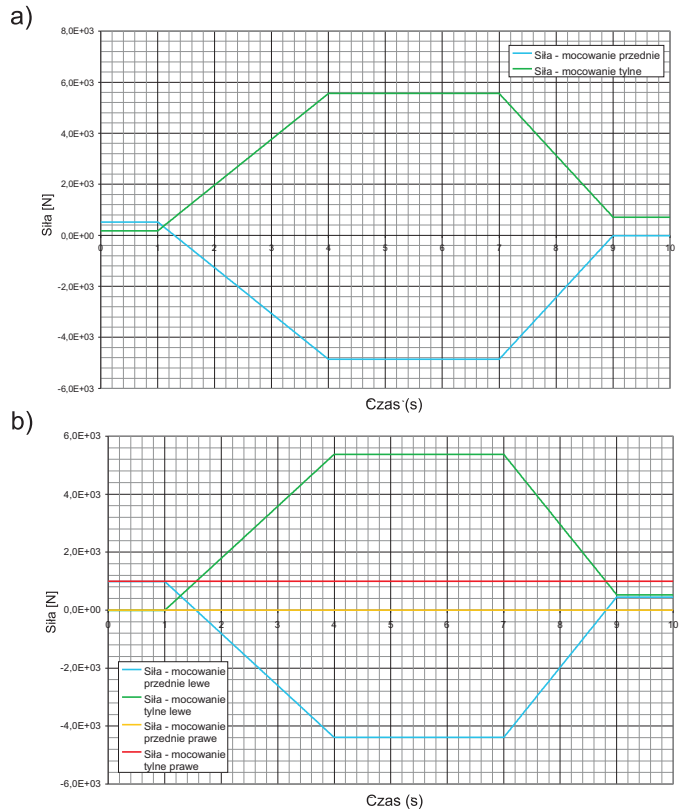
Rys. 5. Siły składowe z kierunków x , y , z , działające na: a) oś piasty prawego koła, b) oś piasty lewego koła, c) zaczep transportowy ciągnika

Fig. 5. Component forces of the directions x , y , z , influence on: a) the right wheel hub axle, b) left wheel hub axle, c) transport hitch of the tractor

Maksymalne siły działające na prawą oś koła w kierunkach x , y , z wyniosły odpowiednio 9700, 12000, 3800 N (rys. 5a). Maksymalne siły działające na lewą oś koła w kierunkach x , y , z wyniosły odpowiednio 5100, 7500, 4200 N (rys. 5b). Różnice

w wartościach dla prawej i lewej strony wynikają z asymetrycznie rozłożonych przeszkód na trasie przejazdu modelu. Maksymalne siły działające w punkcie mocowania dyszla z zaczepem transportowym ciągnika w kierunkach x , y , z wyniosły odpowiednio 8500, 9000, 4500 N (rys. 5c).

W symulacji drugiej, na wykresach (rys. 6) przedstawione zostały siły o kierunku pionowym działające w punktach mocowania przekładni pięciodrożnej oraz zespołu brykietującego. Symulacja trwała 10 sekund. W trakcie trwania symulacji moment obrotowy rośnie od 0 do 2000 Nm a następnie maleje do 0 Nm, co uwidocznione jest w przebiegach sił na poszczególnych wykresach.



Rys. 6. Siły składowe działające w: a) punktach mocowania przekładni pięciodrożnej, b) punktach mocowania zespołu brykietującego

Fig. 6. Component forces acting in: a) five-way gearbox mounting points, b) briquetting unit mounting points

Maksymalne siły działające na przednie i tylne mocowanie przekładni pięciodrożnej wyniosły odpowiednio 523, 172 N (rys. 6a). Maksymalne siły działające na przednie prawe i lewe mocowanie zespołu zwijającego wyniosły odpowiednio 10, -4400 N oraz tylne prawe i lewe wyniosły odpowiednio 990, 5400 N (rys. 6b). Wartości siły podano w postaci dodatniej i ujemnej dla identyfikacji zwrotu działania sił w poszczególnych węzłach.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań zachowań kinematyczno-dynamicznych wyznaczono symulacyjnie wartości sił działających na ramę maszyny do zboru i zagęszczania biomasy metodą zwijania powstałe podczas przejazdu po nierównościach. Uzyskane dane zostały następnie wykorzystane w kolejnym etapie projektowania, do wykonania symulacyjnych badań wytrzymałościowych mających na celu weryfikację przyjętych elementów konstrukcyjnych maszyny. Wyniki obydwu tych etapów były bazą do wykonania szczegółowego modelu strukturalnego 3D maszyny, na podstawie którego wykonano jej dokumentację konstrukcyjną.

Na podstawie wnikliwej analizy wyników wspomnianych badań wysnuto następujące wnioski:

1. Badanie symulacyjne pokazały, iż w czasie pracy maszyny największe siły pochodzące od mas jej zespołów roboczych będą oddziaływały na oś prawego koła. Jest to związane z rozmieszczeniem zespołów roboczych na ramie maszyny.
2. Wyniki niniejszego zadania posłużą do wykonania szczegółowego modelu strukturalnego 3D maszyny oraz dokumentacji technicznej.

Bibliografia

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P.: The energy-consuming of the process of straw compaction by the method of curling. Annual Review of Agricultural Engineering, 2009, 7(1), s. 41-50.
- [2] Adamczyk F., Frąckowiak P., Zbytek Z.: Sposoby wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne. Część 2. Słoma i odpady rolnicze. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, 2010, 5, s. 5-6.
- [3] Frączek, J. (red.): Przetwarzanie biomasy na cele energetyczne. Kraków, PTIR, 2010, 161-220.
- [4] Grzybek A. (red.): Rola i znaczenie odnawialnych źródeł energii w Unii Europejskiej i Polsce. Klasyfikacji i rozwój poszczególnych odnawialnych źródeł energii. Odnawialne źródła energii i działania adaptacyjne do zmian klimatu w rolnictwie i na wsi - przykłady doświadczeń w UE, 18-28, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa, 2009.
- [5] Guła A., Barcik A., Figórski A., Wajss P.: Tło polityczno-ekonomiczne istotne dla podejmowania decyzji inwestycyjnych w zakresie energetycznego wykorzystywania biomasy. Odnawialne o niekonwencjonalne źródła energii. Poradnik. Wydawnictwo Tarbonus, Kraków, 2008, s. 389-413.
- [6] Hejft, R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka problemów eksploatacji, Białystok, Politechnika Białostocka, 2002.
- [7] Kaczmarek J., Małuszyński M., Liska M.: Stan techniki w dziedzinie brykietarek pracujących na zasadzie zwijania. Maszynopis Nr PIMR-3717, PIMR, Poznań, 1974.
- [8] Kanafojski Cz., Karwowski T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2, Maszyny do zbioru ziemiopłodów, PWRiL, Warszawa, 1972.
- [9] Kobr Z., Čermak A., Lanča J.: Poznatky z výzkumu briketovani píče svinovacim způsobem v ČSR. Zemedelska Technika, 1970, 10, 621-633.
- [10] Lanča J., Čermak A.: Dalsi poznatky z výzkumu briketovani píče a nektere fyzikalne - mechanicke hodnoty briket vytvorených svinovanim. Zemedelska Technika, 1971, 10, 649-662.
- [11] Olszewski T.: Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Poznaniu, 1973.
- [12] Osobov V. I., Vasilev G. K., Golianowskij A. V.: Mashiny i oborudowanie dlya uplotnieniya seno-solomistykh materialov. Mashinostroenie, Moskva, 1974.
- [13] Uchwała nr 202/2009 z dnia 10 listopada 2009 r. w sprawie Polityki energetycznej Polski do 2030 roku.
- [14] Fischer U., Heinzler M., Naher F., Paetzold H., Gomeringer R., Kilgus R., Oesterle S., Stephan A.: Poradnik Mechanika. REA, Warszawa, 2008.

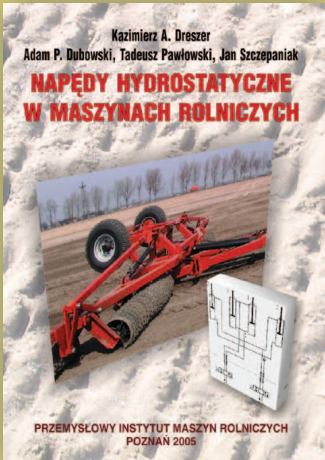
SIMULATION ANALYSIS OF KINEMATICS AND DYNAMIC BEHAVIOUR OF THE VIRTUAL MODEL MACHINE FOR HARVESTING AND BIOMASS COMPACTION WITH THE CURLING METHOD

Summary

For the purpose of determining the maximum stresses a virtual model CAD 3D machine was developed. Kinematic-dynamic parameters of working assembly of the trailed by tractor machine for harvesting and biomass compaction with the curling method were determined. Then, the simulation and engineering analysis were carried out, that constituted the basis for further design work.

Key words: biomass, roll baler, virtual model, kinematic parameters, dynamic parameters

Pracę wykonano w ramach projektu pn.: „Energoszczędna, mobilna maszyna do zbioru i zagęszczania metodą zwijania biomasy z roślin i materiałów lodygowych do produkcji energii odnawialnej” dofinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2007-2013, oś priorytetowa 2: Gospodarka regionalnej szansy, Działanie 2.2.



NAPĘDY HYDROSTATYCZNE W MASZYNACH ROLNICZYCH

ISBN 83-921598-2-9

Książka adresowana jest do studentów uczelni rolniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawiera wybrane zagadnienia z mechaniki płynów i właściwości cieczy roboczych, opis budowy oraz działania poszczególnych maszyn hydraulicznych. Ponadto przedstawia przykładowe urządzenia hydrauliczne w wybranych maszynach rolniczych, a także diagnostykę układów hydraulicznych.

Wydawca: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych
60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31
tel. +48 61 87 12 200; fax + 48 61 879 32 62;