

SIMULATION TEST OF KINEMATIC BEHAVIOURS OF THE TILLAGE-SEED UNIT

Summary

Modern computer programs used for simulating the kinematics of machines allow to collect a great number of information concerning the structure at the early stage of the design. Such procedures make it possible to avoid errors in the construction process and reduce costs as well as time. The article is an example of a kinematic analysis of the tractor and tillage-seed unit.

Key words: tractors; tillage equipment; drilling equipment; project design; kinematics; modeling; analysis; computer simulation

SYMULACYJNE BADANIA ZACHOWAŃ KINEMATYCZNYCH AGREGATU UPRAWOWO-SIEWNEGO

Streszczenie

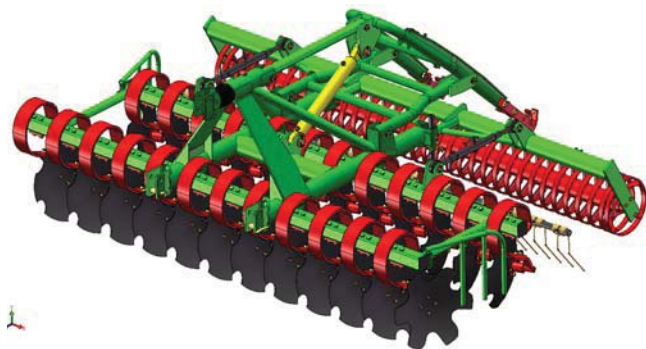
Współczesne programy komputerowe służące do symulacji kinematycznych umożliwiają zebranie wielu informacji o konstrukcji już na etapie jej projektowania. Daje to możliwość uniknięcia błędów konstrukcyjnych i ograniczenia kosztów budowy. W artykule przedstawiono przykład analizy kinematycznej zestawu ciągnik i agregat uprawowo-siewny.

Słowa kluczowe: ciągniki; maszyny uprawowe; siewniki; projektowanie; kinematyka; modelowanie; analiza; symulacja komputerowa

1. Wprowadzenie

Ciągły, dynamiczny rozwój polskiego rolnictwa wymusza na producentach maszyn rolniczych wdrażanie nowych, oryginalnych rozwiązań. Agregaty uprawowo-siewne wykonywane są zazwyczaj z różnego typu kształtowników, blach, profili kwadratowych i prostokątnych. Rozwiązaniem niespotykanym jest użycie do budowy profili o przekroju poprzecznym kołowym (rys. 1).

Podstawowym elementem każdego agregatu uprawowo-siewnego jest sprzęg, umożliwiające zagregowanie siewnika zbożowego. Zespół taki wymaga przeprowadzenia analizy poprawności ruchu tak, aby uzyskać możliwie bliskie położenie siewnika względem dolnych ciągieł TUZ ciągnika, a jednocześnie uniknąć możliwych kolizji pomiędzy elementami współpracującymi. Ważne jest również określenie sił w siłowniku sprzęgu, które występują podczas procesu podnoszenia lub opuszczania siewnika.



Rys. 1. Model 3D agregatu uprawowo-siewnego o szerokości 3 m

Fig. 1. 3D model of the tillage-seed unit of 3 m width

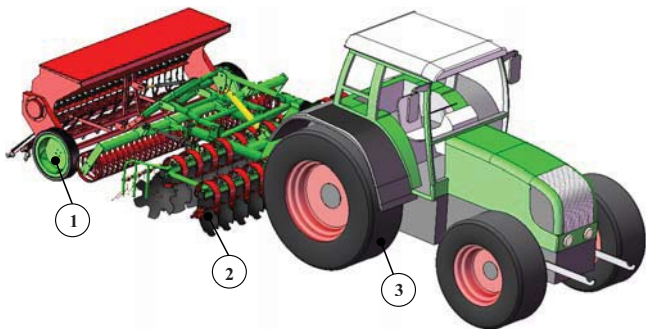
Agregaty uprawowo-siewne bardzo często współpracują z siewnikami zbożowymi o znacznej pojemności skrzyni nasiennej oraz dużej masie własnej. Przyczynia się to do odciążenia przednich kół ciągnika i utraty sterowności. Konieczne jest zatem zbadanie nacisków przypadających na przednią oś ciągnika podczas różnych warunków pracy. Nie bez znaczenia pozostaje również sprawdzenie nacisków kół tylnych ciągnika z zawieszonym agregatem i siewnikiem zbożowym na terenie pochyłym.

2. Model kinematyczny

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 30 kwietnia 2004 r., które dotyczy warunków technicznych pojazdów oraz ich niezbędnego wyposażenia, udział obciążenia osi przedniej dla każdego stanu obciążenia ciągnika nie może być mniejszy niż 20% jego masy własnej. Przepisy definiują również, iż maszyny powinny zachowywać stateczność podczas postoju na utwardzonym podłożu, o pochyleniu w dowolnym kierunku do 8,5°.

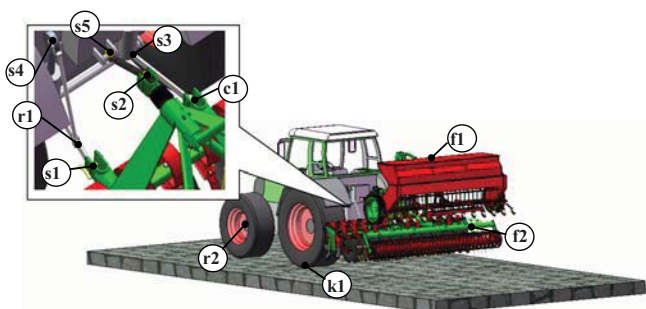
Powyższe akty prawne wymagają określenia nacisków opon ciągnika w trakcie transportu maszyny wraz z siewnikiem zbożowym na terenie pochylonym poprzecznie lub wzdłużnie o kąt 8,5°. W tym celu zbudowano model 3D, przedstawiony na rys. 2, który posłużył do opracowania modelu kinematycznego [1].

Model obliczeniowy utworzony na potrzeby symulacji składał się z brył sztywnych (o odpowiednich cechach geometrycznych i fizycznych takich jak: położenie środka ciężkości, objętość, gęstość materiału, momenty bezwładności itd.), które odpowiadają określonym zespołom bądź zespołom roboczym, powiązanych między sobą właściwymi więzami – relacjami oddającymi rzeczywiste zachowanie się konstrukcji [3]. Więzy te definiowały rodzaj ruchu i liczbę stopni swobody poszczególnych części, opisując ich ruch względny (tab. 1).



Rys. 2. Model 3D będący podstawą modelu kinematycznego; 1 – siewnik zbożowy, 2 – agregat uprawowo-siewny, 3 – ciągnik

Fig. 2. 3D model as a base of kinematic model: 1 – grain drill, 2 – tillage-seed unit, 3 – tractor

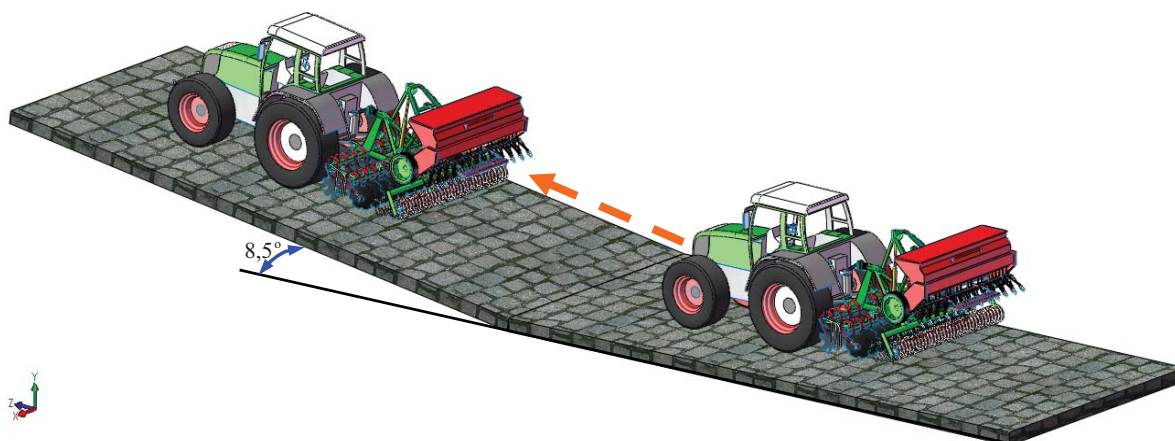


Rys. 3. Rodzaje więzów zastosowanych w modelu do analiz kinematycznych: S – więź kulowy, R – więź obrotowy, F – więź stały, C – więź cylindryczny

Fig. 3. The types of bonds used in the model in the kinematic analysis: S – ball constraint, R – rotational constraint, F – constant constraint, C – cylindrical constraint

Tab. 1. Wykaz więzów użytych w modelu kinematycznym
Table 1. The list of constraints used in the kinematic model

Więź	Symbol	Liczba odebranych stopni swobody	
		Przesunięcia	Obroty
Obrotowy	r	3	2
Przesuwny	t	2	3
Cylindryczny	c	2	2
Kulowy	s	3	0
Stały	f	3	3



Rys. 4. Symulacja podjazdu ciągnika wraz z agregatem uprawowo-siewnym na teren o kącie pochylenia 8,5°
Fig. 4. Simulation of driving of the tractor and tillage – seed unit into the terrain inclined at an angle of 8.5°

Na rys. 3 pokazano graficzną reprezentację więzów kinematycznych. Grunt zdefiniowano jako bryłę nieruchomą. Kontakty typu 3D wykorzystano do zamodelowania więzów między kołami ciągnika a podłożem. Zadano do obliczeń elastyczny kontakt kół jezdnych ciągnika z podłożem. Określono, że podłoże, po którym porusza się model kinematyczny, to mokry beton. Wartość współczynnika przyczepności μ na takiej powierzchni równy jest 0,8.

Wszystkim częściom modelu kinematycznego przypisano odpowiednie materiały. Elementy metalowe zbudowane były ze stali o gęstości 7800 kg/m^3 , zaś opony ciągnika wykonane były z gumy o gęstości 950 kg/m^3 . W modelu kinematycznym zadano grawitację $g=9,81 \text{ m/s}^2$ poprzez implementację globalnego wektora przyspieszenia.

Elementy modelu kinematycznego charakteryzowały się następującą masą: ciągnik – 4000 kg, agregat uprawowo-siewny – 1050 kg, siewnik zbożowy z napełnioną skrzynią nasienną – 700 kg. Przygotowany model posłużył do wykonania symulacji:

- podjazdu ciągnikiem wraz z agregatem uprawowo-siewnym i siewnikiem na teren o kącie wznoszenia $8,5^\circ$,
- podjazdu ciągnikiem wraz z agregatem uprawowo-siewnym i siewnikiem na teren o bocznym kącie nachylenia równy $8,5^\circ$.

3. Symulacja zachowań kinematycznych zestawu ciągnik i agregat

W trakcie symulacji najazdu ciągnika z zagregowaną maszyną na teren o kącie wznoszenia $8,5^\circ$ rejestrowano naciski przypadające na przednią oś ciągnika. Czas symulacji wyniósł 14 s [2].

Zgodnie z przepisami współczynnik sterowności dla agregatu ciągnik + narzędzie wynosi:

$$W_s = \frac{R'_{pc}}{G_c} \geq 0,2$$

gdzie:

- R'_{pc} nacisk przedniej osi ciągnika (z zagregowaną maszyną - narzędziem w pozycji transportowej),
 G_c ciężar samodzielnego ciągnika.

Przyjęty do obliczeń ciągnik charakteryzował się ciężarem własnym równym 40000 N. Ciężar przypadający na oś przednią wynosił 16000 N. Odległość pomiędzy osiami była równa 2295 mm. Minimalna wartość nacisków przypadająca na przednią oś powinna wynieść:

$$R'_{pc} = G_c * 0,2$$

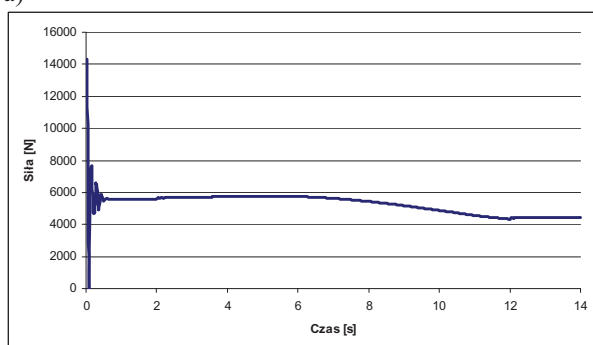
$$R'_{pc} = 40000 * 0,2 = 8000 N.$$

Minimalna wartość nacisków przypadająca na koło wynosi:

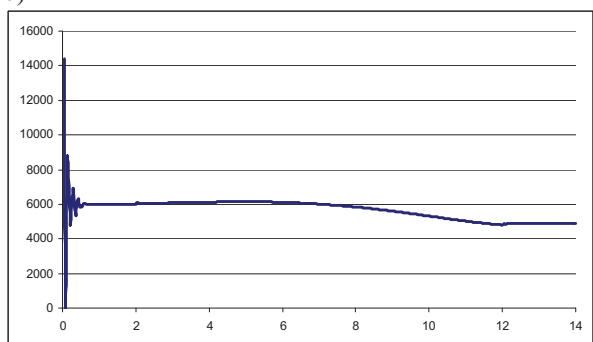
$$R'_{pckolo} = 4000 N.$$

Przeprowadzona symulacja najazdu ciągnika wraz z agregatem uprawowo-siewnym na teren o kącie wznoszenia 8,5° pozwoliła na wyznaczenie przebiegu nacisków przedniej osi ciągnika w zależności od czasu symulacji. Uzyskane wartości nacisków prawego i lewego koła ciągnika były na podobnym poziomie. Na rys. 5 (a, b) przedstawiono przebiegi, jakie wyznaczono dla lewego i prawego koła przedniej osi ciągnika.

a)



b)



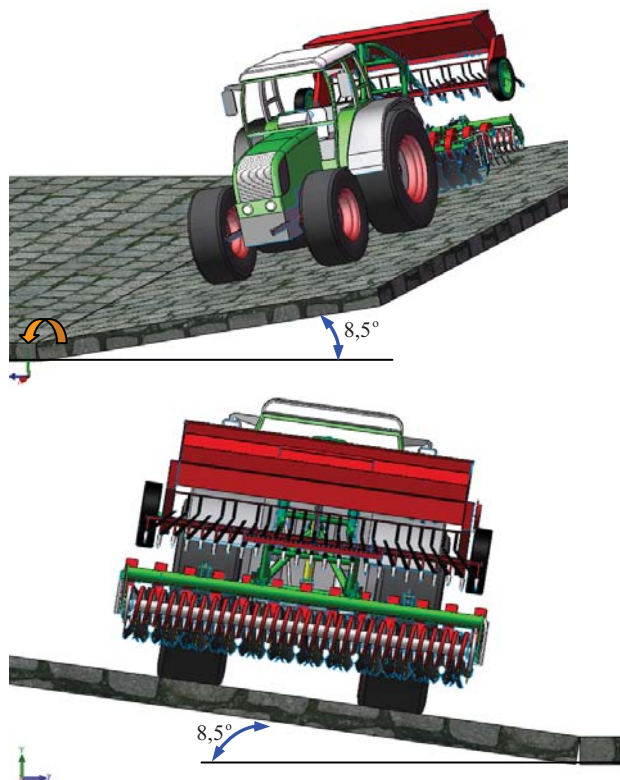
Rys. 5. Przebiegi średniego nacisku lewego (a) i prawego (b) koła przedniej osi ciągnika na podłoże w zależności od czasu symulacji

Fig. 5. Course of average pressure of the left (a) and right (b) wheel of the tractor's front axle to the ground according to a simulation time

W początkowej fazie symulacji występuje charakterystyczne zaburzenie. Wynika ono z faktu, że w momencie startu obliczeń model znajduje się w położeniu nierównowagi statycznej. Odczytane z wykresu wartość nacisku lewego i prawego, przedniego koła ciągnika jest zbliżona i wynosi 4500 N. Jest ona większa od minimalnej wartości nacisku przedniego koła ciągnika na grunt, która wynika z przepisów prawnych.

Symulacja podjazdu ciągnikiem wraz agregatem uprawowo-siewnym i siewnikiem na teren o bocznym kącie nachylenia ilustruje rys. 6. W trakcie symulacji rejestrowano naciski występujące na kole lewym i prawym przedniej

oraz tylnej osi ciągnika. Ciągnik z zagregowaną maszyną zachowuje warunki stateczności, jeżeli wartość nacisków kół na podłoże jest większa od zera.



Rys. 6. Symulacja podjazdu ciągnika wraz z agregatem uprawowo-siewnym na teren o bocznym kącie nachylenia równym 8,5°

Fig. 6. Simulation of driving of the tractor and tillage - seed unit on terrain with lateral tilt of 8.5°

Na rys. 7 a, b, c przedstawiono uzyskane przebiegi nacisków kół ciągnika na podłoże podczas symulacji podjazdu wraz z zagregowaną maszyną na teren o bocznym kącie pochylenia 8,5°. Podobnie jak w przypadku symulacji podjazdu zestawem pod wzniesienie, w początkowej fazie symulacji występuje charakterystyczne zaburzenie związane ze rozpoczęciem obliczeń.

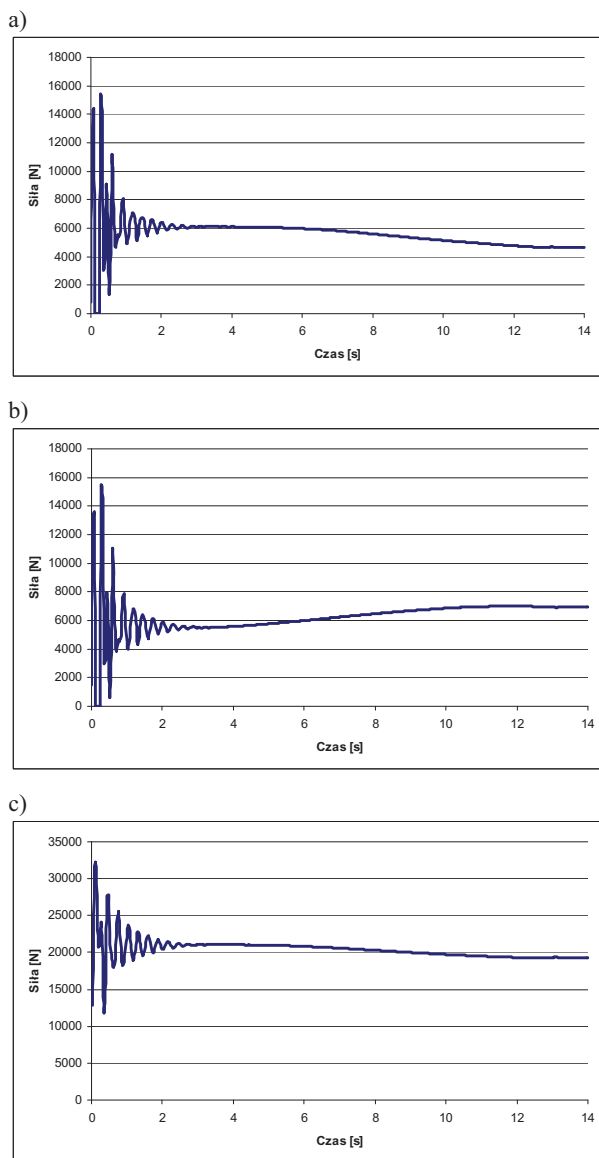
4. Symulacja podnoszenia siewnika zbożowego

Łączenie siewnika zbożowego z agregatem uprawowym jest możliwe dzięki zastosowaniu sprzęgu siewnika. Właściwie zaprojektowany sprzęg siewnika umożliwia wyniesienie siewnika zbożowego na odpowiednią wysokość i możliwie blisko od dolnych ciężarów TUZ ciągnika. Bardzo ważne jest również właściwe zamocowanie siłownika hydraulicznego, który wymusza ruch całego mechanizmu. Prawidłowe zamocowanie siłownika hydraulicznego przyczynia się do ograniczenia wartości występujących w nim sił.

Celem symulacji podnoszenia siewnika zbożowego było wyznaczenie sił w siłowniku podnoszenia i opuszczania sprzęgu, wykrycie ewentualnych kolizji pomiędzy elementami sprzęgu. Pozycją wyjściową w symulacjach była maszyna zaczepiona na trzypunktowym układzie zawieszenia (rys. 8). W modelu uwzględniono masy, które wyliczane są przez system na podstawie objętości elementów konstrukcyjnych i gęstości przypisanego materiału. Na te masy działają przyspieszenia, które generują dodatkowe obciążenia w konstrukcji. Zastosowane więzy pozwoliły na odzwiercienie

dlenie rzeczywistego zachowania się maszyny podczas symulacji.

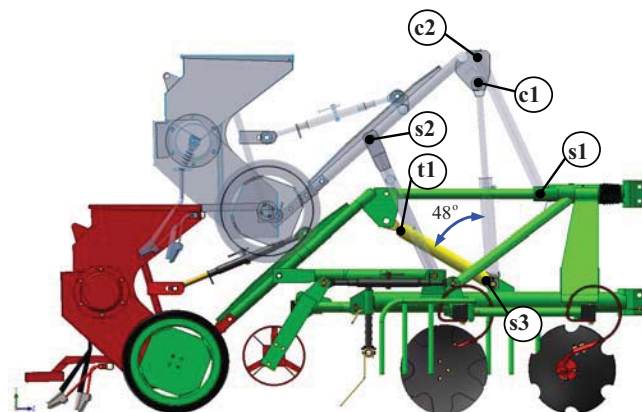
Do rozkładania i składania sprzęgu siewnika użyto siłownika hydraulicznego dwustronnego działania o skoku 400 mm. Na sprzęgu został zawieszony siewnik o masie całkowitej 700 kg. Masa taka równa jest masie siewnika wraz z ładunkiem i wynika z oferty producentów krajowych i zagranicznych siewników przeznaczonych do współpracy z agregatami uprawowo-siewnymi o szerokości 3 m. W trakcie symulacji wymuszano wysuwanie siłownika o 400 mm. Odbywało się to przez zdefiniowanie przemieszczenia tłoczyska względem cylindra. Czas wysuwania siłownika wynosił 8 sek [2].



Rys. 7. Przebiegi średniego nacisku kół ciągnika na podłoże podczas symulacji podjazdu ciągnika wraz z agregatem uprawowo-siewnym na teren o bocznym kącie nachylenia równym $8,5^\circ$: (a) – koło lewe przedniej osi ciągnika, (b) – koło prawe przedniej osi ciągnika, (c) – koło lewe tylnej osi ciągnika

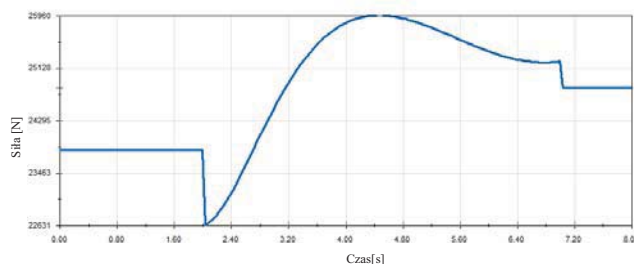
Fig. 7. Course of average pressure of the tractor wheels onto the ground during the driving of the tractor and tillage-seed on terrain with lateral tilt of $8,5^\circ$: (a) – left wheel of the front axle, (b) – the right wheel of the front axle, (c) – the left wheel of the rear axle

Wynik, jaki otrzymano przedstawiono w postaci wykresu siły w zależności od czasu podnoszenia (rys. 9), a uzyskane wartości pozwoliły na zweryfikowanie poprawności jego dobru.



Rys. 8. Model wirtualny maszyny wraz z zadanymi więzami do analiz kinematycznych siłownika przestawiania sprzęgu z pozycji roboczej do pozycji transportowej: T – więź przesuwny, C – więź cylindryczny, S – więź kulowy

Fig. 8. Virtual model of the machine, along with the specified constraints defined for the purpose of conducting kinematic analysis of the actuator (hydraulic cylinder) adjusting the working position of the coupling to the transport position: T – sliding constraint, C – cylindrical constraint, S – ball constraint



Rys. 9. Przebieg siły w siłowniku podczas podnoszenia siewnika zbożowego, siła wypadkowa [2]

Fig. 9. Course of the force recorded during lifting of the grain drill (resultant force) [2]

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych symulacji kinematycznych stwierdzono, że ciągnik zagregowany z badaną maszyną zachowuje sterowność podczas jazdy po podłożu utwardzonym o kącie pochylenia do tyłu równym $8,5^\circ$ oraz nie traci stateczności podczas jazdy po terenie utwardzonym, pochylonym na bok o $8,5^\circ$.

Maksymalna wartość siły wypadkowej w siłowniku sprzęgu siewnika podczas podnoszenia siewnika równa jest 25960 N.

6. Bibliografia

- [1] Pawłowski T., Grzechowiak R., Rutkowski J., Szczepaniak J.: Modele obliczeniowe w procesie projektowania i weryfikacji konstrukcji typoszeregu wałów uprawowych o szerokościach roboczych 9, 12 i 15 m. PIMR, Poznań, 2011.
- [2] Rogacki R., Wasieczko P., Szczepaniak M.: Typoszereg uniwersalnych agregatów uprawowo-siewnych o szerokości roboczej 2,5 do 3 m. Zad. 4. Przeprowadzenie symulacji kinematycznych w aspekcie kinematycznym i wymuszeń dla różnych warunków pracy agregatu. PIMR, Poznań, 2011.
- [3] Pliki pomocy systemu SolidWorks Motion 2011.