

CALCULATION MODEL AND COMPUTER SIMULATION OF STRENGTH OF VIRTUAL MODEL OF DESIGN OF CARRYING FRAMES OF SECONDARY TILLAGE SET OF NEW GENERATION

Summary

In the presented paper there is presented description of discredited calculation model and course of calculations of design connected with project of secondary tillage set of new generation for simultaneous soil tillage and sowing with the use of universal drill. The design was elaborated with the use of computer system CAD-3D that allowed to build virtual solid models of machine. Strength calculations were carried out with the use of computer system of the "high range" group. The results of simulation and computer calculations served for the choice of optimal shapes and materials to build prototype of the machine.

MODEL OBLICZENIOWY I KOMPUTEROWA SYMULACJA WYTRZYMAŁOŚCI WIRTUALNEGO MODELU KONSTRUKCJI RAM NOŚNYCH AGREGATU DOPRAWIAJĄCEGO NOWEJ GENERACJI

Streszczenie

W prezentowanym artykule przedstawiono opis zdyskretyzowanego modelu obliczeniowego i przebieg obliczeń konstrukcji związanych z projektem agregatu doprawiającego nowej generacji, do jednoczesnej uprawy roli i siewu nasion siewnikiem uniwersalnym. Konstrukcję opracowano wykorzystując system komputerowy CAD-3D, którego zastosowanie pozwoliło na budowę wirtualnych modeli brytowych maszyny. Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono z wykorzystaniem systemu komputerowego grupy „high range”. Wyniki symulacji i obliczeń komputerowych posłużyły do doboru optymalnych kształtów i materiałów wykorzystanych do budowy prototypu agregatu.

1. Wstęp

Restrukturyzacja gospodarstw rolnych, zmierzająca do powiększania ich obszaru, wprowadzenie nowych technologii uprawy gleby polegających na łączeniu zabiegów uprawowych i siewnych oraz coraz szersze stosowanie w rolnictwie ciągników o dużej mocy, stanowią główne przesłanki do przewidywania szybkiego wzrostu popytu na maszyny o dużych wydajnościach, w tym na zestawy doprawiająco-siewne. W odpowiedzi na zapotrzebowanie opracowano agregat uprawowo siewny, który będzie łączyć funkcje dwóch maszyn – wału zagęszczającego glebę i zestawu do uprawy przedsiębnej. Dodatkowo, agregat będzie miał możliwość przyłączenia siewnika do rzędowego wysiewu nasion. Zastosowanie w agregacie wymiennych zestawów narzędzi doprawiających glebę (odpowiednich do warunków polowych) pozwoli na uzyskanie lepszych, z agrotechnicznego punktu widzenia, efektów przedsiębnej doprawiania gleby. Pozwoli również ograniczyć liczbę i intensywność wykonanych zabiegów uprawowych.

2. Opracowanie wirtualnych modeli 3D konstrukcji ram nośnych agregatów

Agregat przeznaczony jest do wielowariantowej obróbki gleby, w tym: uprawiania gleby, zagęszczania wstępnie doprawionej i wyrównanej gleby, doprawiania zagęszczonej gleby i wyrównania jej wierzchniej warstwy, końcowego pokruszenia resztek grud gleby. Maszyna będzie miała zastosowanie przede wszystkim jako typowy agregat uprawowy, z możliwością współpracy z

siewnikiem. W celu umożliwienia zawieszenia uniwersalnego siewnika agregat został wyposażony w TUZ, który może być demontowany w zależności od potrzeby [1].

Agregat podczas przejazdu na uwrociach podnoszony jest za pomocą TUZ ciągnika i własnego układu jezdnego. Do transportu po drogach publicznych sekcje narzędzi składane są przy użyciu siłowników hydraulicznych [1].

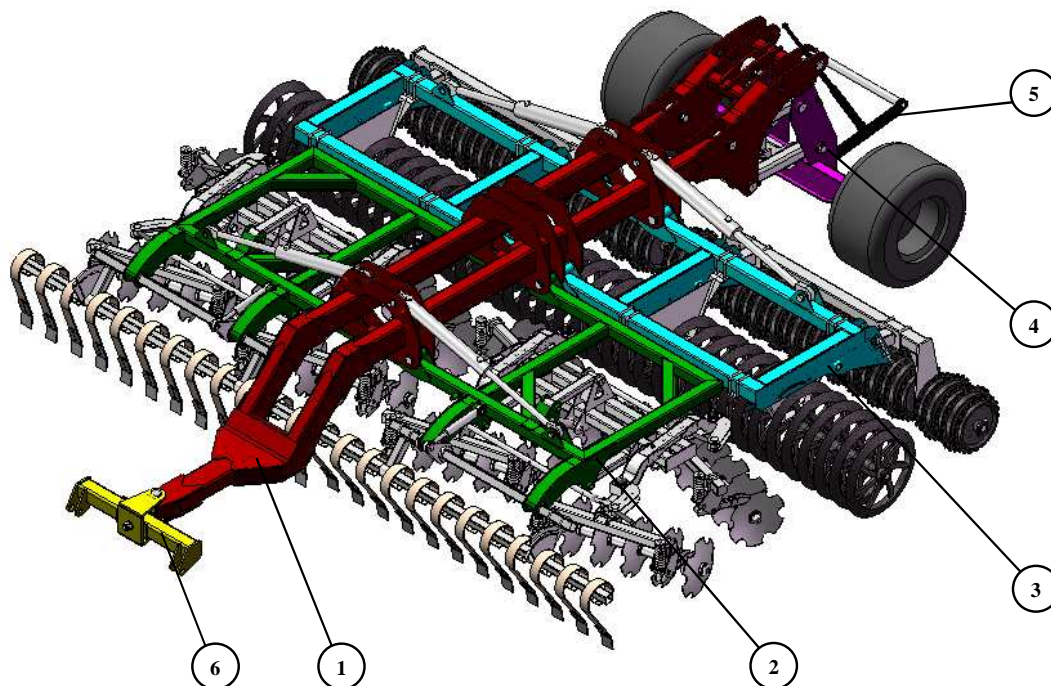
Do projektowanego agregatu opracowano dwie wersje ramy nośnej – ramę, której głównymi elementami nośnymi są dwie podłużnice o profilu prostokątnym (rama płaska) i ramę kratownicową (rama przestrzenna).

Agregat niezależnie od wersji ramy składa się z: ramy nośnej, układu jezdnego, sprzęgu z ciągnikiem, tylnego TUZ, sekcji narzędzi I oraz sekcji narzędzi II. Do sekcji narzędzi w zależności od wersji konfiguracji maszyny przymocowane są odpowiednie zestawy narzędzi uprawowych. Konfiguracje narzędzi będą uzależnione od rodzaju uprawianej gleby i od jej przeznaczenia. Rama agregatu jest zaczepiona do ciągnika za pomocą sprzęgu, który łączy agregat z dolnymi ramionami TUZ ciągnika. Tylny koniec ramy nośnej połączony jest z układem jezdnym agregatu przeznaczonym do transportu maszyny. Dodatkowo układ jezdny wraz z ramą nośną jest wyposażony w zestaw uchwytów pozwalający na zastosowanie tylnego TUZ agregatu. Rozwiązanie to pozwoli na współpracę maszyny z siewnikiem [2].

Opracowany model agregatu uprawowego z ramą nośną płaską przedstawiony jest na rys. 1. Opracowany model agregatu uprawowego z ramą nośną przestrzenną przedstawiony jest na rys. 2.

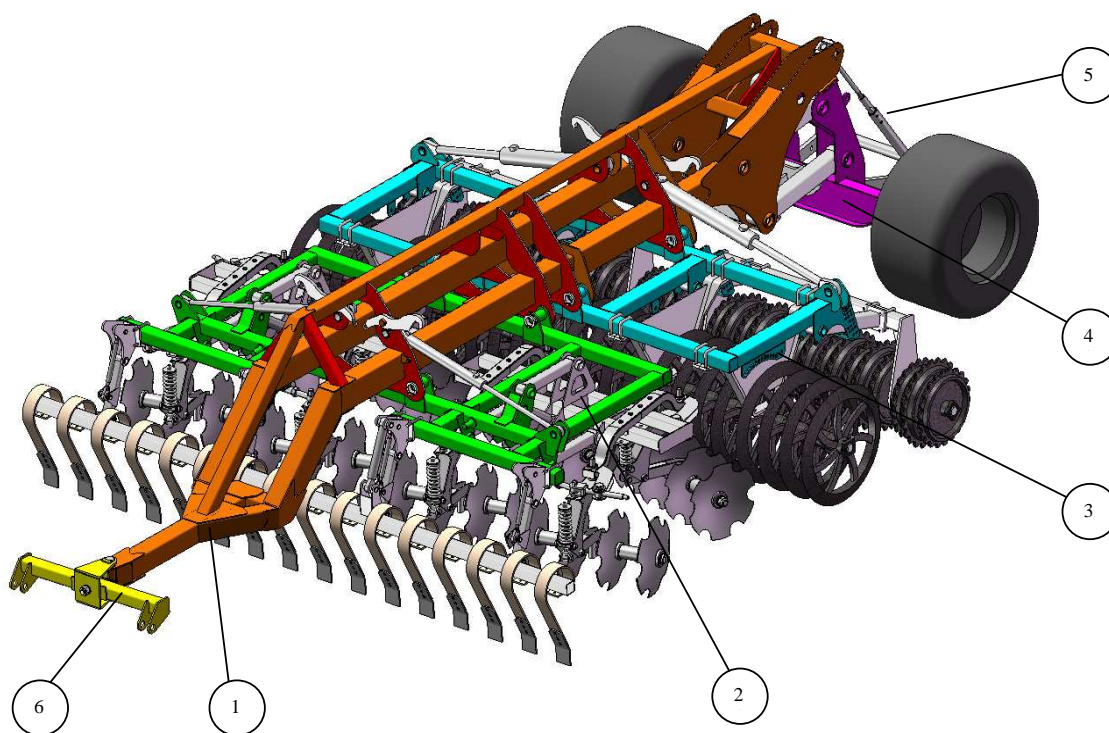
Układ jezdny agregatów wyposażony jest w siłownik hydrauliczny służący do podnoszenia agregatu na czas

przejazdów transportowych, czyli zmiany położenia maszyny (z roboczej do transportowej i odwrotnie).



Rys. 1. Widok modelu 3D konstrukcji agregatu z ramą nośną płaską: 1- rama nośna, 2- rama sekcji narzędzi I, 3- rama sekcji narzędzi II, 4- układ jezdny, 5- tylny TUZ agregatu, 6- sprzęg agregatu z ciągnikiem

Fig. 1. View of 3D model of set design with flat carrying frame: 1- carrying frame, 2 – frame of tool section I, 3 – frame of tool section II, 4 – wheeled carrier, 5 – rear set 3-point linkage, 6 – set coupler with tractor



Rys. 2. Widok modelu 3D konstrukcji agregatu z ramą nośną przestrzenną: 1 - rama nośna, 2 - rama sekcji narzędzi I, 3 - rama sekcji narzędzi II, 4 - układ jezdny, 5 - tylny TUZ agregatu, 6 - sprzęg agregatu z ciągnikiem

Fig. 2. View of 3D model of set design with spatial carrying frame: 1 – carrying frame, 2 – frame of tool section I, 3 – frame of tool section II, 4 – wheeled carrier, 5 – rear set 3-point linkage, 6 – set coupler with tractor

Konstrukcja ram nośnych agregatu wykonana jest jako jeden komplet spawalniczy (pozycja 1 na rys. 1 i 2). Ramy nośne agregatu składają się z takich elementów, jak: belki

główne, nakładki wzmacniające, żebra, uchwyty mocowania ram narzędziowych, ucha sworzni i tulejki sworzniowe [2].

W wyniku przeprowadzonej wstępnej analizy na modelach wirtualnych, konstrukcja ramy nośnej przestrzennej charakteryzuje się mniejszą masą użytych materiałów. Masa ramy płaskiej jest blisko 40% większa od masy ramy przestrzennej.

3. Opis modelu obliczeniowego

Model obliczeniowy bazuje na teorii metody elementów skończonych i powstał na bazie geometrii ram nośnych agregatu przedstawionej w rozdziale 2. Geometria maszyny, po odpowiednim przygotowaniu, została zaimportowana do systemu komputerowego I-DEAS, wyposażonego w moduł do obliczeń konstrukcji metodą elementów skończonych.

W modelach obliczeniowych w sposób dokładny zamodelowane zostały ramy nośne agregatów. Pozostałe elementy konstrukcji zostały zamodelowane w sposób uproszczony (ramy sekcji narzędziowych, siewnik) lub nie zamodelowane (narzędzia), lecz uwzględnione w postaci mas skupionych.

Modele opisane zostały za pomocą: elementów płytowo-powłokowych czworokątnymi i trójkątnymi typu Thin shell, elementów objętościowych typu solid, elementów belkowych typu Beam oraz elementów prętowych typu Rod. Do opisanego ramy nośnej posłużono się elementami płytowo-powłokowymi i objętościowymi. Pozostałe elementy użyto do opisanego ram sekcji narzędziowych oraz utworzenia punktów przyłożenia obciążeń od mas skupionych.

Utwierdzenie założono w trzech punktach: na końcach belki osi kół jezdnych oraz na dyszlu. Na końcu dyszla odebrano przesunięcia w trzech kierunkach. Na końcach belki kół jezdnych odebrano możliwość pionowego przemieszczenia, oraz dodatkowo na jednym jej końcu odebrano możliwość przemieszczenia poprzecznego.

Zamodelowane w sposób uproszczony ramy sekcji narzędzi miały możliwość obrotu na sworzniach. Pozycja pionowa i pozioma ram sekcji narzędziowych utrzymywana była za pomocą siłowników, które zostały zamodelowane elementami prętowymi. Dodatkowo przygotowano układ, z wykorzystaniem elementów belkowych, który posłużył do przeniesienia obciążeń pochodzących od masy siewnika. Modele obliczeniowe umożliwiły analizę naprężeń w ramie nośnej oraz układzie jezdnym agregatu. Sposób wykonania modeli obliczeniowych (struktura siatki MES, warunki brzegowe) przedstawiono na rys. 3 [1].

4. Przypadki obciążenia

Każdą konstrukcję ram nośnych agregatu poddano analizie dla dwóch przypadków obciążeń: przypadek 1 – transport agregatu z podniesionymi sekcjami roboczymi, przypadek 2 – transport agregatu z opuszczonymi sekcjami roboczymi tzw. transport agregatu na uwrociach. Inne rodzaje pozycji agregatu, np. praca, nie wzięto pod uwagę gdyż narzędzia bezpośrednio nie oddziałują na ramę nośną agregatu.

Do obliczeń wytrzymałościowych wybrano narzędzia o największej masie, a jednocześnie przewidziane do współpracy z sobą. Masy narzędzi zostały przyłożone w miejscach geometrycznych środków ciężkości poszczególnych ram sekcji w postaci mas skupionych. Masę siewnika przyłożono do tylnego TUZ agregatu w

postaci masy skupionej przyłożonej w miejscu środka ciężkości jednego siewnika uniwersalnego.

Model obliczeniowy ramy przestrzennej dla przypadku 1, przedstawiono na rys. 3 a. Analogicznie zbudowano model obliczeniowy dla ramy płaskiej. Analizowany przypadek ma określić poziom naprężeń w modelach obliczeniowych odzwierciedlających transport agregatów po drogach publicznych. W pozycji tej agregat ma złożone pionowo sekcje robocze, a agregat zawieszony jest na TUZ ciągnika i spoczywa na podniesionym układzie jezdnym agregatu.

Model obliczeniowy ramy przestrzennej, dla przypadku 2, pokazano na rys. 3 b. Analogicznie zbudowano model obliczeniowy dla ramy płaskiej. Przypadek ten przedstawiał poziom naprężeń panujących w konstrukcji podczas przejazdu na uwrociach po polu. Podczas takiego manewru cała rama wraz z narzędziami jest wydzwignięta do góry za pomocą siłownika układu jezdnego i TUZ ciągnika. Sekcje narzędziowe w tym przypadku są rozłożone w pozycji pracy agregatu, a cała maszyna jest podnoszona przed wykonaniem manewru.

W modelach obliczeniowych zamodelowano w sposób dokładny ramy nośne z układem jezdnym. Umożliwiło to analizę szczegółową i wyznaczenie naprężeń w tych zespołach agregatu, które przewidziano w pierwszej kolejności do zweryfikowania.

W modelu MES uwzględniono grawitację $9,81 \text{ m/s}^2$ i współczynnik nadwyżek dynamicznych równy 1,4 [1].

5. Analiza wyników MES

Graficzną postać wyników obliczeń przedstawiono na rys. 4-10. Przygotowany model obliczeniowy ram nośnych agregatu wraz z założonymi obciążeniami, opisany został powyżej. Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń wytrzymałościowych wykonanych przy zastosowaniu systemu I-DEAS.

Wartość naprężeń przedstawiona jest w kolorach, wg skali znajdującej się po prawej stronie rysunku. Skala została ograniczona do 280 MPa i podzielona na 7 równych części.

Najbardziej niebezpieczną pozycją maszyny jest pozycja z podniesionymi sekcjami roboczymi, czyli pozycja transportowa po drogach publicznych. Agregat sześciometrowy w celu umożliwienia jego transportu po drogach publicznych musi być składany. W tym położeniu cała masa sekcji roboczych spoczywa pionowo na podłużnicach powodując ugięcie ram nośnych – przypadek 1. Dla przypadku 2 rozkład obciążeń ram nośnych jest inny. Występuje tam, oprócz nacisku masą narzędzi, również skręcenie ram nośnych sekcjami narzędziowymi rozłożonymi. Sekcje są blokowane przed obrotem opierając się o dolną powierzchnie profilu ram nośnych.

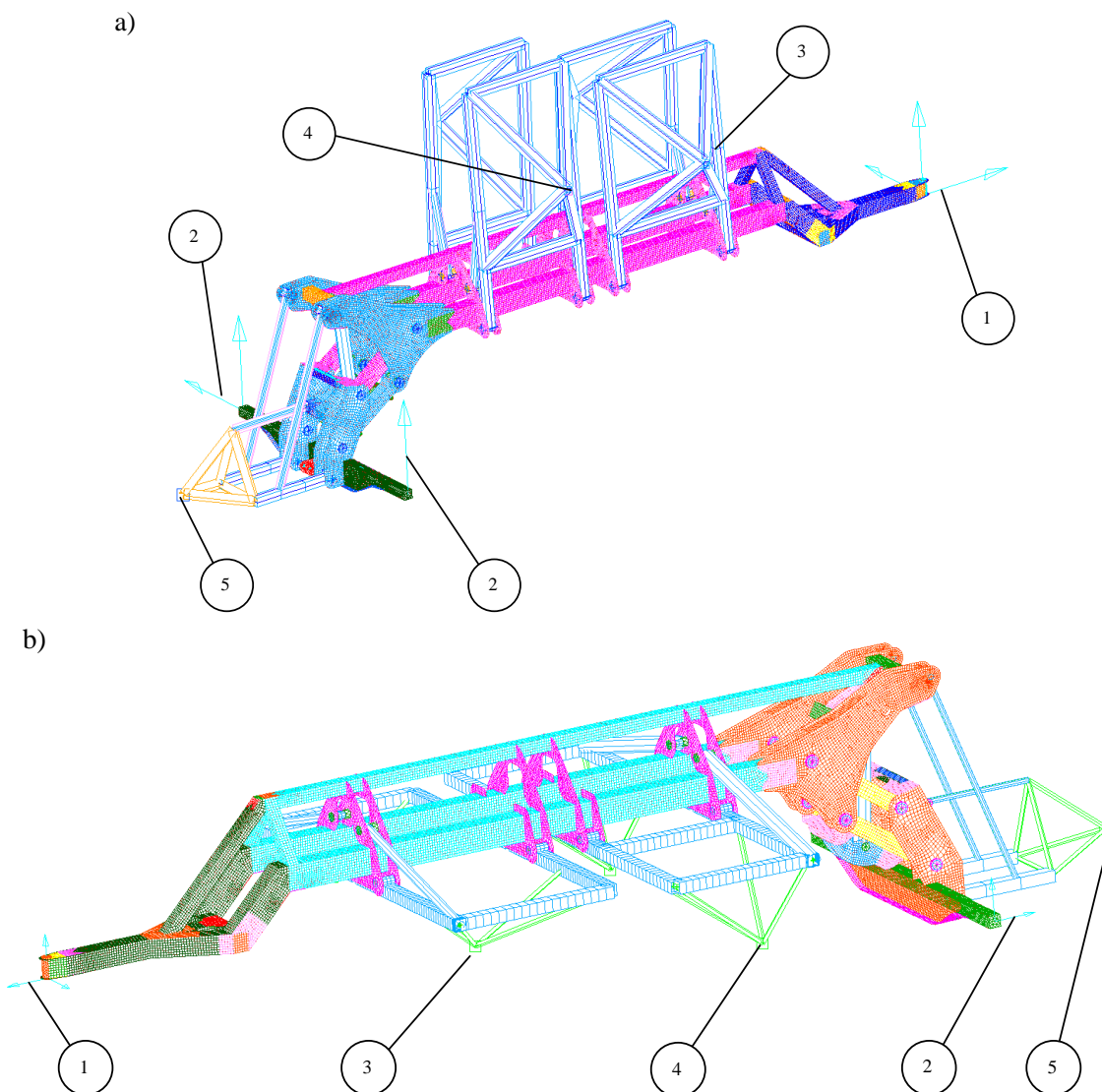
Metoda obliczeń wytrzymałościowych pozwoliła przebadać konstrukcję dla przypadków obciążeń, zbliżonych do warunków rzeczywistych. Wyniki dostarczyły niezbędnych informacji o stanie konstrukcji, ze wskazaniem niebezpiecznych miejsc (rys. 5 i 7).

6. Podsumowanie

Przedstawiony agregat łączy różne funkcje uprawowe, takie jak doprawianie i wałowanie gleb oraz posiada możliwość doczepienia siewnika. Jest więc urządzeniem

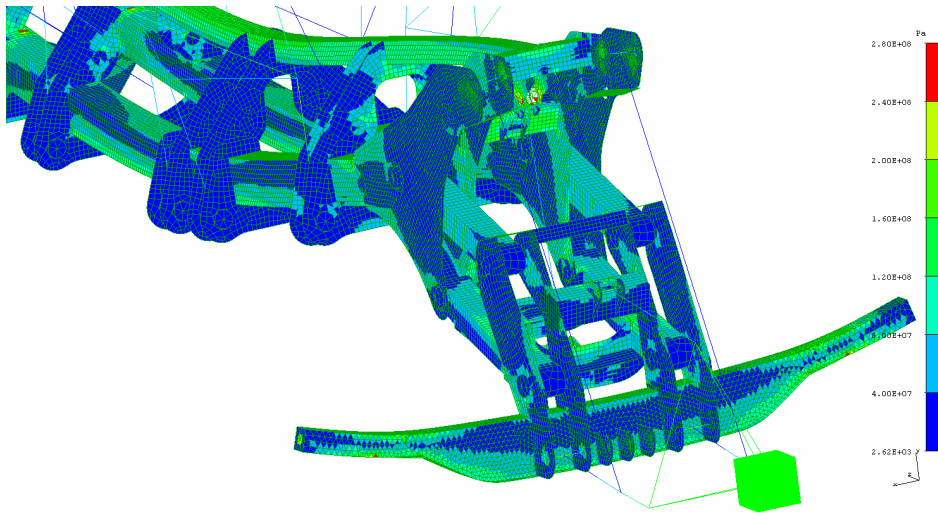
uniwersalnym i opłacalnym w gospodarstwach wielkoobszarowych. Korzyścią stosowania takiego agregatu będzie mniejsze zużycie paliwa i oszczędność pracy ludzkiej.

W systemie komputerowym CAD-3D zaprojektowano dwa różne modele wirtualne, które wprowadzono do systemu obliczeń wytrzymałościowych, dzięki którym dostarczono informacji o stanie konstrukcji podczas weryfikacji różnych przypadków obciążeń.

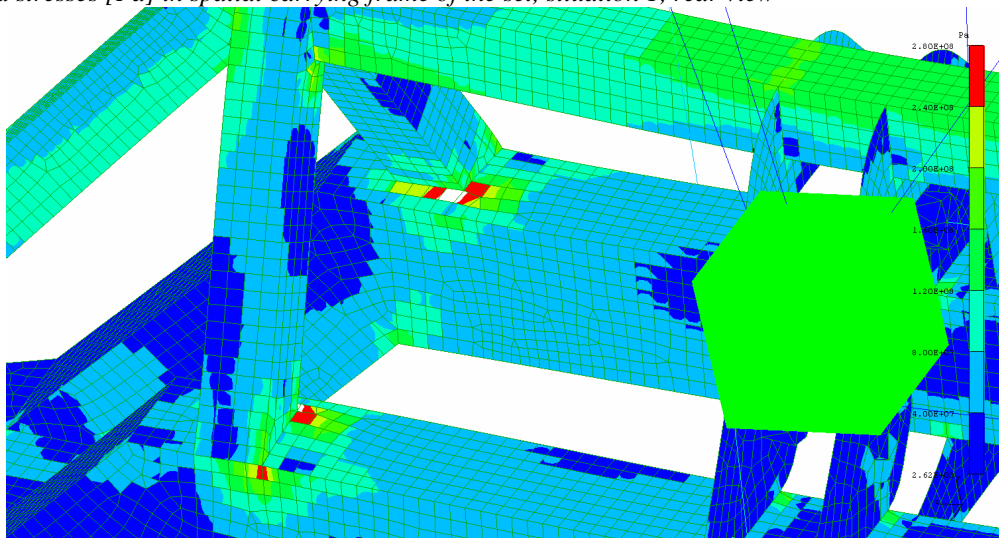


Rys. 3. Model obliczeniowy oraz warunki brzegowe dla agregatu z przestrzenną ramą nośną: a) przypadek 1, b) przypadek 2; 1 – podparcie na dyszlu, 2 – podparcie na końcach osi jezdnej, 3 – masa skupiona odpowiadająca masie narzędzi sekcji I, 4 – masa skupiona odpowiadająca masie sekcji II, 5 – masa skupiona odpowiadająca masie siewnika

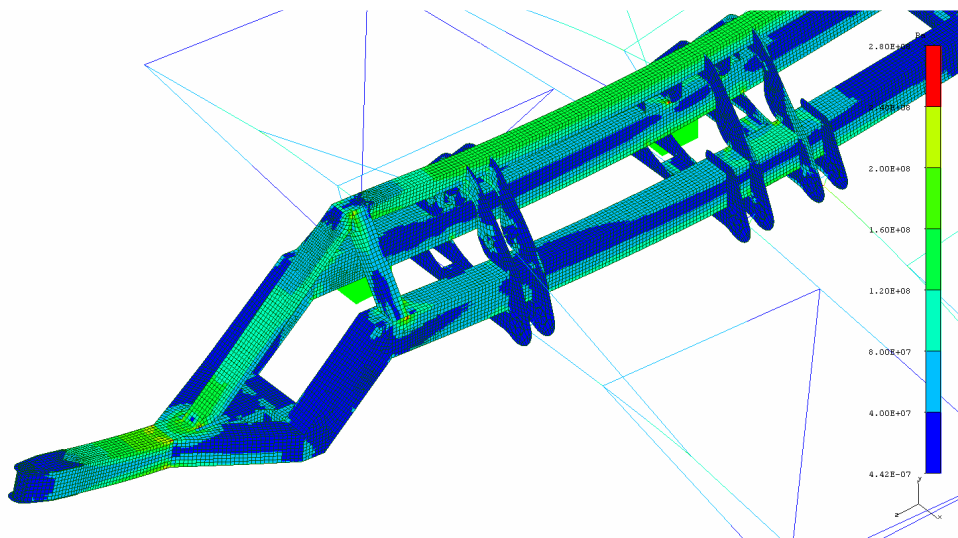
Fig. 3. Calculation model and boundary conditions for set with spatial carrying frame: a) situation 1, b) situation 2; 1 – supporting on draught bar, 2 – supporting on axle's ends concentrated mass corresponding with the mass of tool section I, 4 – concentrated mass corresponding with the mass of tool section II, 5 – concentrated mass corresponding with the mass of drill



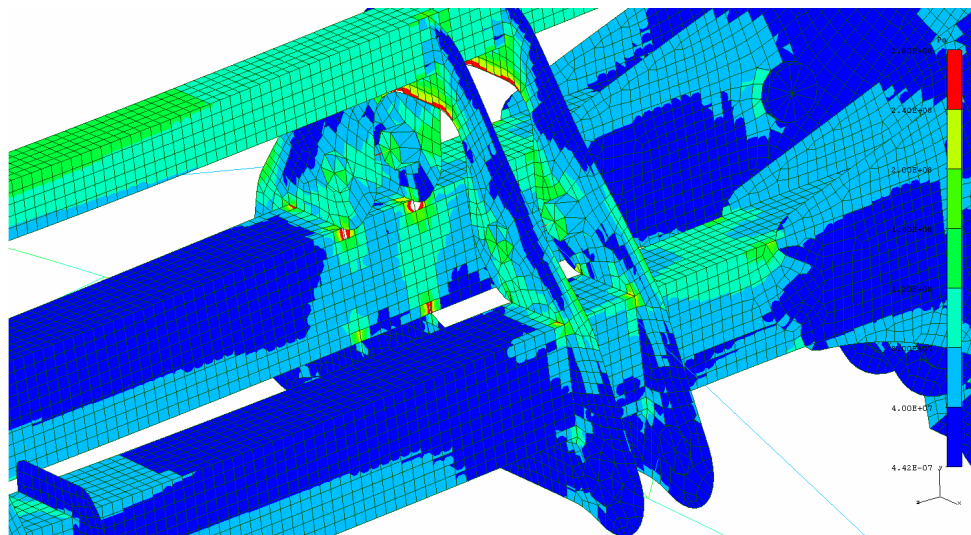
Rys. 4. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej przestrzennej agregatu, przypadek 1, widok z tyłu
 Fig. 4. Reduced stresses [Pa] in spatial carrying frame of the set, situation 1, rear view



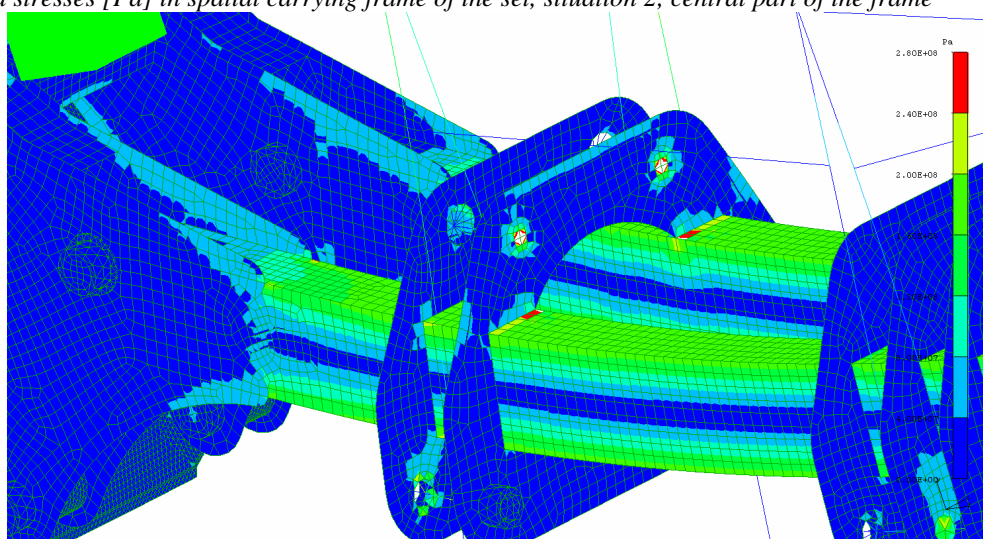
Rys. 5. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej przestrzennej agregatu, przypadek 1, widok z przodu na tzw. przełamanie ramy nośnej
 Fig. 5. Reduced stresses [Pa] in spatial carrying frame of the set, situation 1, front view on so called break-down of carrying frame



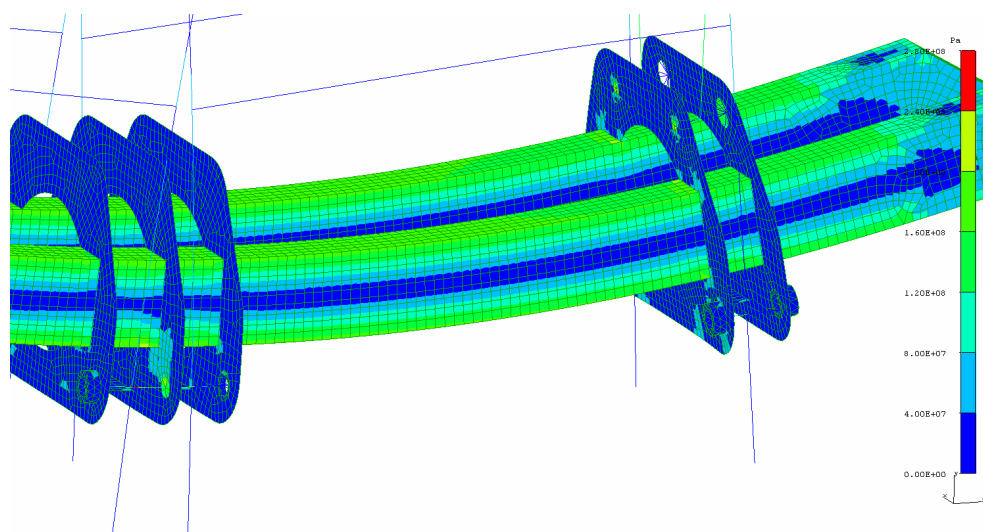
Rys. 6. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej przestrzennej agregatu, przypadek 2
 Fig. 6. Reduced stresses [Pa] in spatial carrying frame of the set, situation 2



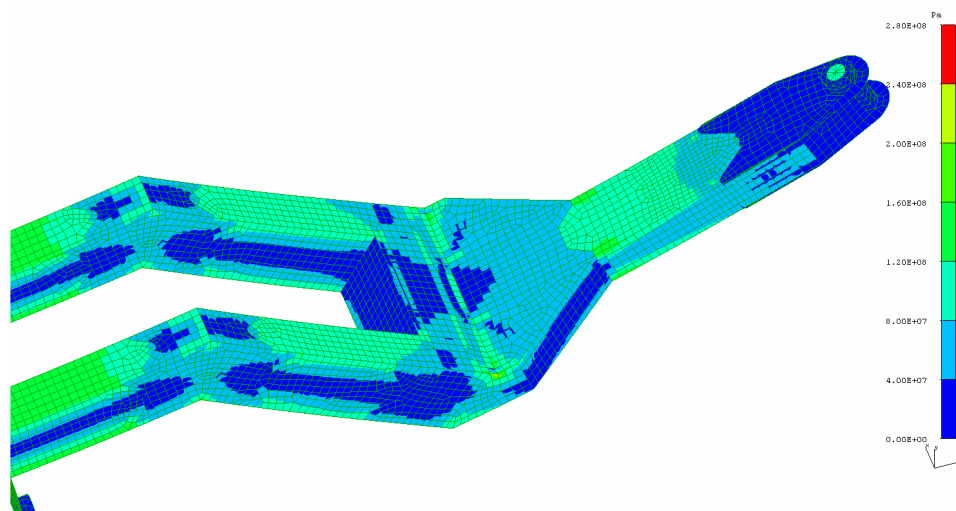
Rys. 7. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej przestrzennej agregatu, przypadek 2, środkowa część ramy
 Fig. 7. Reduced stresses [Pa] in spatial carrying frame of the set, situation 2, central part of the frame



Rys. 8. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej płaskiej agregatu, przypadek 1, widok z boku na tylną część ramy
 Fig. 8. Reduced stresses [Pa] in flat carrying frame of the set, situation 2, side view on rear part of the frame



Rys. 9. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej płaskiej agregatu, przypadek 1, widok z boku
 Fig. 9. Reduced stresses [Pa] in flat carrying frame of the set, situation 1, side view



Rys. 10. Naprężenia zredukowane [Pa] w ramie nośnej płaskiej agregatu, przypadek 2, widok na przednią część ramy
Fig. 10. Reduced stresses [Pa] in flat carrying frame of the set, situation 2, view on the front part of the frame

Po przeprowadzeniu analizy wytrzymałości ram nośnych agregatu o szerokości roboczej 6 m stwierdzono, że obie ramy można zastosować w maszynie. Rama przestrzenna wymaga jednak drobnych poprawek w konstrukcji w przedniej jej części (rys. 5) w postaci dodatkowych wzmocnień - żeber lub wsporników. Środkowa część ramy nośnej w punktach zbiegania się blach zaczepowych z podłużnicami wymaga sprawdzenia modelu przy użyciu w tych węzłach zagęszczonej siatki elementów skończonych (rys. 7).

Porównując dwie konstrukcje ram nośnych agregatu stwierdzono, że rama przestrzenna charakteryzuje się mniejszą masą, wynoszącą ok. 625 kg, przy masie ramy płaskiej 1010 kg. Informacje te uzyskano z systemu komputerowego Solid Works, po zadaniu właściwości materiałowych poszczególnym częściom konstrukcji.

Takie analizy i porównania są szczególnie pomocne dla konstruktora, pozwalają bowiem na wybór optymalnego rozwiązania konstrukcji, zarówno pod względem trwałości i wytrzymałości, spełniając jednocześnie kryteria minimalizacji kosztów materiałowych.

7. Literatura

- [1] Szczepaniak J., Rogacki R., Grzechowiak R., Rutkowski J., Szczepaniak M., Karbowski R., Szycha M.: Nowa generacja agregatów biernych o szerokościach roboczych 3, 4 i 6 m do przedsięwzięcia uprawy gleby. Zad.II.3. Opracowanie modeli obliczeniowych konstrukcji nośnej całego typoszeregu agregatów, analizy wytrzymałościowe statyczne z zastosowaniem MES, Zad.II.4. Optymalizacja konstrukcji agregatu 3, 4 i 6 m w aspekcie wytrzymałościowym. PIMR, Poznań 2007.
- [2] Pawłowski T., Szczepaniak J., Rogacki R., Mac J., Rutkowski J., Grzechowiak R., Wojciechowski J.: Nowa generacja agregatów biernych o szerokościach roboczych 3, 4 i 6 m do przedsięwzięcia uprawy gleby. Zad.II.1. Wytypowanie metody składania agregatów do położenia transportowego i wyznaczenie ich parametrów funkcjonalnych w aspekcie współpracy z siewnikiem. PIMR, Poznań 2007.