

MODELOWANIE ORAZ ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA W ASPEKTCIE DOBORU OPTYMALNYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI NA PRZYKŁADZIE AGREGATU DO SADZENIA ZIEMNIAKÓW

Streszczenie

W artykule przedstawiono model obliczeniowy oraz przebieg obliczeń wytrzymałościowych agregatu do sadzenia ziemniaków. Konstrukcję opracowano wykorzystując system komputerowy Solid Works, a obliczenia wytrzymałościowe wykonano w systemie I-DEAS NX6. Obliczenia pozwoliły na weryfikację przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Zidentyfikowano stan wyężenia konstrukcji dla przyjętych warunków eksploatacji, ze szczególnym uwzględnieniem newralgicznych węzłów konstrukcji (połączenia spawane, miejsca połączeń zespołów z konstrukcją nośną). Analiza MES pozwoliła na opracowanie właściwego programu badań eksperymentalnych opracowywanej konstrukcji nośnej agregatu.

Słowa kluczowe: sadzarki do ziemniaków; konstrukcja; modelowanie; wytrzymałość; analiza

Wstęp

Wykorzystanie systemu komputerowego do analiz inżynierskich w branży maszyn rolniczych powoduje istotne zmiany w metodach prac konstrukcyjno-technologicznych. Umożliwiają one przeprowadzenie efektywnych symulacji zachowań projektowanej maszyny, na podstawie modelu wirtualnego, już we wczesnych fazach projektowania [1].

Przygotowanie modelu obliczeniowego wiązało się z rozwiązaniem kilku problemów, które polegały m.in. na poszukiwaniu rozwiązań konstrukcyjnych w celu uzyskaniu odpowiednich stanów wyężenia konstrukcji.

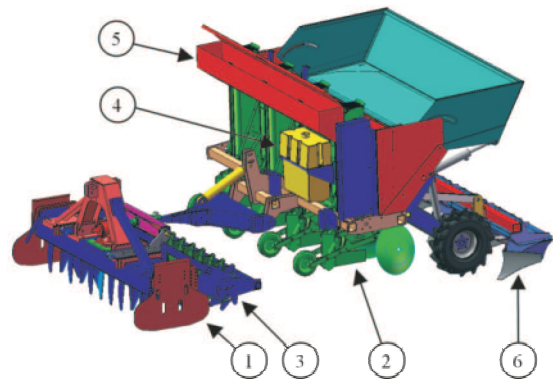
W prezentowanym artykule przedstawiono przebieg symulacji i obliczeń związanych z warunkami eksploatacji agregatu do sadzenia ziemniaków.

Opracowanie modelu 3D konstrukcji nośnej agregatu do sadzenia ziemniaków

Badany agregat do sadzenia ziemniaków (rys. 1), składa się z sadzarki czterorzędowej, brony rotacyjnej, wału doprawiającego glebę, zaprawiarki, siewnika do rzędowego wysiewu nawozów mineralnych oraz urządzenia do formowania redlin. Brona rotacyjna wraz z wałem doprawiającym glebę jest zawieszona na tylnym TUZ ciągnika [3].

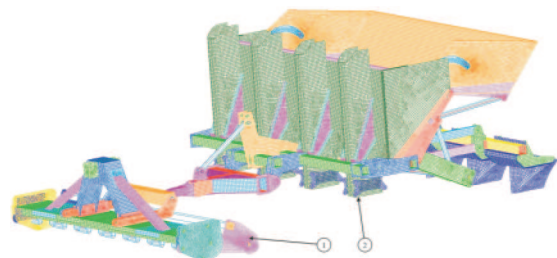
Konstrukcja agregatu składa się z dwóch maszyn tworzących jeden zespół (brona wirnikowa i sadzarka czterorzędowa). Ramy nośne maszyn stanowią w głównej mierze szkielet spawany, składający się z takich elementów jak: blachy i belki główne wzdłużne, blachy główne poprzeczne, nakładki wzmacniające, żebra, uchwyty mocowania narzędzi, poszycia zespołów wysadzających, ucha sworzni i tulejki sworzniowe. Agregat wyposażony jest w siłownik hydrauliczny służący do podniesienia całej maszyny na czas przejazdów transportowych czy zmiany położenia maszyny (z roboczej do transportowej i odwrotnie).

Model obliczeniowy bazuje na teorii metody elementów skończonych. Model opisany został za pomocą: elementów płytowo-powłokowych czworokątnych i trójkątnych typu *Thin shell*, elementów belkowych typu *Beam* oraz elementów prętowych typu *Rod* [5]. Do opisanie ramy nośnej posłużono się elementami płytowo-powłokowymi. Pozostałe elementy maszyny (siłowniki, sworznie, oś jedyna sadzarki, narzędzia robocze brony wirnikowej) zamodelowano w sposób uproszczony, wykorzystując elementy belkowe lub prętowe (rys. 2).



Rys. 1. Model wirtualny wielofunkcyjnego agregatu do sadzenia ziemniaków: 1 - brona wirnikowa, 2 - sadzarka czterorzędowa, 3 - wał do doprawiania gleby, 4 - zaprawiarka, 5 - siewnik rzędowy do wysiewu nawozów mineralnych, 6 - urządzenie do formowania redlin

Fig. 1. Model of virtual multifunctional potato planting aggregate 1 - rotary harrow, 2 - four-row planter, 3 - soil cultivation shaft, 4 - dresser, 5 - row fertilizer distributor, 6 - device for forming ridges



Rys. 2. Model wielofunkcyjnego agregatu do sadzenia ziemniaków z utworzoną siatką elementów skończonych: 1 - brona wirnikowa, 2 - sadzarka czterorzędowa [3]

Fig. 2. Model of multifunctional potato planting aggregate in the finite element mesh created: 1 - rotor harrow, 2 - four-row planter [3]

Przypadki obciążenia

Po analizie przewidywanego sposobu pracy agregatu do sadzenia ziemniaków opracowano następujące przypadki obciążenia:

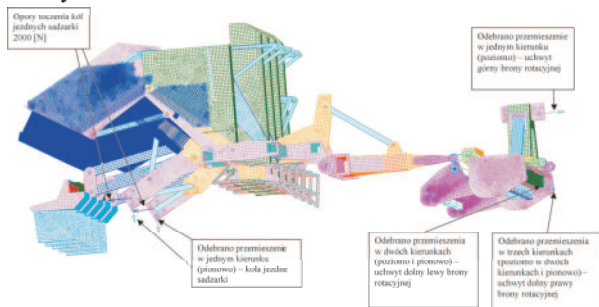
LC1 - transport (z uwzględnieniem nadwyżki dynamicznej 1,4), LC2 - jednoczesna praca brony rotacyjnej i sadzarki, LC3 - zjazd z góry o nachyleniu zbocza 8,5°, LC4 - podjazd o nachyleniu zbocza 8,5°, LC5 - praca brony rotacyjnej z jednoczesnym transportem sadzarki [4].

Obciążenie w poszczególnych przypadkach pochodziło od ciężaru własnego konstrukcji (odpowiednio do zamodelowanych podzespołów), od masy ziemiaków w zbiorniku stałym i ruchomym oraz od oporu toczenia kół jezdnych sadzarki. Dodatkowo, dla przypadków LC2, LC5 przyjęto wartość przyspieszenia grawitacyjnego $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. W pozostałych przypadkach obciążenie zwiększono zgodnie z współczynnikiem dynamicznym 1,4 (uwzględniającym drgania/przeciążenia dynamiczne konstrukcji podczas eksploatacji w normalnych warunkach transportu) [4].

Dla przypadków LC2 i LC5 przypisano obciążenia robocze przedstawione na rys. 4. Obciążenia robocze zostały przyjęte na podstawie literatury [2].

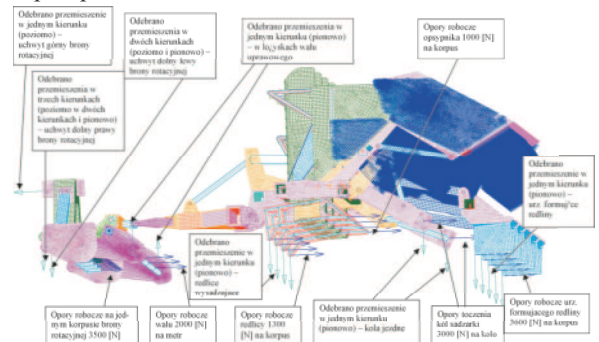
Dla wszystkich przypadków odebrano stopnie swobody w uchwytach zaczepowych brony rotacyjnej z TUZ ciągnika i w dwóch węzłach w układzie jezdnym sadzarki (rys. 3). Na prawym dolnym uchwycie odebrano przemieszczenie w trzech kierunkach (pionowo, poziomo wzdłuż agregatu i poziomo w poprzek agregatu), na lewym dolnym uchwycie w dwóch kierunkach (pionowo i poziomo wzdłuż agregatu), w górnym uchwycie odebrano przemieszczenia w jednym kierunku (poziomo wzdłuż agregatu), pozostawiając swobodne obroty. Na kołach w układzie jezdnym sadzarki odebrano przemieszczenie w jednym kierunku (pionowo), pozostawiając swobodne obroty.

Natomiast dla przypadków dotyczących pracy (rys. 4) odebrano dodatkowe stopnie swobody agregatu. W łożyskach wału uprawowego brony rotacyjnej odebrano przemieszczenia w dwóch węzłach po jednym stopniu swobody. W zespołach wysadzających sadzarki odebrano przemieszczenia w czterech węzłach, a w obszynikach urządzenia do formowania redlin odebrano przemieszczenia w pięciu węzłach konstrukcji. Wszystkie dodatkowo odebrane stopnie swobody dotyczyły przemieszczeń pionowych.



Rys. 3. Model obliczeniowy agregatu do sadzenia ziemniaków - pozycja transportowa

Fig. 3. Model of computational potato planting aggregate - transport position



Rys. 4. Model obliczeniowy agregatu do sadzenia ziemniaków - pozycja pracy

Fig. 4. Model of computational potato planting aggregate work position

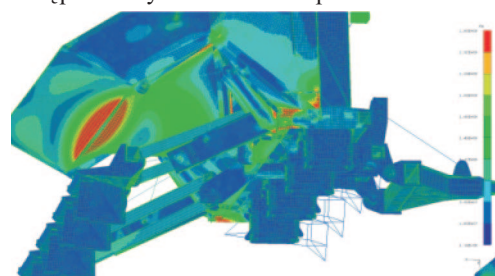
Analiza wyników MES otrzymanych w wyniku zastosowania systemu I-DEAS NX6

Wartość naprężeń przedstawiono w kolorach, według skali znajdującej się po prawej stronie rysunku, ograniczonej do 280 MPa i podzielonej na 10 równych części.

Na podstawie analizy wytrzymałościowej konstrukcji przeprowadzonej w opracowaniu [4] stwierdzono, że najbardziej niebezpieczną pozycją jest transport maszyny po drogach publicznych. Występują wówczas duże naprężenia rzędu 300 MPa, zlokalizowane w ramie nośnej sadzarki (w belce przedniej i tylnej ramy nośnej sadzarki, płaskownikach bocznych ramy nośnej sadzarki spinających belkę przednią i tylną, uchwytach mocujących siłowniki, a także wahaczach układu jezdnych), zbiornika stałego i ruchomego. Naprężenia tam występujące przekraczały dopuszczalną granicę wytrzymałości dla stali 18G2.

Z powyższego wynika, że konstrukcja w zaproponowanej wstępnej wersji nie spełnia warunków wytrzymałościowych dla przyjętych warunków obciążeń. Na podstawie analizy wytrzymałościowej zaproponowano wprowadzenie poprawek konstrukcyjnych w tych węzłach.

Graficzną postać wyników obliczeń przedstawiono na rys. 5.



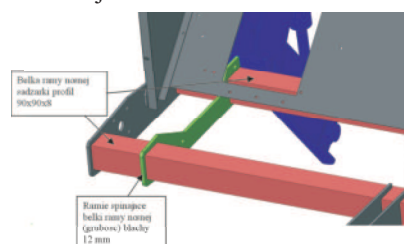
Rys. 5. Naprężenia zredukowane von Misesa [Pa], przypadek LC1

Fig. 5. The von Mises reduced stress [Pa], the load case LC1

Uzyskane wyniki analizy wytrzymałościowej, przedstawione w postaci mapy naprężeń (rys. 5), dla przypadku LC1, były niekorzystne (kolor czerwony). Dlatego nie przeprowadzono dalszych obliczeń dla przypadków LC2, LC3, LC4 oraz LC5. Konstrukcja w zaproponowanej wstępnej wersji nie spełnia warunków wytrzymałościowych dla przyjętych warunków obciążeń. Na podstawie otrzymanych wyników zaproponowano wprowadzenie poprawek konstrukcyjnych. Zmianie ulegną parametry konstrukcji, zgodnie z wiedzą inżynierską.

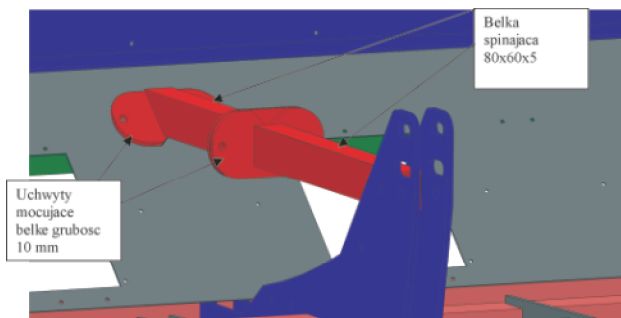
Zmiany konstrukcyjne i eliminacja ekstremalnych naprężeń

W celu wyeliminowania koncentracji naprężeń, które występowały między innymi na belce tylnej ramy nośnej (rys. 5), zastosowano ramię spinające obie belki (kolor zielony na rys. 6). Dodatkowo grubość belek ramy nośnej (kolor czerwony na rys. 6) zwiększono z 6 do 8 mm [4]. Zastosowanie tego typu rozwiązania nie przyniosło jednak pozytywnych wyników m.in. w zbiorniku stałym i ramie nośnej sadzarki.



Rys. 6. Widok zmian konstrukcyjnych w sadzarce: zastosowanie zastrzału pomiędzy belkami ramy nośnej (kolor zielony) i zmiana grubości belek nośnych (kolor czerwony)

Fig. 6. View of the structural changes in the planter: the use of the brace between the joists of supporting frame (green color) and thickness change of beams (red color)



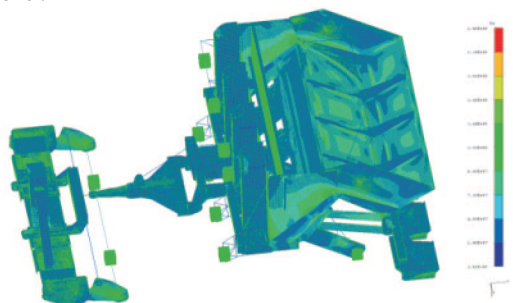
Rys. 7. Wzmocnienie konstrukcji nośnej sadzarki - spięcie belką dzieloną kozła zaczepowego sadzarki z belką spinającą boki zbiornika stałego

Fig. 7. Strengthening of the support structure planters - short circuit with divided beam of the fastening goat of the planter with the beam fastening sides of the permanent container together

Z uwagi na przekroczone dopuszczalne naprężenia wynikające z braku sztywności, w zbiorniku stałym zastosowano dodatkowe wzmocnienie. Postanowiono związać dodatkową belką spinającą boki i belkę zbiornika stałego. Belkę tę przedstawiono na rys. 7 - kolor czerwony. Belka spinająca jest belką dzieloną ze względu na przejście przez przednią ściankę zbiornika stałego. Jest ona przykręcona do belki zbiornika stałego (rys. 7 - kolor zielony pod poszyciem zbiornika stałego), a drugi koniec połączony jest z kozłem zaczepowym sadzarki (rys. 7 - kolor granatowy). Belka spinająca spowodowała usztywnienie zbiornika stałego sadzarki, jak i całej konstrukcji nośnej maszyny [4].

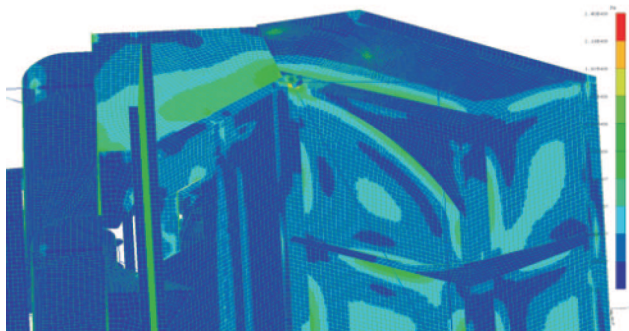
Analiza wytrzymałościowa konstrukcji z uwzględnieniem zmian konstrukcyjnych

Analizę wytrzymałościową konstrukcji nośnej agregatu, po wprowadzeniu zmian przedstawionych w rozdz. 5, przeprowadzono dla warunków omówionych i przedstawionych w rozdz. 4. Wyniki obliczeń w postaci rysunków map naprężeń przedstawiono na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Naprężenia zredukowane von Misesa [Pa], przypadek LC1, widok z góry

Fig. 8. The von Mises reduced stress [Pa], the load case LC1, view from above



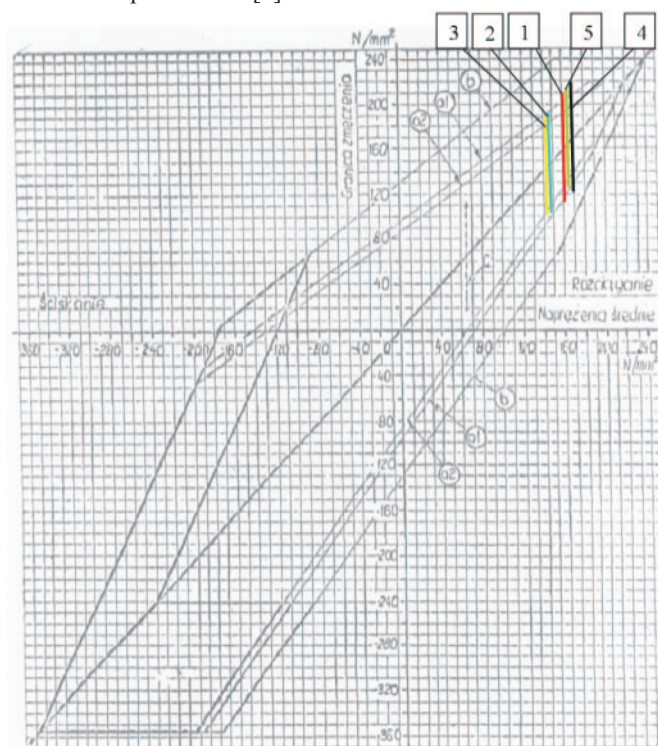
Rys. 9. Naprężenia zredukowane von Misesa [Pa], przypadek LC1, widok na zbiorniki sadzarki

Fig. 9. The von Mises reduced stress [Pa], the load case LC1, view onto containers planters

Dla wszystkich przypadków obliczeniowych, szczególnie opisanych w opracowaniu [4], sprawdzono amplitudy naprężeń. Podczas transportu w agregacie wartość amplitudy naprężeń w prezentowanym powyżej przypadku obliczeniowym LC1 w niewaligicznych węzłach konstrukcji wyniosła: uchwyt mocowania siłownika urządzenia formującego redliny 48 MPa (rys. 10 pkt 1), belka urządzenia formującego redliny 44 MPa (rys. 10 pkt 2), ściany boczne w zbiorniku stałym 43 MPa (rys. 10 pkt 3), dno zbiornika ruchomego 50 MPa (rys. 10 pkt 4), uchwyt mocowania siłowników i uchwytu kół jezdnych 49 MPa (rys. 10 pkt 5).

Po obliczeniu wartości naprężeń uśrednionych oraz naprężeń amplitudowych σ_s i σ_a naniesiono wyniki na wykres Smitha dla stali S355JR (rys. 10) dla przypadku obliczeniowego LC1. Stwierdzono, iż w badanej konstrukcji nie występują przekroczenia wartości dopuszczalnych dla wybranego materiału. W ten sam sposób zostały przeanalizowane pozostałe przypadki obliczeniowe dla agregatu do sadzenia ziemniaków, a ich wyniki przedstawiono w opracowaniu [4].

Obliczenia wykazały, że naprężenia w konstrukcji nośnej sadzarki zmniejszono w belce ramy nośnej o 40% i w bocznych ściankach zbiornika sadzarki o 25%. Wzmocnienia opisane w rozdz. 5 jeszcze raz przeliczono dla wszystkich przypadków obliczeniowych. Wyniki i ich analizę wytrzymałościową zamieszczono w opracowaniu [4].



Rys. 10. Wykres Smitha dla stali S355JR, graficzne przedstawienie wyników największego naprężenia dla przypadku obciążenia LC1: a - wartości naprężeń dopuszczalnych dla spoin, b - wartości naprężeń dopuszczalnych dla materiału rodzimego

Fig. 10. Smith's graph for S355JR steel, graphic representation of results of the greatest tension for the load case LC1: a - the value of allowable stress for joints, b - the value of allowable stress for the parent material

Podsumowanie

Komputerowa analiza złożonych konstrukcji pozwala na szeroką i wyczerpującą analizę występujących zjawisk już na wczesnym etapie projektowania. Zaprezentowany w artykule końcowy model konstrukcji nośnej wieloczynnościowego agregatu do sadzenia ziemniaków stanowi ostateczną formę wyników. W procesie projektowania przeprowadzono analizę wielu wariantów rozwiązań poszczególnych elementów i dobór elementów konstrukcyjnych optymalnych pod względem

wytrzymałościowym, i ponowną ich weryfikację dla różnych przypadków obciążeń maszyny. Analiza wytrzymałościowa konstrukcji nośnej agregatu pozwoliła na identyfikację najbardziej wyężonych węzłów konstrukcyjnych, po każdej modyfikacji najpierw modelu bryłowego, a następnie modelu obliczeniowego. Dokładną analizę uzyskanych stanów naprężeń dla pozostałych przypadków obliczeniowych przedstawiono w opracowaniu [4]. Dzięki zastosowaniu takiego procesu projektowania konstrukcji, agregat podczas eksploatacji będzie działał poprawnie.

Zgodnie z oczekiwaniami, podczas analizy konstrukcji wieloczynnościowego agregatu do sadzenia ziemniaków szczególną uwagę należało poświęcić miejscom mało usztywnionym przez brak odpowiednich elementów wzmacniających (kształtowniki, żebra wzmacniające) lub odpowiedniego kształtu już istniejących elementów, które stanowią neuralgiczne miejsca z punktu widzenia wytrzymałości. Takim miejscem w analizowanej konstrukcji jest zbiornik stały sadzarki (rys. 5). W tej części maszyny wysokie stany naprężeń wystąpiły przy różnych wariantach obciążeń przyjętych w modelu. Duże spiętrzenia naprężeń we wszystkich przypadkach odnotowano również w uchwycie mocowania siłownika urządzenia formującego redliny i uchwytach kół jezdnych.

Ważnym elementem potwierdzającym prawidłowość przeprowadzonej analizy oraz przyjętych założeń jest weryfikacja eksperymentalna konstrukcji. Uzyskane wyniki naprężeń konstrukcji uzyskanych w różnych przypadkach obciążenia stanowią podstawę do planowania oraz przygotowania programu badań tensometrycznych prototypu.

Bibliografia

- [1] Zienkiewicz O. C., Taylor R.: The Fine Element Method. Vol. 2. Solid Mechanics. V edition. Butterworth-Heinemann, 2000.
- [2] Lorencowicz E.: Poradnik użytkownika techniki rolniczej w tabelach. APRA sp. z o.o., Bydgoszcz, 2002.
- [3] Rogacki R., Wasieczko P., Szczepaniak M.: Wieloczynnościowy agregat do sadzenia ziemniaków. Zadanie 6. PIMR, Poznań, 2011.
- [4] Rogacki R., Szczepaniak M., Wasieczko P., Bitner W., Grzechowiak R.: Wieloczynnościowy agregat do sadzenia ziemniaków. Zadanie 8. PIMR, Poznań, 2012.
- [5] I-DEAS. Help library bookshelf. Tutorials. Pliki pomocy do systemu I-DEAS.

MODELING AND ANALYSIS OF STRENGTH IN ASPECT OF OPTIMAL SELECTION OF ELEMENT OF CONSTRUCTION ON EXAMPLE OF POTATO PLANTING AGGREGATE

Summary

The article presents a computational model and the way in which the strength calculations of the potato planting machine were conducted. In the previous stage in which the machine was constructed the CAD system - Solid Works was used. In the next stage - during strength simulations, I-DEAS was used. Calculation allowed verification of machine - as for as the preliminary version of the machine concerned. The state of the exertion of the construction for assumed operating conditions (load cases) was identified (with particular emphasis on critical nodes of the machine - welded joints, units - supporting frame joints). FEM analysis allowed us to develop - in appropriate way - program of experimental research of the machine supporting frame.

Key words: potato planters; construction; modeling; strength; analysis