

## **LOAD ANALYSIS OF THE CULTIVATOR UNIT'S CARRYING FRAMES DURING WORKING AND TRANSPORT RUNS**

### *Summary*

*Structure endurance examinations of the carrying frame in cultivation unit built with front unit and rear aggregate with coupler for seeder were discussed. Hubs of the structure, in which tension concentrations are coming were determined for computational cases - transport and working time. Averaged and amplitude tension values are referred to the Goodman-Smith graph for S355J0 steel. Tension concentrations located in examined hubs of the structure aren't exceeding permissible value for definite material.*

**Key words:** cultivation unit; FEM; mathematical models; endurance calculations; seeding equipment

## **ANALIZA OBCIĄŻEŃ RAM NOŚNYCH W ZESTAWIE UPRAWOWYM PODCZAS PRZEJAZDÓW ROBOCZYCH I TRANSPORTOWYCH**

### *Streszczenie*

*Omówiono badania wytrzymałościowe konstrukcji nośnej zestawu uprawowego złożonego z narzędzia przedniego i agregatu tylnego ze sprzęgiem do siewnika. Określono węzły konstrukcji, w których następują koncentracje naprężeń dla przypadków obliczeniowych – transportu oraz pracy. Wyznaczone wartości naprężeń uśrednionych oraz naprężeń amplitudowych odniesiono do wykresu Goodmana-Smitha dla stali S355J0. Stwierdzono, że koncentracje naprężeń zlokalizowane w badanych węzłach konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla określonego materiału.*

**Słowa kluczowe:** zestaw uprawowy; MES; modele matematyczne; obliczenia wytrzymałościowe; siewniki

### **1. Wprowadzenie**

Metoda elementów skończonych jest wykorzystywana w praktyce inżynierskiej od wielu lat. Wykorzystanie jej w szeroko rozumianym procesie projektowania złożonych modeli było dotychczas ograniczone z jednej strony zbyt małą mocą obliczeniową stosowanego sprzętu, a z drugiej - dużym nakładem pracy potrzebnym na przygotowanie i syntezę wyników [1]. Dostęp do wydajnych wieloprocesorowych komputerowych stacji badawczych oraz nowe technologie produkcji efektywnego oprogramowania systemów obliczeniowych wykorzystujących MES spowodowały, że metoda ta stała się integralną częścią procesu projektowania maszyn. Nieustanny rozwój Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu owocuje z roku na rok rosnącą liczbą sprawdzanych konstrukcji.

Z myślą o ograniczaniu liczby przejazdów po polu i prawidłowym doprawieniu gleby przed siewem podjęto w PIMR prace nad zestawem uprawowym złożonym z narzędzia przedniego i agregatu ze sprzęgiem do siewnika. Narzędzie przednie, wspomagające pracę agregatu tylnego, ma za zadanie wyrównywać glebę przed ciągnikiem i dociskać ją w strefie środkowej, pomiędzy kołami ciągnika. Koła ciągnika toczą się na zewnątrz dociśniętego pasa, powodując mniejsze zagęszczanie gleby w koleinach. Koła agregatu zawieszzonego z tyłu dociskają pozostałą glebę na szerokości pasa roboczego i wraz z wałem utrzymują jego stałe zagłębienie. Ostatecznie wszystkie koła toczą się po glebie wyrównanej przez narzędzie przednie i dociskają ją przed agregatem tylnym, dzięki czemu kultywator lub brona talerzowa mogą równomiernie spulchnić warstwę siewną. Wał strunowy z faliście wygiętymi strunami rozkrusza bryły, ostatecznie niweluje nierówności i zagęszcza glebę poniżej

głębokości siewu, zapewniając równomierną pracę siewnika zawieszzonego na sprzęgu [2].

### **2. Cel i metody badań**

Celem badań było sprawdzenie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych maszyn, z wykorzystaniem modelowania matematycznego w środowisku wirtualnym. Wygenerowane modele obliczeniowe maszyn poddano analizie wytrzymałościowej, z uwzględnieniem trzech przypadków obciążeń występujących podczas ich eksploatacji. W trakcie analizy wytrzymałościowej określono wpływ sił działających na konstrukcję ram nośnych narzędzia przedniego i agregatu tylnego w różnych wersjach roboczych, podczas pracy i przejazdów transportowych. W analizach uwzględniono obciążenie balastowe narzędzia przedniego oraz obciążenie agregatu tylnego siewnikiem zawieszonym na sprzęgu.

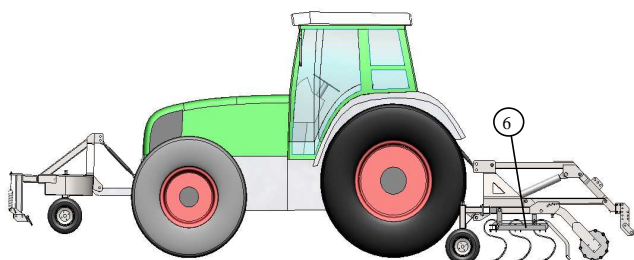
Modele obliczeniowe konstrukcji opracowano oraz obliczenia przeprowadzono w systemie IDEAS NX6.

### **3. Przedmiot badań**

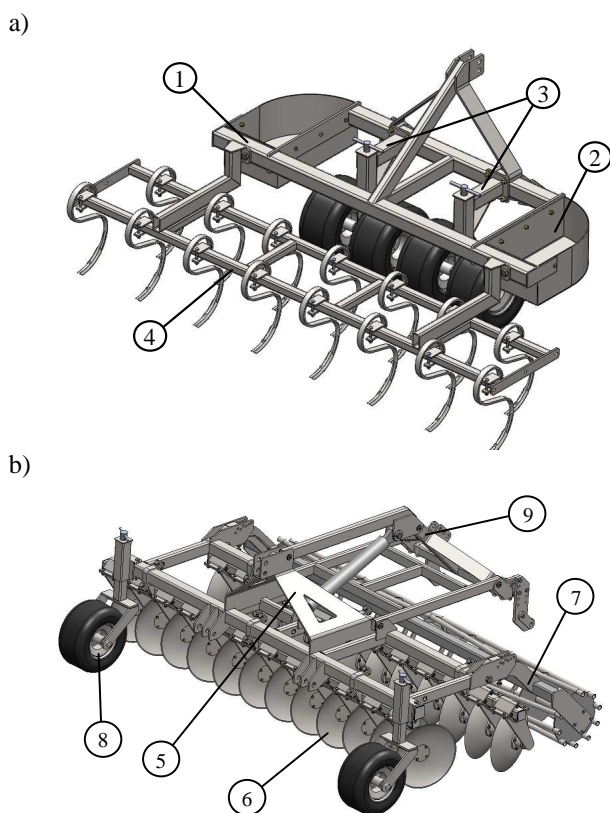
Obiektem badań wytrzymałościowych był zestaw uprawowy złożony z narzędzia przedniego i agregatu tylnego ze sprzęgiem do siewnika.

Agregowane na przednim TUZ ciągnika (rys. 1) narzędzie przednie (rys. 2a) składa się z ramy (1), skrzyń balastowych (2), dwóch podwójnych kół (3) oraz kultywatora lub włóki (4), które mocowane są wymiennie z przodu ramy. Agregat zawieszany na tylnym TUZ ciągnika (rys. 2b), składa się z ramy nośnej (5), kultywatora lub brony talerzowej (6), wału strunowego (7), kół (8) oraz sprzęgu do

siewnika (9), unoszonego siłownikiem hydraulicznym. Głębokość robocza kultywatora lub brony talerzowej regulowana jest kołami z przodu i wałem z tyłu.



Rys. 1. Model bryłowy zestawu uprawowego, o szerokości roboczej 4 m, złożonego z narzędzia przedniego z włóką i agregatu tylnego z kultywátorem i sprzęgiem do siewnika  
*Fig. 1. Solid model of the 4 m working width cultivation unit built with front unit and rear aggregate equipped with a coupler for seeder*



Rys. 2. Modele bryłowe 4-metrowego narzędzia przedniego z kultywátorem (a) i 3-metrowego agregatu z broną talerzową (b)

*Fig. 2. Solid models of the 4-meter front unit with cultivator (a) and 3-meter aggregate with disc harrow (b)*

Tab. Masy i opory robocze narzędzia przedniego i agregatu tylnego

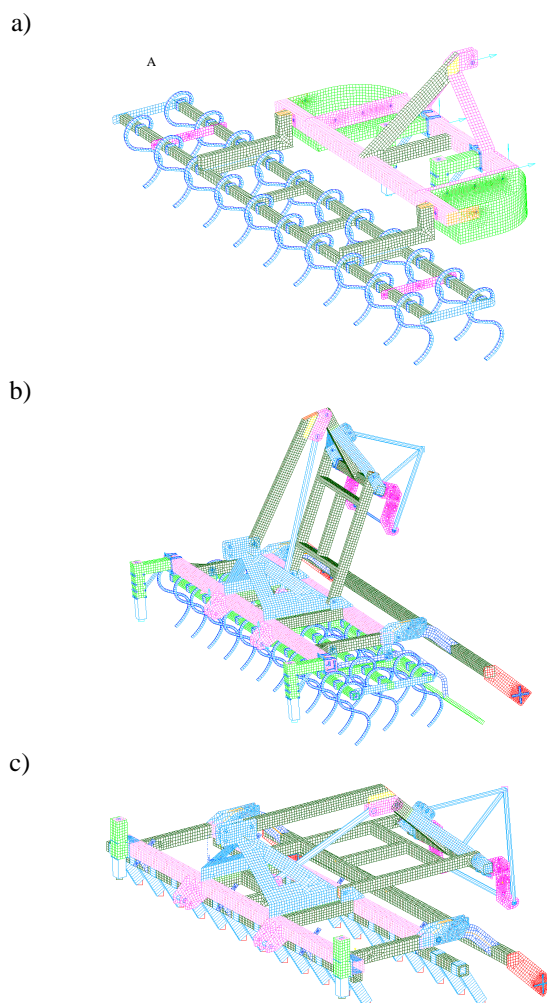
*Table. Mass and working resistances of the front tool and the back unit*

Wyszczególnienie	Jednostka	Narzędzie przednie		
		Narzędzie przednie		Agregat tylny
		kultywator	kultywator	brona talerzowa
		4 m	4 m	3 m
Masa	[kg]	730	2200	1970
Opory robocze	[daN]	500	1290	1210

W obliczeniach wytrzymałościowych uwzględniono agregat tylny w wersji z broną talerzową o szerokości 3 m z kultywátorem o szerokości 4 m oraz narzędzie przednie z kultywátorem o szerokości 4 m. W tab. podano masy i opory robocze, z uwzględnieniem obciążenia balastowego narzędzia przedniego oraz siewnika zasypanego ziarnem i zawieszony na sprzęgu agregatu tylnego [3].

#### 4. Badania i analiza wyników

Na potrzeby analiz wytrzymałościowych opracowano trzy modele obliczeniowe: narzędzie przedniego z 4-metrowym kultywátorem, agregatu tylnego z 3-metrową broną talerzową i agregatu tylnego z 4-metrowym kultywátorem (rys. 3). Przyjęto globalny układ odniesienia, w którym oś OX przebiega w poprzek maszyny, oś OZ wzdłuż, a oś OY jest osią pionową.



Rys. 3. Modele obliczeniowe dyskretyzowane siatką MES: a) narzędzie przednie z 4-metrowym kultywátorem, b) agregat tylny z 4-metrowym kultywátorem i siewnikiem niesionym na sprzęgu do transportu, c) agregat tylny z 3-metrową broną talerzową i siewnikiem opuszczonym na sprzęgu do pozycji pracy

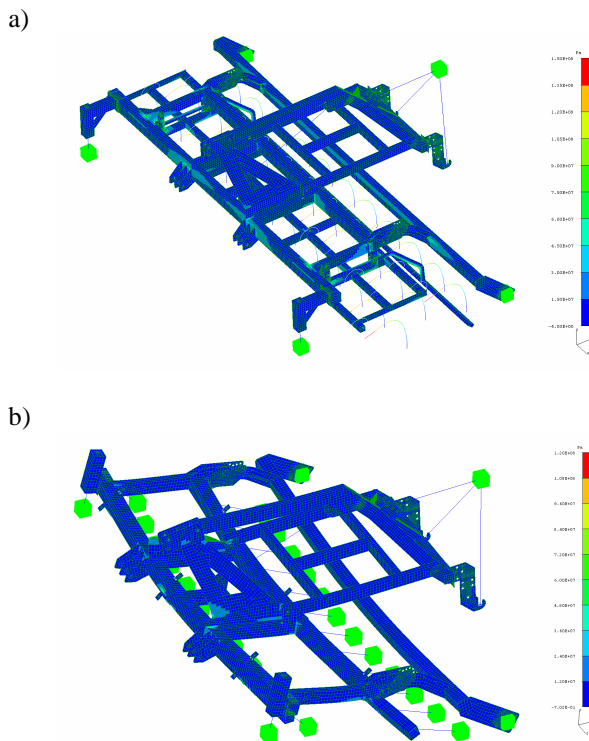
*Fig. 3. Computational FEM model of the a) – 4-meter front unit with cultivator, b) rear aggregate with 4-meter cultivator and the coupler with seeder in transport position, c) rear aggregate with 3-meter disc harrow and the coupler with seeder set to the working position*

W analizowanych przypadkach główne zespoły konstrukcyjne, tj.: ramy nośne narzędzia przedniego i agregatu

tylnego, sprzęg do siewnika, słupice kół oraz ramy kultywatora, brony talerzowej i wału zamodelowano za pomocą elementów płytowo-powłokowych czworokątnych. Elementy belkowe wykorzystano do zamodelowania połączeń sworzniowych, jarmz oraz siłowników hydraulicznych. Elementy prętowe użyto do połączenia masy skupionej reprezentującej siewnik z materiałem siewnym zaczepiony na wieszaku sprzęgu. Grubości ścian elementów płytowo – powierzchniowych w modelach obliczeniowych odpowiadają poszczególnym grubościom ścian profili zaproponowanych w modelach geometrycznych.

Pierwszym analizowanym przypadkiem obliczeniowym był transport po drogach utwardzonych. W tym przypadku maszyna obciążona była siłami dynamicznymi pochodzącymi od masy narzędzi roboczych zamocowanych na ramie. Stopnie swobody narzędzia przedniego odebrano w trzech punktach układu zawieszenia. W jednym z dolnych zaczepów TUZ odebrano przemieszczenia we wszystkich trzech kierunkach OX, OY i OZ, w drugim – w kierunkach OY i OZ. W górnym uchwycie TUZ odebrano możliwość przemieszczeń w kierunku OZ. Dla dwóch wersji agregatu tylnego warunki brzegowe zaimplementowano w sposób analogiczny uwzględniając zawieszenie maszyny na tylnym TUZ ciągnika oraz siewnika – na TUZ sprzęgu.

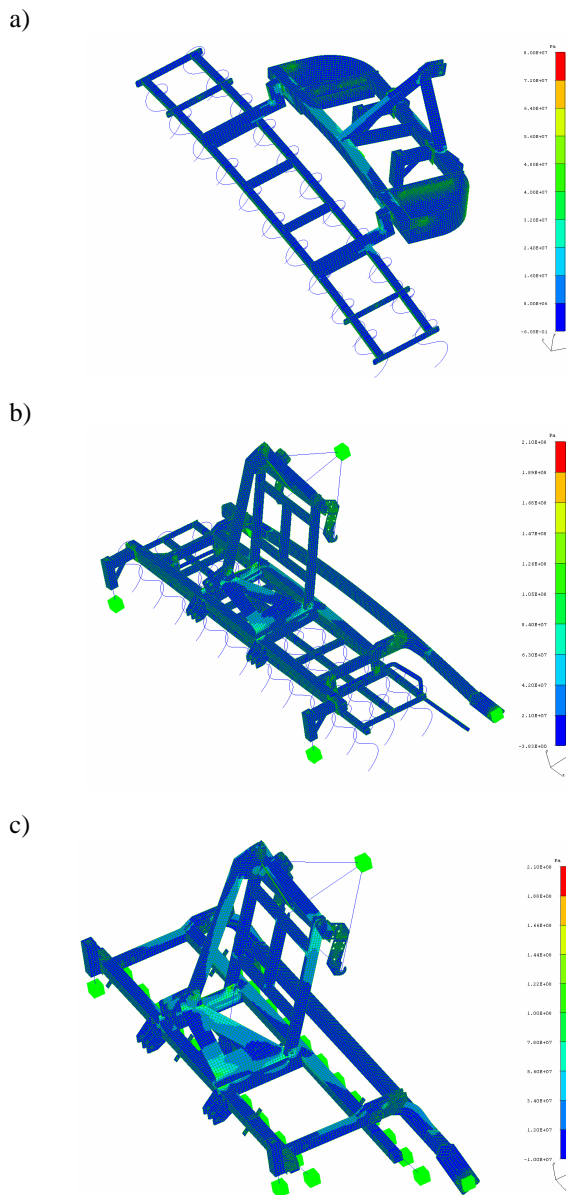
Drugim rozpatrywanym przypadkiem dla modeli obliczeniowych była praca z maksymalnym obciążeniem roboczym. W przypadku narzędzia przedniego są to siły dynamiczne pochodzące od oporów kultywatora i podwójnych kół. W modelu agregatu tylnego obciążenie robocze konstrukcji pochodzi od sił oporu kultywatora lub talerzy brony, wału i kół, a także od oporów przetaczania siewnika napełnionego ziarnem.



Rys. 4. Naprężenia zredukowane Misses'a podczas pracy: a) agregat tylny z kultywatorem, b) agregat tylny z broną talerzową  
Fig. 4. Von Misses reduced tensions in case of working, a) rear aggregate with cultivator, b) rear aggregate with disc harrow

W przypadku pracy dla wszystkich modeli stopnie swobody odebrano, podobnie jak w transporcie, w trzech punktach połączenia z ciągnikiem oraz dodatkowo podparto w kierunku pionowym słupice kół, wał i siewnik. Dla wszystkich przypadków uwzględniono nadwyżkę dynamiczną 0,2.

Największą wartość naprężeń dla wszystkich analizowanych konstrukcji zaobserwowano dla przypadku transportu. Różnice występują w wartościach naprężeń w tych samych węzłach konstrukcji ramy agregatu tylnego z kultywatorem lub broną talerzową. Wynikają one z różnicy mas poszczególnych wersji (rys. 5).

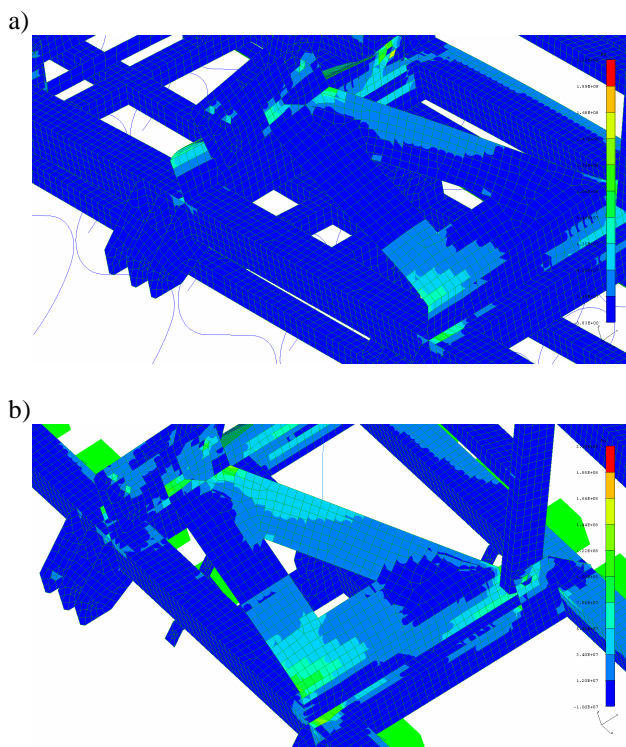


Rys. 5. Naprężenia zredukowane Misses'a podczas transportu: a) narzędzie przednie, b) agregat tylny z kultywatorem, c) agregat tylny z broną talerzową  
Fig. 5. Von Misses reduced tensions in case of transport: a) front unit, b) rear aggregate with cultivator, c) rear aggregate with disc harrow

Podczas transportu agregatu tylnego w wersji z 4-metrowym kultywatorem, sprzęg wraz z siewnikiem jest uniesiony ponad ramę maszyny, co powoduje nacisk na stojak zawieszenia ramy nośnej. Największe naprężenia w ramie nośnej zlokalizowane są w miejscu łączenia belki

głównej z płytą stojaka (102 MPa) i w górnej części stojaka (100 MPa) (rys. 6). Koncentracja naprężeń występuje również symetrycznie w uchwytach dolnego ramienia sprzęgu, na którym wsparty jest siewnik (rys. 7). W sworzniach mocujących dolne ramie sprzęgu w uchwytach ramy naprężenia dochodzą do 160 MPa, zaś w płytach uchwytów 120 MPa.

Największa koncentracja naprężeń w ramie nośnej agregatu tylnego z 3-metrową broną talerzową podczas pracy występuje w miejscu łączenia belki głównej ramy z płytą stojaka zawieszenia i wynosi 58 MPa. W miejscach mocowania uchwytów sekcji brony talerzowej wartość naprężeń nie przekracza poziomu 76 MPa.



Rys. 6. Naprężenia zredukowane [Pa] w stojaku zawieszania podczas transportu agregatu z 3-metrową broną talerzową (a) lub 4-metrowym kultywatorem (b)  
*Fig. 6. Von Mises reduced tensions [Pa,] in aggregate with 3-meter disc harrow (a) or 4-meter cultivator (b) in transport case*

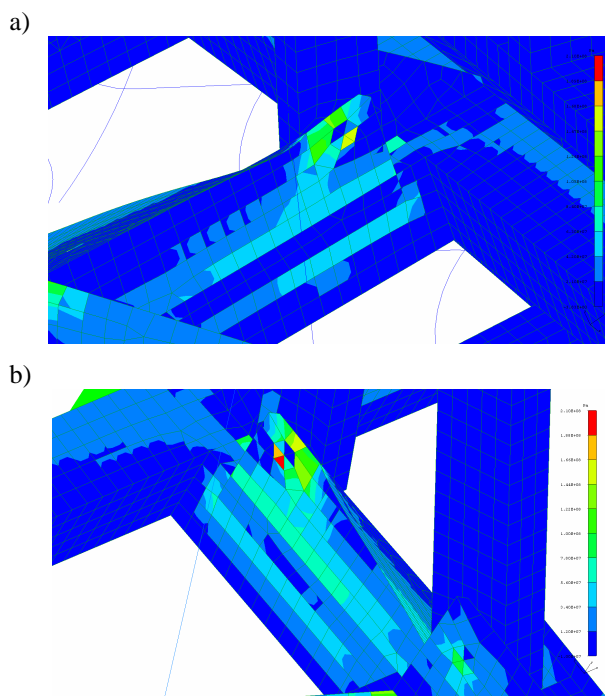
Dla przypadku transportu agregatu tylnego z broną talerzową naprężenia rozkładają się w całej konstrukcji symetrycznie. Koncentracje naprężeń podobnie jak w przypadku transportu agregatu w wersji z kultywatorem pojawiają się w górnej i dolnej części stojaka zawieszania ramy nośnej. W górnej części płyty stojaka wartość naprężeń osiąga poziom 131 MPa, w dolnej 123 MPa, natomiast w miejscu łączenia płyty stojaka z belką główną ramy nośnej wartość naprężeń wynosi 146 MPa.

Koncentracje naprężeń powstają również w węzle łączenia ramy nośnej z dolnym ramieniem sprzęgu do siewnika. W sworzniach mocujących dolne ramie sprzęgu wartość naprężeń wynosi 194 MPa, natomiast w płytach uchwytów maksymalnie 158 MPa.

Z kolei rama nośna narzędzia przedniego w czasie transportu zachowuje dużą sztywność. Największe naprężenia osiągają poziom 40 MPa i znajdują się w środkowej części belki poprzecznej.

W analizie przypadku pracy dla obu wersji agregatu tylnego stwierdzono symetryczne rozłożenie map naprężeń.

Dla agregatu tylnego w wersji z 4-metrowym kultywatorem największe koncentracje naprężeń ramy nośnej znajdują się w miejscu łączenia belki głównej z belką wzdłużną i osiągną wartość 76 MPa. Naprężenia pojawiają się również w ramie wału – 120 MPa (rys. 4).



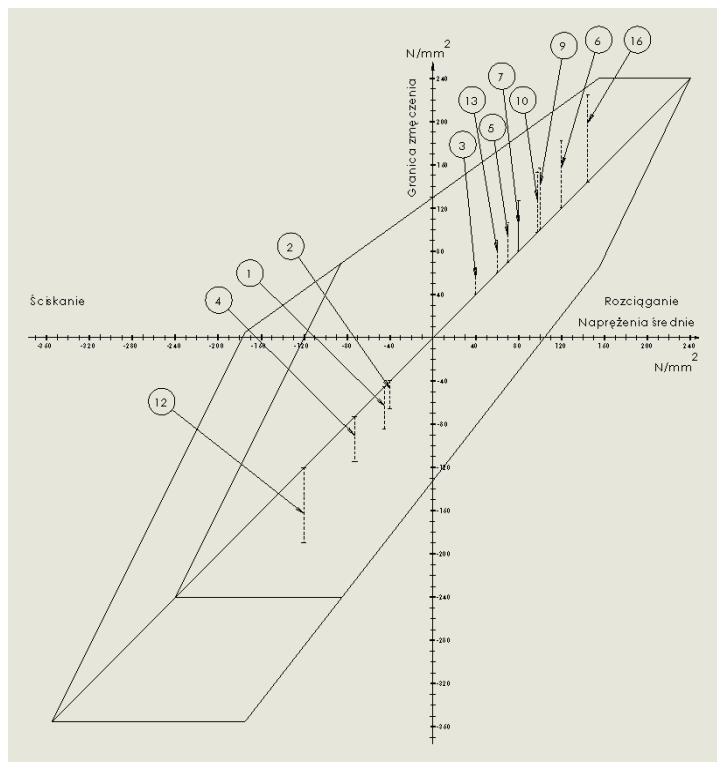
Rys. 7. Naprężenia zredukowane [Pa], w uchwycie dolnego ramienia sprzęgu siewnika podczas transportu agregatu z kultywatorem (a) lub broną talerzową (b)  
*Fig. 7. Von Mises reduced tensions [Pa] in bracket of seeder coupling lower arm in transport case of aggregate with cultivator (a) or disc harrow (b)*

W omówionych wariantach obliczeniowych, w czasie pracy i transportu po drogach utwardzonych, sprawdzono również amplitudy naprężeń w analizowanych węzłach konstrukcji (rys. 8). Opisując wyniki dla agregatu tylnego przyjęto, że pierwsza wartość odpowiada wersji z 4-metrowym kultywatorem, a druga – wersji z 3-metrową broną talerzową.

Podczas transportu w agregacie tylnym wartość amplitud naprężeń wyniosła w rozpatrywanych węzłach: w dolnej części płyty stojaka zawieszania 24 MPa (8) i 31 MPa (15), w miejscu łączenia belki głównej ramy nośnej z płytą stojaka 26 MPa (9) i 37 MPa (16), a w górnej części stojaka 26 MPa (10) i 34 MPa (17).

W płytach uchwytów dolnego ramienia sprzęgu siewnika wartość amplitudy naprężeń wynosi odpowiednio 31 MPa (12) i 40 MPa (19), a w sworzniach mocujących osiągnęła maksymalną wartość w każdym z przypadków 41 MPa (11) i 50 MPa (18).

Dla przypadku pracy w agregacie tylnym w wersji z 4-metrowym kultywatorem wartość amplitud w węzłach konstrukcji wyniosła: 31 MPa w ramie wału (6) oraz 21 MPa w ramie kultywatora (7). Amplitudy naprężeń w agregacie tylnym w wersji z broną talerzową wyniosły 15 MPa – w miejscu łączenia belki głównej ramy nośnej z płytą stojaka (13) oraz 19 MPa – w punkcie mocowania uchwytów brony (14).



Rys. 8. Wykres Goodmana-Smith'a dla stali S355J0, graficzne przedstawienie wyników dla przypadków obciążeń  
 Fig. 8. Goodman-Smith graph for S355J0 steel, graphical presentation of effects for cases of loads

Uwzględniając maksymalne wartości naprężeń uśrednionych oraz naprężeń amplitudowych w odniesieniu do wartości naprężeń dopuszczalnych wg wykresu Goodmana-Smitha dla stali S355J0 (rys. 8), stwierdzono, iż w badanej konstrukcji nie występują przekroczenia wartości dopuszczalnych dla wybranego materiału.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzono analizę wytrzymałościową konstrukcji nośnej narzędzia przedniego i agregatu tylnego ze sprzęgiem do siewnika przy założonych obciążeniach roboczych podczas pracy i transportu.

Na podstawie analizy wytrzymałościowej przeprowadzonej za pomocą oprogramowania IDEAS NX 6 dla konstrukcji nośnej agregatów stwierdzono, że:

- konstrukcja agregatu tylnego ze sprzęgiem do siewnika spełnia wymagania wytrzymałościowe dla uwzględnionych przypadków obciążeń,
- największe naprężenia, o wartości 158 MPa, występują w płytach uchwytu dolnego ramienia sprzęgu do siewnika podczas transportu, kiedy na węzeł ten oddziałuje ciężar uniesionego siewnika wypełnionego ziarnem, nie przekraczają one jednak wartości dopuszczalnej,
- podczas pracy naprężenia w konstrukcji nośnej agregatu tylnego w obu konfiguracjach nie przekraczają 85 MPa,

- konstrukcja narzędzia przedniego spełnia wymagania wytrzymałościowe dla uwzględnionych przypadków obciążeń,
- podczas transportu naprężenia w konstrukcji nośnej narzędzia przedniego nie przekraczają 50 MPa,
- koncentracje naprężeń zlokalizowane w analizowanych węzłach konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla stali S355J0,
- miejsca ram nośnych o największej koncentracji naprężeń zostaną zweryfikowane podczas badań tensometrycznych prototypów.

## 6. Bibliografia

- [1] Zienkiewicz O.C., Taylor R. L.: The Finite Element Method. Vol. 2. Solid Mechanics. V edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [2] Talarczyk W., Gośliński M., Łowiński Ł. i inni: Dobór parametrów konstrukcyjnych i kinematycznych dla modelu geometrycznego agregatu tylnego z wymiennymi zespołami roboczymi i sprzęgiem do siewnika oraz narzędzia przedniego uzupełniającego zestaw uprawowy. Praca nie publikowana. PIMR, Poznań, 2010.
- [3] Łowiński Ł.: Wielowariantowe obliczenia wytrzymałości konstrukcji na wirtualnych modelach 3D narzędzia przedniego i agregatu tylnego oraz analiza kinematyczna sprzęgu do siewnika, praca nie publikowana. PIMR, Poznań, 2010.