

COMPUTER SIMULATION OF THE PROCESS OF FOLDING AND UNFOLDING OF MAIN FRAME OF AGRICULTURAL IMPLEMENT

Summary

Computer simulations of the process of folding and unfolding of main frame of agricultural implement which were carried out and the phase of designing are discussed in the paper. Elaborated geometrical model of the main frame was put to the analysis to determine the influence of implement position changes on reactions in the points of its mounting on the tractor as well as to determine the influence of changes of positions of the frame side arms on reactions in the points where hydraulic cylinders are fixed. Then the location and shape of the stops and the connecting rod were determined. As a result of these works created was construction of the agricultural implement main beam which will be a base for carrying out strength analysis of calculation model FEM of the whole construction of the agricultural multifunctional implement.

KOMPUTEROWA SYMULACJA PROCESU SKŁADANIA I ROZKŁADANIA RAMY NOŚNEJ NARZĘDZIA ROLNICZEGO

Streszczenie

Omówiono symulacje komputerowe procesu składania i rozkładania ramy nośnej narzędzia rolniczego przeprowadzone w fazie projektowania. Opracowany model geometryczny ramy nośnej poddano analizie wpływu zmiany położenia narzędzia na reakcje w punktach zawieszenia na ciągniku, wpływu zmiany położenia ramion bocznych ramy na reakcje w miejscach mocowania siłowników oraz określono położenie i kształt zderzaków i łącznika. W wyniku podjętych prac uzyskano konstrukcję belki nośnej narzędzia rolniczego stanowiącą podstawę do przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej modelu obliczeniowego MES całej konstrukcji wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego.

Wstęp

Stosowanie technik komputerowych w projektowaniu pozwala konstruktorowi stworzyć konstrukcję spełniającą jego założenia. Jednocześnie korzystając z zaawansowanych metod modelowania konstrukcji można przeprowadzić obliczenia i symulacje komputerowe tworzonej konstrukcji. W wyniku tych działań uzyskuje się informację o występujących siłach w wybranych elementach konstrukcji oraz zachowań kinematycznych [1]. W pracy przedstawiono przebieg i wyniki komputerowej symulacji składania ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego. Działania te przeprowadzono na modelu obliczeniowym narzędzia ramy.

Opis ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia

Wielofunkcyjne narzędzie uprawowo-pielęgnacyjne, z wymiennymi polami roboczymi, przeznaczone jest do mechanicznej pielęgnacji upraw oraz przedsięwzięcia uprawy gleby. W zależności od zamocowanych na ramie elementów roboczych narzędzie może być chwastownikiem lub lekkim agregatem uprawowym. Rama ma konstrukcję jednobelkową i składa się z ramy głównej z układem zawieszenia i połączonych z nią zawiasowo dwóch skrzydeł bocznych z przykręcanymi segmentami skrajnymi. Taka segmentowa budowa ramy umożliwia jej składanie i zawieszanie na niej 4 lub 6 pól roboczych, przy czym 2 pola zawieszane są na ramie głównej, a po 1 lub 2 na skrzydłach bocznych. Skrzydła boczne składane są nad ramą główną hydraulicznie, przy czym kąt ich obrotu jest większy od

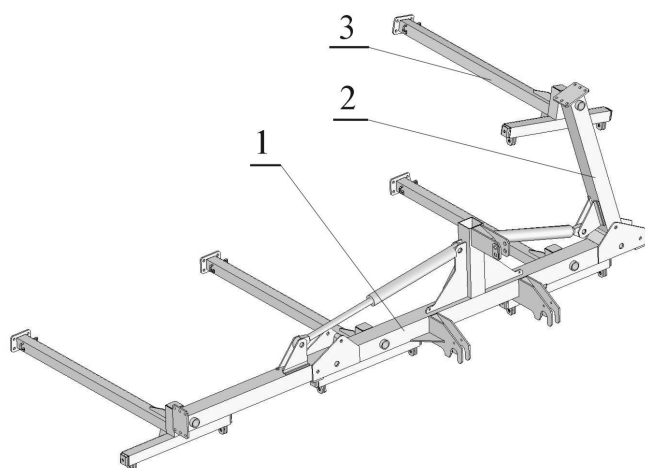
90°, a więc po złożeniu są one przechylone do środka. Do tego celu zastosowano siłowniki hydrauliczne tłokowe, dwustronnego działania o oznaczeniu CJ2F-16-50/36/630z produkcji Zakładu Elementów Hydrauliki Siłowej w Lubaniu. Powinny one zapewnić prawidłowość składania nawet przy nie w pełni sprawnej hydraulice zewnętrznej ciągnika. Na belce ramy, w rozstawie odpowiadającym szerokości pól roboczych, zamocowane są wahliwie na czopach zawiesia, które podczas składania skrzydeł bocznych umożliwiają poziomowanie się wraz z zawieszonymi na nich zespołami roboczymi.

Opracowanie modelu obliczeniowego ramy nośnej

Ponieważ narzędzie może pracować w różnych konfiguracjach roboczych do przeprowadzonych symulacji komputerowych przyjęto dwa warianty: 4-polowy agregat i 6-polowy chwastownik [2]. Geometryczny model konstrukcji ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia w omawianych wariantach roboczych przedstawiono na rys. 1 i 2. Podstawowymi elementami konstrukcji, istotnymi dla utworzenia modelu, jest rama główna z układem zawieszenia i z hydraulicznym układem składania (rys. 1 i 2, poz. 1), skrzydła boczne (rys. 1 i 2, poz. 2), zawiesia (rys. 1 i 2, poz. 3), segmenty skrajne (rys. 1 i 2, poz. 4) i podpora (rys. 2, poz. 5). Pozostałe elementy konstrukcji, jak pola robocze chwastownika lub brony zębowej średniej, włóki przednie i tylne, wały strunowe, elementy instalacji hydraulicznej, spulchniacze śladów kół ciągnika i koła kopiujące zostały uwzględnione w modelach w postaci mas skupionych oraz elementów modelowanych w sposób uproszczony.

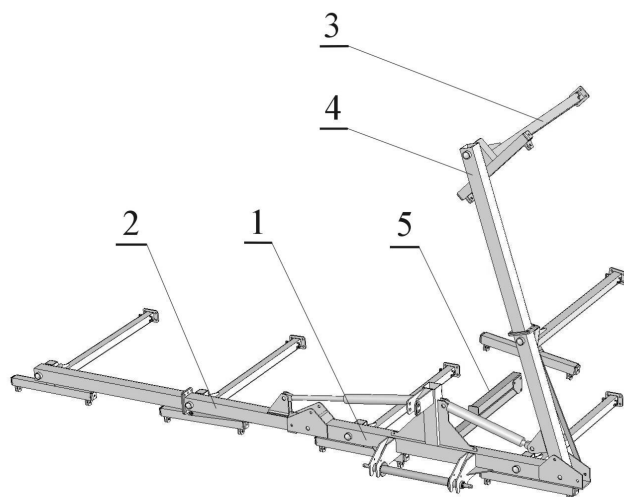
Analiza zachowań kinematycznych ramy nośnej narzędzia

Wielofunkcyjne narzędzie jest składane do transportu hydraulicznie. Zaproponowany system składania umożliwia uniesienie skrzydeł bocznych nad ramę główną i przechylenie ich do środka. Składanie ramy realizowane jest dwoma siłownikami hydraulicznymi tłokowymi, dwustronnego działania CJ2F-16-63/36/500z. W czasie prowadzonych analiz symulowano proces podnoszenia rozłożonego narzędzia z położenia roboczego w położenie transportowe (do przejazdów na uwrociach nie wymagających składania narzędzia) oraz składania i rozkładania dwóch wersji narzędzia: agregatu i brony chwastownik do przejazdów transportowych po drogach. Do tego celu opracowano model bryłowy ramy nośnej 4-polowego agregatu i 6-polowego chwastownika (rys. 3 i 4). Z uwagi na charakter pracy konstrukcji nośnej analizowanych modeli przyjęto wielowariantowy system obciążeń uwzględniający wymuszenia pochodzące od masy własnej zamodelowanej konstrukcji nośnej, masy zamodelowanych elementów roboczych, reakcji gruntu zamodelowanej w uproszczeniu.



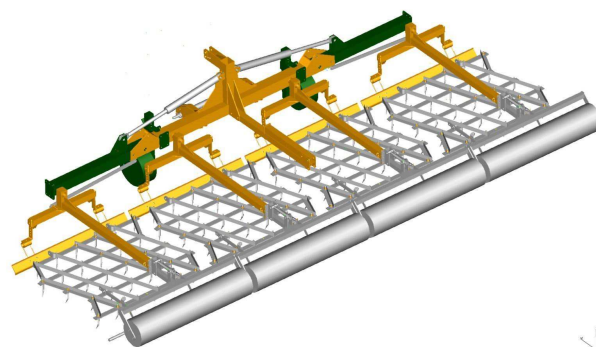
Rys. 1. Geometryczny model konstrukcji ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego w wariantcie 4-polowego agregatu do przedsięwziętej uprawy: 1 - rama główna z układem zawieszenia i z hydraulicznym układem składania, 2 - skrzydła boczne, 3 - zawiesia, 4 - segmenty skrajne

Fig. 1. Geometrical model of main frame construction of multifunctional agricultural implement in variant of 4-field aggregate for pre-planting cultivation: 1 – main frame with mounting system and hydraulic folding system, 2 – side wings, 3 – suspension rods, 4 – side segments



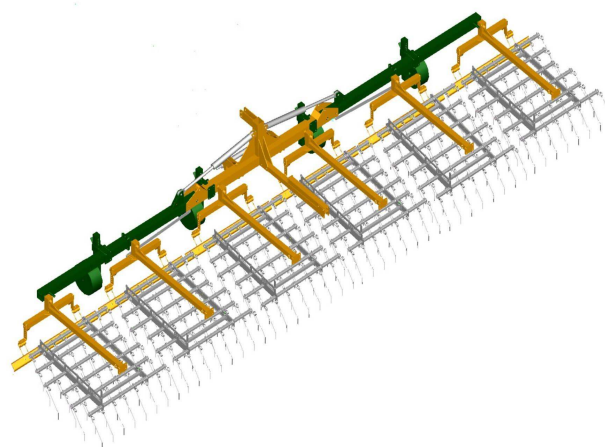
Rys. 2. Geometryczny model konstrukcji ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego w wariantcie 6-polowej brony chwastownik: 1 - rama główna z układem zawieszenia i z hydraulicznym układem składania, 2 - skrzydła boczne, 3 - zawiesia, 4 - segmenty skrajne, 5 - podpora

Fig. 2. Geometrical model of main frame construction of multifunctional agricultural implement in variant of 6-field weeder harrow: 1 - main frame with mounting system and hydraulic folding system, 2 – side wings, 3 – suspension rods, 4 – side segments, 5 - support



Rys. 3. Bryłowy model ramy nośnej 4-polowego agregatu do przedsięwziętej uprawy

Fig. 3. Solid model of main frame of 4-field aggregate for pre-planting cultivation



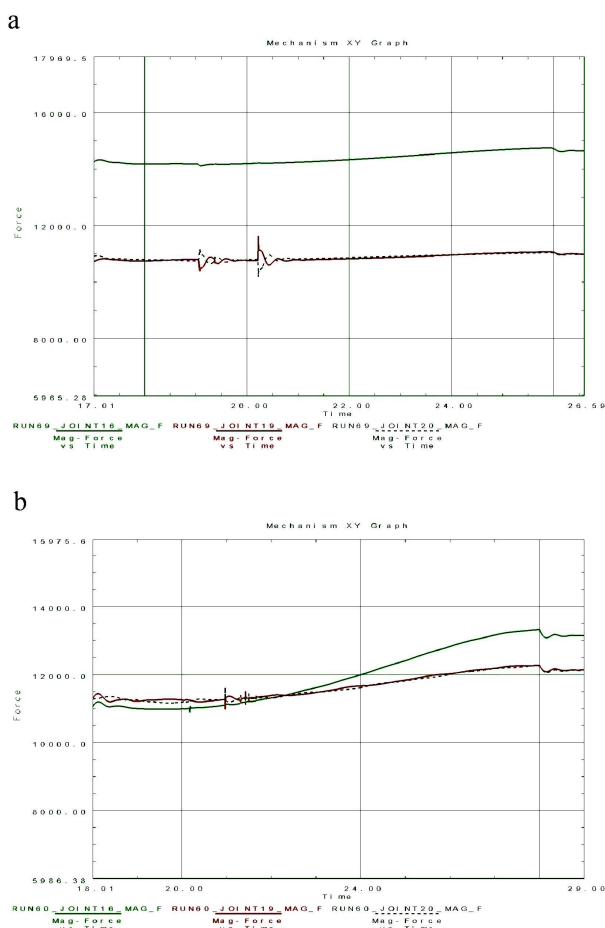
Rys. 4. Bryłowy model ramy nośnej 6-polowej brony chwastownik

Fig. 4. Solid model of main frame of 6-field weeder harrow

Opracowany model geometryczny poddano analizie wpływu zmiany położenia narzędzia na reakcje w punktach zawieszenia na ciągniku, wpływu zmiany położenia ramion bocznych ramy na reakcje w miejscach mocowania siłowników oraz określono położenie i kształt zderzaków i łącznika:

Wartości sił występujące w poszczególnych punktach TUZ

Wartości sił występujące w poszczególnych punktach trzypunktowego układu zawieszenia określono podczas symulacji procesu wydzwigu, składania i rozkładania ramy nośnej narzędzia. Największe wartości siły występują w górnym węźle układu zawieszenia i wynoszą dla agregatu 14,9 kN, a dla brony chwastownika 13,5 kN. W wersji agregatu większa siła wynika z faktu, że składowe elementy robocze (włóka tylna oraz wał strunowy) są znacznie oddalone od dolnych punktów zawieszenia narzędzia. Natomiast przebiegi sił w dolnych węzłach określone podczas procesu składania i rozkładania ramy są podobne. Przebiegi czasowe sił występujących w poszczególnych punktach trzypunktowego układu zawieszenia podczas rozkładania ramy przedstawiono na rys. 5.

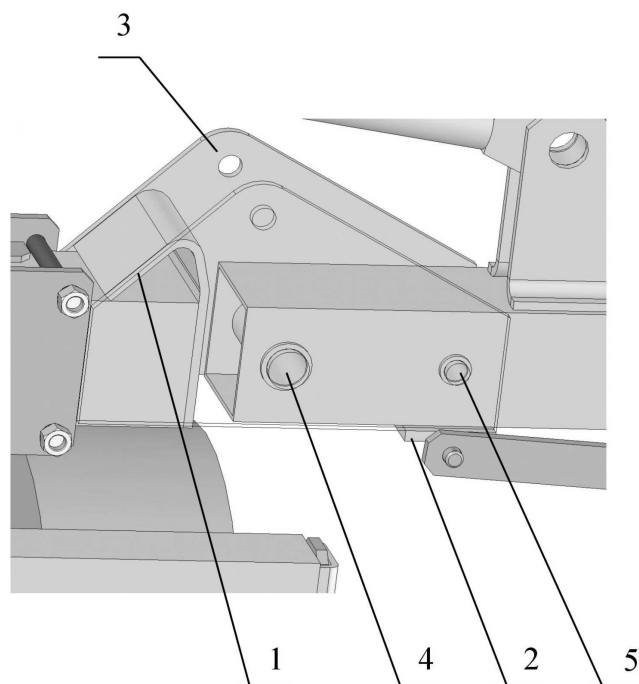


Rys. 5. Przebiegi czasowe sił występujących w poszczególnych punktach trzypunktowego układu zawieszenia podczas rozkładania ramy: a – agregat, b – brona chwastownika, oznaczenie kolorów: zielony – górny punkt zawieszenia, czarny – prawy dolny punkt zawieszenia, czerwony - lewy dolny punkt zawieszenia

Fig. 5. Time courses of forces occurring in the points of 3-point linkage during frame unfolding: a – aggregate, b – weeder harrow, colours indicate: green – upper linkage point, black – right lower linkage point, red – left lower linkage point

Zmiana położenia ramion bocznych ramy a reakcje w miejscach mocowania siłowników

Określono wartości sił występujących w punktach podparcia siłowników na belce ramy w zależności od czasu symulacji procesu składania i rozkładania ramy nośnej. Przebieg mają podobny charakter, ale występują znaczne różnice w wartościach sił. Dla brony chwastownika są one wielokrotnie wyższe niż dla agregatu. Największa wartość reakcji występuje na początku realizacji ruchu, w chwili rozpoczęcia procesu składania. Dla agregatu siła zmienia się w zakresie od 6,8 kN od momentu rozpoczęcia procesu składania do zera. Dla chwastownika odnotowano podobny przebieg z tym, że wartość siły w momencie rozpoczęcia procesu składania wynosi 30,5 kN. Natomiast przebieg siły podczas rozkładania ma inny charakter. Siła zmienia się tutaj od wartości 4,8 kN (agregat) i 12 kN (chwastownik) w momencie rozpoczęcia rozkładania, potem szybko maleje do zera w punkcie martwym, a następnie rośnie znowu do wartości 6,7 kN dla agregatu i 30,1 kN dla chwastownika. Większe wartości sił podczas składania i rozkładania narzędzia w wersji chwastownika wynikają z większej szerokości roboczej, a tym samym większej długości skrzydeł bocznych ramy, które są składane do transportu. Przykładowy przebieg czasowy wartości siły wyznaczony w węzłach mocowania siłowników na ramie podczas rozkładania ramy narzędzia przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Przyjęty kształt i położenie zderzaków ustalających położenie skrzydeł bocznych ramy: 1 - zderzak ograniczający pochylenie skrzydła bocznego, 2 - zderzak ograniczający rozłożenie skrzydła bocznego, 3 - płyty zawiasu, 4 - sworzeń, 5 - przetyczka

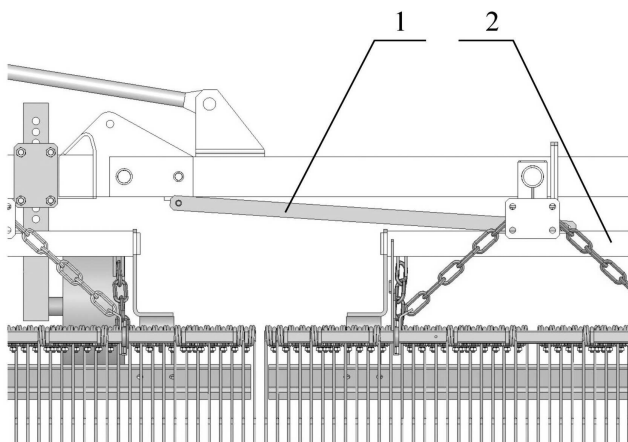
Fig. 6. The assumed shape and location of the stops fixing the location of frame side wings: 1 – the stop limiting inclination of side wing, 2 – the stop limiting unfolding of side wing, 3 – hinge plates, 4 – bolt, 5 – pin

Symulacje komputerowe położenia i kształtu zderzaków

Dla prawidłowego, ostatecznego ustawienia zespołów roboczych, aby nie wystawały poza dopuszczalną szerokość transportową po drogach publicznych, konieczne jest ograniczenie przechylenia najwyżej położonych zawiesi skrajnych za pomocą zderzaków ograniczających położenie skrzydeł bocznych ramy w pozycji złożonej i rozłożonej. Prowadzone symulacje komputerowe tych zderzaków miały na celu weryfikację ich położenia i kształtu (rys. 6). Po wielu próbach dobrano kształt i położenie zderzaka górnego w taki sposób, aby skrzydło boczne ramy po złożeniu w położenie transportowe było przechylone do środka pod kątem 15° . Tak przyjęty układ powoduje, że skrzydło boczne jest krótsze, co jednocześnie wpływa na zmniejszenie wysokości złożonej ramy oraz złożenie skrzydła wymaga mniejszej siły. Ponadto powinien korzystnie wpłynąć na obniżenie ciśnienia podczas procesu składania i dobrą pracę siłownika. Położenie zderzaka dolnego, ograniczającego rozłożenie skrzydła bocznego, tak zostało dobrane, aby w tym położeniu skrzydło boczne ramy było stabilne i zachowywało równą wysokość od powierzchni gruntu (rys. 6). Obrót skrzydeł ramy nośnej dokonuje się na sworzniu osadzonym między dwoma płytami przyspawanymi do belki głównej ramy. Blokady skrzydeł w położeniu roboczym lub transportowym dokonuje się przetyczką.

Symulacja komputerowa położenia i długości łącznika

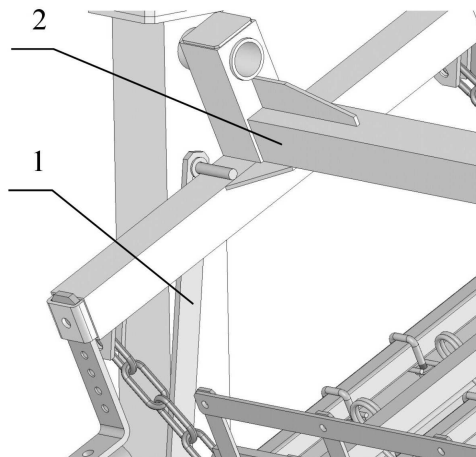
Dla prawidłowego, ostatecznego ustawienia zespołów roboczych konieczne jest zwiększenie przechylenia zawiesi niższych za pomocą łączników, które ograniczą również bezwładnościowe wahania tych zawiesi podczas składania i transportu. Pola robocze brony zębowej lub chwastownika podwieszane są do zawiesi, które z ramą połączone są za pomocą czopów. Podczas składania narzędzia w położenie transportowe następuje poziomowanie zawiesi dzięki obrotowi na czopach. W celu zwiększenia przechylenia zawiesi środkowych w położeniu transportowym wprowadzono łącznik, który nie pozwala na kolizję między polami oraz ogranicza bezwładnościowe wahania tych zawiesi i ustala pochylenie zawiesia środkowego uniesionego nad ramę główną. Przeprowadzono symulacje położenia i długości łącznika tak, aby uzyskać najkorzystniejsze położenie zawiesi w położeniu transportowym. Rozpatrywany łącznik mocowany jest obrotowo do skrzydła bocznego ramy pod dolnym zderzakiem (rys. 7).



Rys. 7. Położenie łącznika na ramie narzędzia: 1 – łącznik, 2 – zawiesie

Fig. 7. Location of connecting rod on the implement frame: 1 – connecting rod, 2 – suspension rod

Z kolei z zawiesiem środkowym mocowany jest przesuwne na czopie znajdującym się na belce przedniej zawiesia. Przesuwanie na czopie zapewnia otwór fasolkowy w łączniku. W wyniku przeprowadzonej symulacji położenia łącznika przyjęto, że kąt pochylenia 27° zawiesia środkowego w stosunku do skrzydła bocznego będzie najbardziej korzystny. To położenie łącznika i jego długość pozwoli na dobrą pracę pól w położeniu roboczym i bezkolizyjne złożenie skrzydeł bocznych z podwieszonymi polami w położeniu transportowym (rys. 8).

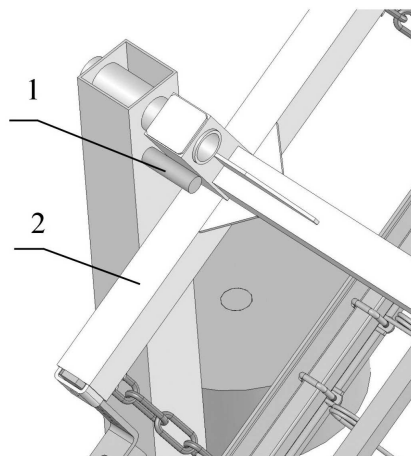


Rys. 8. W położeniu transportowym łącznik pewnie ustala pochylenie zawiesia: 1 – łącznik, 2 – zawiesie

Fig. 8. In transport position connecting rod fixes the inclination of suspension rod: 1 – connecting rod, 2 – suspension rod

Symulacje komputerowe położenia zderzaka zawiesia skrajnego

Dla prawidłowego, bezkolizyjnego położenia zawiesi skrajnych w położeniu transportowym wprowadzono zderzak mocowany na skrajnym segmencie ramy. Przeprowadzono symulacje położenia zderzaka w celu zapewnienia odpowiedniego położenia skrajnych zawiesi, kiedy narzędzie jest w tym położeniu. Ostatecznie przyjęto takie położenie zderzaka, które zapewnia pochylenie zawiesia skrajnego w stosunku do skrzydła bocznego o kąt 18° . To położenie zderzaka pozwoli na bezkolizyjne złożenie skrzydeł bocznych z podwieszonymi polami w położeniu transportowym (rys. 9).



Rys. 9. W położeniu transportowym zderzak pewnie ustala pochylenie skrajnego zawiesia: 1 - zderzak, 2 – zawiesie

Fig. 9. In transport position the stop fixes the inclination of side suspension rod: 1 – the stop, 2 – suspension rod

Podsumowanie

Opracowanie modelu bryłowego ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia pozwoliło przeprowadzić wielowariantową analizę procesu składania i rozkładania ramy. Dokonane symulacje komputerowe pozwoliły określić wartości sił występujących w poszczególnych punktach TUZ oraz wartości sił w węzłach mocowania siłowników hydraulicznych na ramie.

Wykonana symulacja komputerowa układu kinematycznego ramy nośnej wielofunkcyjnego narzędzia doprowadziła do przyjęcia kształtu i położenia zderzaków oraz łącznika, co zapewnia prawidłowe składanie i rozkładanie ramy oraz odpowiednie ustawienie zespołów roboczych w położeniu roboczym i transportowym. Tym samym doprowadziło do spełnienia warunku dopuszczalnej szerokości transportowej narzędzia po drodze publicznej. Podczas symulacji składania i rozkładania narzędzia stwierdzono kolizję łącznika ze śrubami mocującymi uchwyty kół. Dlatego

wprowadzono zmianę konstrukcji uchwytów. Innych kolizji nie stwierdzono.

Ostatecznym wynikiem podjętych prac było uzyskanie konstrukcji belki nośnej narzędzia rolniczego stanowiącej podstawę do przeprowadzenia analizy wytrzymałościowej modelu obliczeniowego MES całej konstrukcji wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego.

Literatura

- [1] Rutkowski J., Szczepaniak J. 2005 Symulacje i obliczenia komputerowe modeli wirtualnych typoszeregu wałów uprawowych, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* vol. 50 (1)
- [2] Zbytek Z., Łowiński Ł., Talarczyk W. 2006 Opracowanie modelu obliczeniowego, analiza zachowań kinematycznych, stateczności i wymuszeń na modelu wirtualnym wielofunkcyjnego narzędzia uprawowo-pielęgnacyjnego. Praca niepublikowana, PIMR, Poznań.