

SIMULATION TESTS INTO CHANGES IN LOADING ON TRACTOR WHEELS CAUSED BY A MACHINE HANGING ON THE FRONT THREE-POINT SUSPENSION UNIT

Summary

The simulation tests were conducted on a mathematical model of a machine for one-phase harvest of a bush willow hanging on the front three-point suspension unit. During one working tour this designed and tested machine cuts down willow shoots, minces them and passes onto the parallel transport vehicle. The model of machine underwent simulation tests in order to, among others, determine the influence of the machine onto the loading capacity of wheels of the tractor. Three machine positions were tested: transport position, machine leaning on soil, and operational position during the cut-down of willow shoots. In these positions we calculated the pressing force of tractor wheels on the ground. The pressing forces were compared and the forces increased when the machine was in the cut-down position.

BADANIA SYMULACYJNE ZMIAN OBCIĄŻEŃ KÓŁ CIĄGNIKA ROLNICZEGO POWODOWANYCH PRZEZ MASZYNĘ ZAWIESZONĄ NA PRZEDNIM TUZ

Streszczenie

Obiektem badań był model matematyczny maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej zawieszona na przednim trzypunktowym układzie zawieszenia. Zaprojektowana w PIMR maszyna w jednym przejeździe roboczym ścina pędy wierzby, rozdrabnia je i przesyła na równolegle prowadzony środek transportowy. Model poddano badaniom symulacyjnym w celu określenia jej wpływu na obciążenia kół współpracującego ciągnika rolniczego. Przeprowadzono symulację w trzech położeniach maszyny: transportowym, wsparcia na glebie i roboczym podczas cięcia pędów wierzby. W tych położeniach wyznaczono naciski kół ciągnika na podłoże oraz porównano ich wartości. Odnotowano wzrost sił nacisków kół ciągnika na podłoże podczas cięcia pędów wierzby.

1. Wstęp

Istotnym problemem w uprawie wierzby krzewiastej jest zbiór biomasy, który następuje po zakończeniu wegetacji i trwa od listopada do końca marca. W kontekście ciągle zwiększających się powierzchni uprawy tej rośliny konieczna jest mechanizacja zbioru. Przewiduje się, że w najbliższych latach w Polsce będzie wzrastać powierzchnia uprawy biomasy stałej, w tym upraw energetycznych [1]. Ten wzrost uzależniony jest m.in. od stopnia zmechanizowania technologii produkcji, a przede wszystkim zbioru. Obecnie zbiór wierzby krzewiastej jest wykonywany ręcznie, przy użyciu siewczarni podobnych do używanych przy zbiorze kukurydzy lub samodzielnie wykonywanych przez plantatorów maszyn. Prace badawczo-rozwojowe nad maszynami do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednofazową i dwufazową podjęto w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu (PIMR) *.

2. Cel badań

Celem badań było wyznaczenie wpływu maszyny rolniczej, zawieszanej na przednim trzypunktowym układzie zawieszenia na obciążenia kół współpracującego ciągnika. Przeprowadzono symulację w trzech położeniach maszyny: transportowym, wsparcia na glebie i roboczym podczas cięcia pędów wierzby. W tych położeniach wyznaczono siły nacisków kół ciągnika na podłoże [3].

3. Przedmiot badań

Obiektem badań symulacyjnych był model matematyczny maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej zawieszana na przednim trzypunktowym układzie zawieszenia ciągnika. Zaprojektowana w PIMR maszyna w jednym przejeździe roboczym ścina pędy wierzby, rozdrabnia je i przesyła na równolegle prowadzony środek transportowy. Rama nośna zawieszana jest na przednim TUZ ciągnika. Do ramy mocowane są następujące zespoły: tnący, nagarniający, rozdrabniający, wyrzucający z kanałem transportowym zielonej masy. Stożkowo-ślimakowy zespół rozdrabniający czerpie napęd z przedniego WOM ciągnika, a pozostałe zespoły maszyny - z silników hydraulicznych i hydrauliki zewnętrznej ciągnika. Podczas pracy maszyna wsparta jest na dwóch ślizgach, które przesuwają się po podłożu.

4. Metoda badań

Cel badań osiągnięto prowadząc symulacje na modelu obliczeniowym maszyny. Dla potrzeb analiz kinematycznych model obliczeniowy opracowano oraz obliczenia przeprowadzono w systemie *Autodesk Inventor Professional 2009*, wyposażonym w moduł do obliczeń dynamicznych. Kształt części i ich wymiary, potrzebne do budowy modeli obliczeniowych, zaczerpnięto z rysunków konstrukcyjnych maszyny oraz modeli w formie elektronicznej.

W celu wyznaczenia parametrów inżynierskich a w szczególności kinematycznych konstrukcji urządzenia, zbudowano modele następujących zespołów: ramy górnej, ramy dolnej, zespołu komory nagarniającej, zespołu poda-

* Projekt rozwojowy Nr 12-0032-04/2008 dofinansowany przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego

jącego, zespołu tnącego, siłowników ustalających położenie pił tarczowych, zespołu rozdrabniającego, zespołu wyrzucającego. Elementem konstrukcyjnym przypisano gęstość stali, tj. 7820 kg/m^3 . Główne elementy nośne zostały wykonane ze stali S355J2G3, a elementy pomocnicze ze stali S235JR.

Modele obliczeniowe z dużą dokładnością odwzorowują całą konstrukcję maszyny do rozdrabniania pędów wierzby. W przeprowadzonych symulacjach, w celu uproszczenia, wykorzystano jedynie te elementy, które współpracują ze sobą. Wygenerowany model maszyny był modelem uproszczonym, ponieważ w jego budowie nie uwzględniono sworzni występujących w rzeczywistym urządzeniu oraz w więzach nie uwzględniono wpływu tarcia na pracę elementów. Ponadto w modelu pominięto wszystkie połączenia śrubowe oraz elementy hydrauliczne.

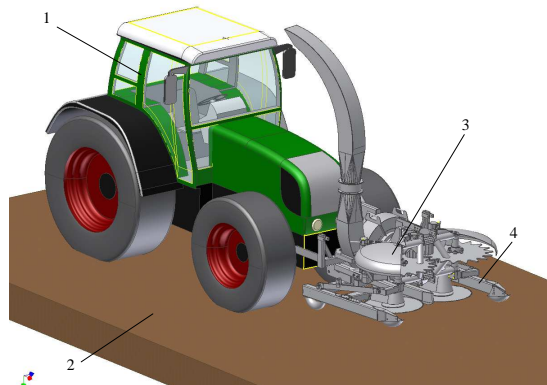
Na potrzeby przeprowadzonych symulacji kinematycznych przygotowano modele obliczeniowe, które modyfikowano na potrzeby każdej symulacji. Przez modyfikacje należy rozumieć tutaj np. zmianę funkcji ruchu oraz zmianę zdefiniowanych relacji pomiędzy częściami. Do modelu obliczeniowego globalnie przyłożono wektor grawitacji ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Masę konstrukcji program komputerowy oblicza automatycznie na podstawie objętości modelowanej bryły oraz gęstości przypisanego do niej materiału. Wynosiła ona $16,5 \text{ kN}$. Do symulacji przyjęto ciężar ciągnika $85,3 \text{ kN}$.

Jak już wspomniano, przeprowadzono symulację w trzech położeniach maszyny: transportowym (rys. 1), wsparcia na glebie (rys. 2) oraz roboczym podczas cięcia pędów wierzby. W tych położeniach maszyny wyznaczono siły nacisków kół ciągnika na podłoże. Porównano wartości sił nacisków przypadające na osie ciągnika z dopuszczalną wartością nacisku na pojedynczą oś [2].

W pierwszej symulacji wyznaczono obciążenie na koła ciągnika w momencie, gdy cały ciężar maszyny spoczywa na przednim TUZ. W tym celu umieszczono model ciągnika na podłożu (rys. 1). Koła połączono z modelem ciągnika za pomocą łączów obrotowego typu zawias. Zbudowano model oddziaływania kół na podłoże za pomocą kontaktów 3D, których parametry sztywności tłumienia oraz tarcia dobrano na podstawie wielkości ogumienia oraz właściwości materiałowych opony i podłoża. Maszyna związana została z ciągnikiem za pomocą łączów obrotowego przesuwnego z odebranymi wszystkimi stopniami swobody. Łącze zastosowano ze względu na możliwość ustawienia maszyny względem ciągnika, a odebranie stopni swobody ograniczyło ruch maszyny względem ciągnika i wyeliminowało konieczność wiązania maszyny z górnym punktem zawieszenia. Do odpowiedniego usytuowania ramy dolnej (4) względem ramy górnej wykorzystano łącze przestrzenne. Ramę dolną połączono z ramą górną za pomocą cięgna umieszczonego z obu stron. Cięgna połączono z ramą dolną i górną dwoma więzami sferycznymi. Ponieważ w symulacji pominięto siłowniki ramę dolną unieruchomiono względem ramy górnej. Dolna rama wraz z piłami tarczowymi spoczywa na podłożu. Ślizgi przednie i tylne mają styczność z podłożem za pomocą kontaktów 3D.

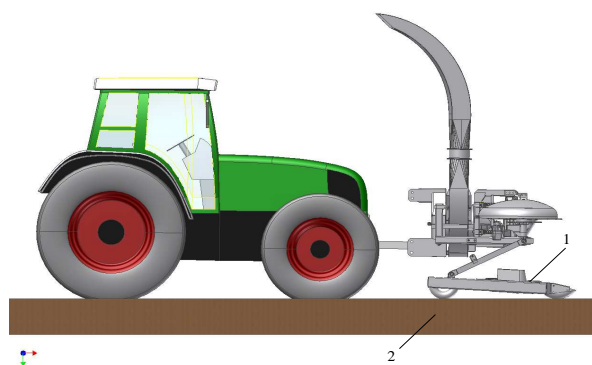
Podczas symulacji pracy maszyny dokonano w jej modelu modyfikacji, polegającej na odebraniu więzom sferycznym, łączącym cięgna z górną ramą, możliwość obrotu wzdłuż cięgna. Odebranie stopni swobody wyeliminowało konieczność modelowania siłowników hydraulicznych. Model oddziaływania ślizgów na podłoże zbudowano za pomocą kontaktów 3D, których parametry sztywności i tłumienia

oraz tarcia dobrano na podstawie właściwości materiałowych stali. Do tarcz pił przyłożono siły skrawania uzyskane w wyniku obliczeń w symulacji mającej na celu określenie sił działających na dolną ramę maszyny, powstających w wyniku cięcia.



Rys. 1. Model obliczeniowy maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej w położeniu transportowym (oznaczenia: 1 - model ciągnika, 2 - podłoże, 3 - osłony, 4 - rama dolna)

Fig. 1. Calculation model for a machine for one-phase harvest of a bush willow in a transport position (marking: 1 - tractor model, 2 - base, 3 - covers, 4 - lower frame)



Rys. 2. Model obliczeniowy maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej w położeniu roboczym (oznaczenia: 1 - rama maszyny, 2 - podłoże)

Fig. 2. Calculation model for a machine for one-phase harvest of a bush willow in an operational position (1 - machine frame, 2 - base)

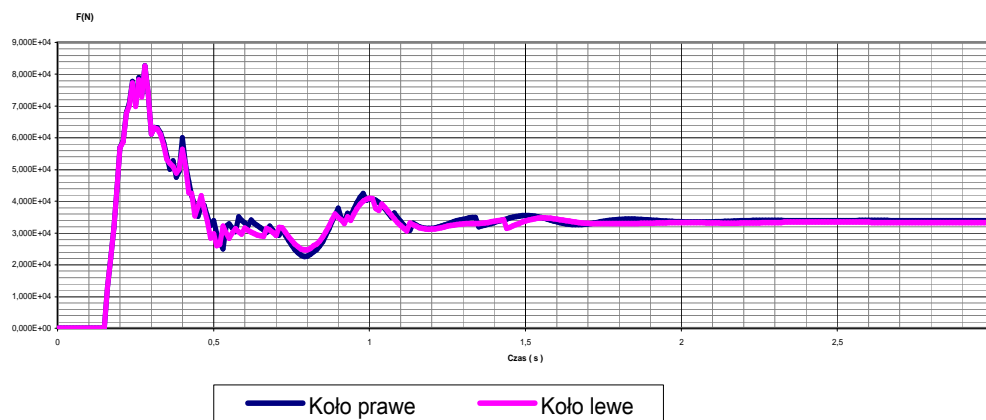
5. Wyniki

Wyniki przeprowadzonych symulacji zestawiono w postaci tabelarycznej (tab. 1). Przykładowe wykresy sił, wyznaczone podczas symulacji dla położenia transportowego maszyny, przedstawiono na rys. 3. Wyznaczano reakcje przednich i tylnych kół względem podłoża, z oznaczeniem prawej i lewej strony. Przedstawione wykresy wyskalowane są w tych samych jednostkach: oś OY wyraża siłę w [N], oś OX - czas pomiaru w [s]. W początkowej fazie symulacji na wykresach widoczne jest charakterystyczne zaburzenie (rys. 3). Wynika ono z tego, że w momencie rozpoczęcia obliczeń model znajduje się w położeniu nierównowagi statycznej.

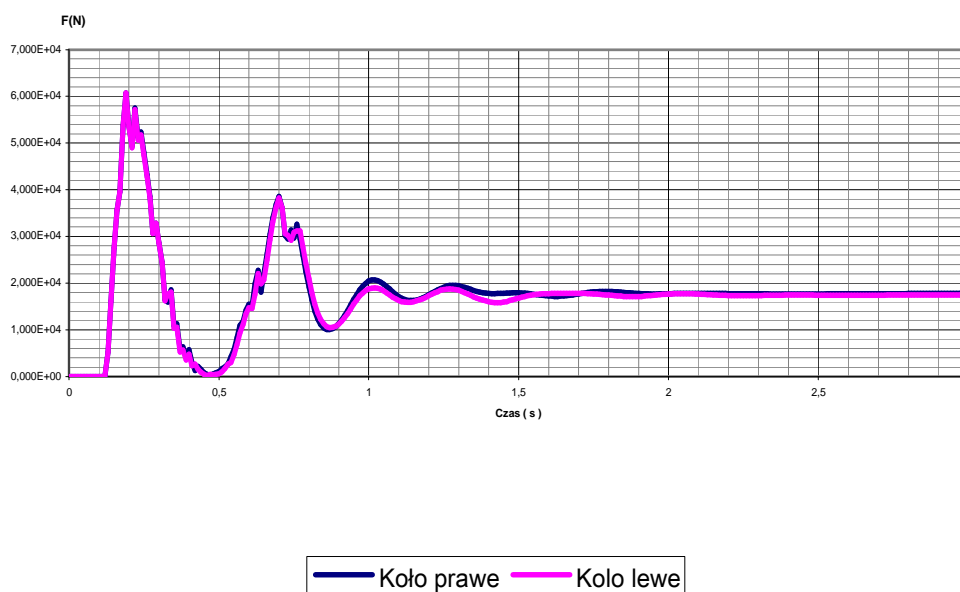
Tab. 1. Naciski kół przednich i tylnych na podłoże
 Table 1. Front wheel and back wheels' pressure on the ground

Symulacja	Naciski [N]			
	oś przednia		oś tylna	
	prawe koło	lewe koło	prawe koło	lewe koło
Położenie transportowe	34000	34000	18000	18000
Położenie spoczynkowe	31700	31700	19000	19000
Położenie robocze (ciąćcie pędów wierzby)	32400	32400	18800	18800

a)



b)



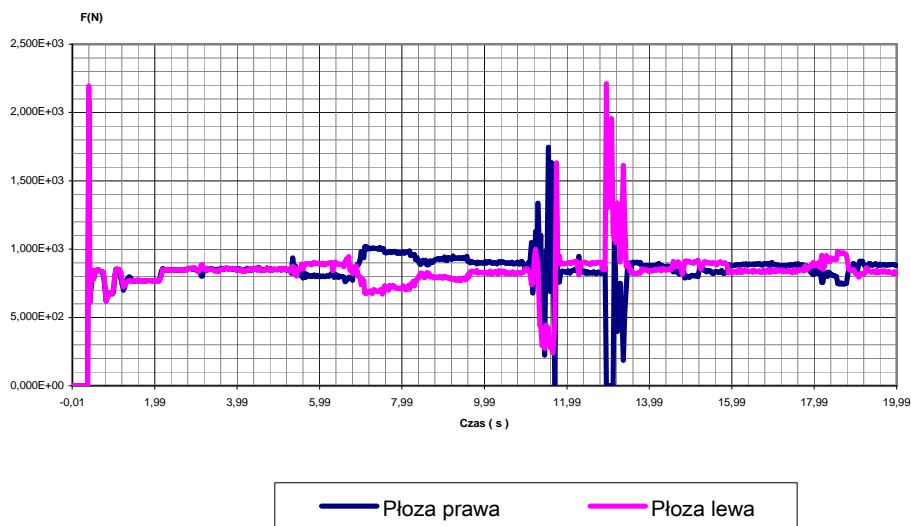
Rys. 3. Wykres sił nacisków kół przednich (a) i tylnych (b) ciągnika na podłoże podczas symulacji położenia transportowego maszyny (symulacja 1)

Fig. 3. Diagram of pressing forces of front (a) wheels and back (b) wheels of tractor onto the ground in a transporting position of the machine (simulation 1)

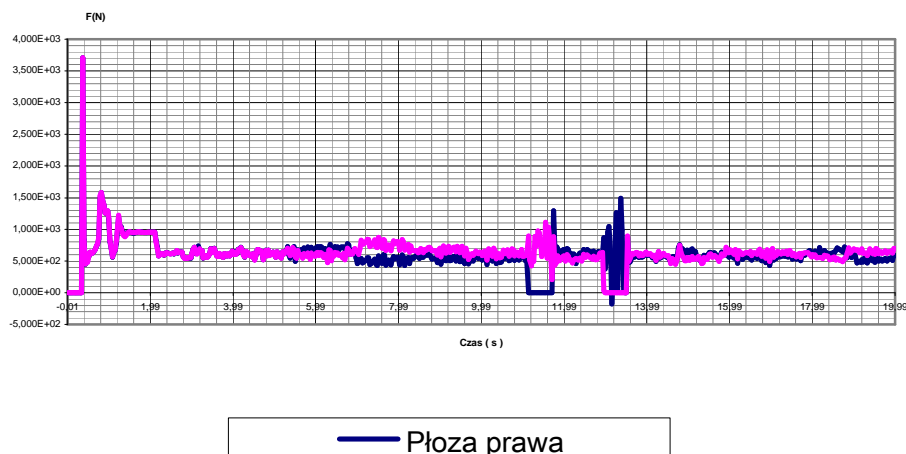
W symulacji pierwszej wartości sił przednich kół, prawego i lewego są jednakowe i po ustabilizowaniu się modelu wynoszą ok. 34 kN na każde koło (rys. 3 a). W przypadku kół tylnych wykres (rys. 3 b) rozkładów sił jest także równomierny i wynosi 18 kN nacisku na każde koło. Podczas drugiej symulacji, kiedy maszyna była wsparta o podłoże, odnotowano niewielki spadek nacisków na koła przednie ciągnika, których wartość wyniosła ok. 31,7 kN. W przypadku kół tylnych uzyskano wzrost nacisków w porównaniu do wartości uzyskanych w symulacji pierwszej. Podczas trzeciej symulacji - cięcia pędów wierzby - nastąpił nieznaczny wzrost sił na osi przedniej ciągnika

i ich obniżenie na osi tylnej w stosunku do drugiej symulacji maszyny. Wynika to z powstania oporów na przednich oraz tylnych ślizgach maszyny, które przesuwały się po podłożu. Na podstawie przeprowadzonej symulacji odczytano wartości tych oporów, które wyniosły ok. 860 N dla ślizgu przedniego i 560 N dla ślizgu tylnego (rys. 4). Podczas ruchu, gdy prawą częścią ramy dolnej maszyna najeżdża na przeszkodę (11 sekunda symulacji) o wysokości 100 mm, siła nacisku płozy na podłoże wzrasta w przedniej płozy do 1800 N oraz w tylnej do 1000 N. Wyznaczone podczas badań symulacyjnych naciski na oś napędową ciągnika nie przekraczają wartości dopuszczalnej, która wynosi 10 t.

a)



b)



Rys. 4. Wykres sił nacisków ślizgów maszyny: a) przednich, b) tylnych
Fig. 4. diagram of pressing forces of machine runners a) front b) back

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wyprowadzono następujące wnioski:

1. Badania symulacyjne maszyny do jednofazowego zbioru wierzby krzewiastej, zawieszanej na przednim TUZ ciągnika wykazały, że uzyskane wartości sił nacisków na osie ciągnika nie przekraczają dopuszczalnych wartości sił nacisku osi pojedynczej.
2. Wsparcie maszyny o podłoże powoduje odciążenie przedniej osi ciągnika o ok. 5%.
3. Symulacja położenia roboczego podczas cięcia pędów wykazała nieznaczny wzrost obciążenia osi ciągnika, wynikający z oporów ślizgów maszyny o podłoże.

7. Literatura

- [1] Faber A.: Podstawowe problemy produkcji roślin na cele energetyczne - szanse i zagrożenia. *Więś Jutra*, 2009, nr 8-9 (133-134), s. 12-14.
- [2] Dziennik Ustaw Nr 103/2004 poz. 1085. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia.
- [3] Zbytek Z. i in.: Wygenerowanie modelu maszyn do zbioru jedno oraz dwufazowego i przeprowadzenie badań symulacyjnych w zakresie kinematyki i dynamiki. *Maszynopis*, PIMR, Poznań 2009.