

## **LOAD ANALYSIS OF THE AGRICULTURAL MACHINE'S CARRYING FRAME DURING WORK AND TRANSPORT RUNS**

### *Summary*

*Structure endurance simulation examinations of the machine for one-phase willow harvesting carrying frame were discussed. Hubs of the structure, in which stress concentrations are coming, were determined for computational cases - transport, field ride and working time. Averaged and amplitude stress values are related to the Goodman-Smith graph for S355J2G3 steel. Stress concentrations located in examined hubs of the structure aren't exceeding permissible values for definite material.*

## **ANALIZA OBCIĄŻEŃ RAMY NOŚNEJ MASZYNY ROLNICZEJ PODCZAS PRZEJAZDÓW ROBOCZYCH I TRANSPORTOWYCH**

### *Streszczenie*

*Omówiono symulacyjne badania wytrzymałościowe konstrukcji nośnej maszyny do jednoetapowego zbioru wierzby. Określono węzły konstrukcji, w których występują koncentracje naprężeń dla przypadków obliczeniowych – transportu, przejazdu po polu oraz pracy. Wyznaczone wartości naprężeń uśrednionych oraz naprężeń amplitudowych odniesiono do wykresu Goodmana-Smitha dla stali S355J2G3. Koncentracje naprężeń zlokalizowane w badanych węzłach konstrukcji nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla określonego materiału.*

### **1. Wprowadzenie**

Metoda obliczeniowa z wykorzystaniem elementów skończonych jest stosowana 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. Dostęp do wydajnych wieloprocesorowych komputerowych stacji badawczych oraz nowe technologie produkcji efektywnego oprogramowania systemów obliczeniowych wykorzystujących MES (w tym przede wszystkim pre- i postprocesorów) spowodowały, że metoda ta staje się integralną częścią procesu projektowania maszyn. Wdrażanie w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu nowoczesnych technik badawczych owocuje z roku na rok rosnącą ilością konstrukcji poddawanych analizie wytrzymałościowej.

### **2. Cel i metody badań**

Celem badań było sprawdzenie poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych maszyny do jednofazowego zbioru wierzby krzewiastej, z wykorzystaniem modelowania matematycznego w środowisku wirtualnym. Wygenerowany model obliczeniowy maszyny poddano analizie wytrzymałościowej, z uwzględnieniem trzech przypadków obciążeń występujących podczas jej eksploatacji. W trakcie prowadzonej analizy wytrzymałościowej określono wpływ sił działających na konstrukcję ramy nośnej maszyny podczas pracy, transportu po polu oraz transportu na drogach utwardzonych.

Model obliczeniowy konstrukcji maszyny do zbioru jednofazowego opracowano oraz obliczenia przeprowadzono w systemie IDEAS NX 5m1. W analizowanych przypadkach elementy nośne maszyny, tj.: rama główna, rama

dolna, zespół wyrzucający, zespół rozdrabniający i zespół komory rozdrabniającej zamodelowano z wykorzystaniem elementów płytowo-powłokowych. Elementy objętościowe wykorzystano do zamodelowania noża rozdrabniającego stożkowo-ślimakowego. Z wykorzystaniem elementów belkowych zamodelowano połączenia ramy głównej z elementami roboczymi. Za pomocą elementów belkowych zamodelowano połączenia sworzniowe występujące w maszynie. Pozycja ramy dolnej podczas transportu utrzymywana była za pomocą elementów prętowych (w miejsce siłowników hydraulicznych).

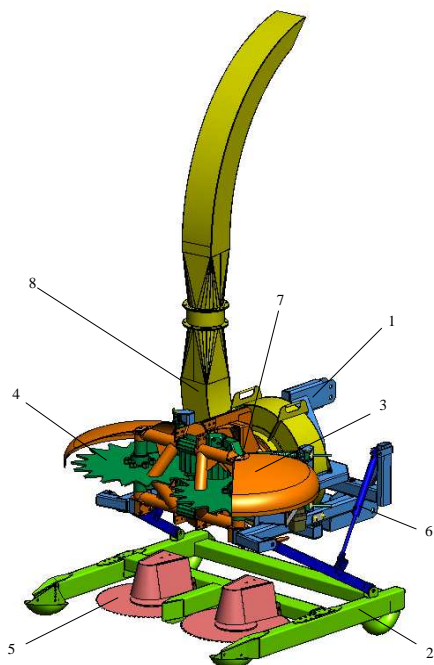
W trakcie przeprowadzonej analizy wytrzymałości konstrukcji ramy nośnej maszyny wykonano trzy warianty obliczeniowe. Pierwszy - transport po drogach utwardzonych. W tym przypadku maszyna obciążona była siłą dynamiczną pochodzącą od masy narzędzi. Dla agregatu ciągnik-maszyna do jednoetapowego zbioru wierzby krzewiastej przyjęto prędkość jazdy 15 km/h. W przypadku transportu stopnie swobody odebrano w trzech węzłach konstrukcji, w miejscu mocowania maszyny do ciągnika, na wieszaku górnym oraz dwóch ciągnach dolnych trzypunktowego układu zawieszenia. W wieszaku górnym odebrano przemieszczenia w kierunkach OXYZ. W dolnych punktach mocowania maszyny odebrano możliwość przemieszczeń w kierunkach OYZ. Drugi – transport po powierzchni pola, w którym dolna rama maszyny wraz z układem pił tnących jest opuszczona. Maszyna obciążona była siłą dynamiczną pochodzącą od masy narzędzi oraz oporami występującymi na ślizgach ramy dolnej. Założona prędkość jazdy to 4 km/h. Przypadek trzeci – praca maszyny w rzędach uprawianej wierzby krzewiastej. Maszyna obciążona jest siłą dynamiczną pochodzącą od oporów pił tarczowych, oporów na nożu rozdrabniającym stożkowo-ślimakowym oraz oporów na ślizgach ramy dolnej. Prędkość robocza wynosi 4 km/h.

W przypadku drugim i trzecim stopnie swobody odebrano podobnie jak w transporcie, w trzech węzłach agregowania maszyny z ciągnikiem oraz dodatkowo w ramie

dolnej, w miejscu ślizgów. W punktach kontaktu ślizgów z głębą odebrano możliwość przemieszczeń w kierunku OY. Dla wszystkich trzech przypadków uwzględniono nadwyżkę dynamiczną 0,2.

### 3. Przedmiot badań

Obiektem badań wytrzymałościowych był model obliczeniowy maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej. Maszyna jest zawieszana na przednim TUZ ciągnika. W położeniu roboczym (rys. 1) rama dolna (rys. 1, poz. 2) wsparta jest na ślizgach utrzymujących ją na odpowiedniej wysokości nad powierzchnią podłoża. Pędy wierzby po ścięciu przez zespół tnący (rys. 1, poz. 5), który stanowią dwie piły tarczowe, chwywane są przez zespół podający (rys. 1, poz. 4). Następnie pędy wciągane są przez cztery walce, które podają je do stożkowego zespołu rozdrabniającego (rys. 1, poz. 7). Powstałe zrębki są przez zespół wyrzucający (rys. 1, poz. 8) podawane na równoległe prowadzony środek transportowy.



Rys. 1. Model bryłowy maszyny do zbioru jednofazowego wierzby krzewiastej

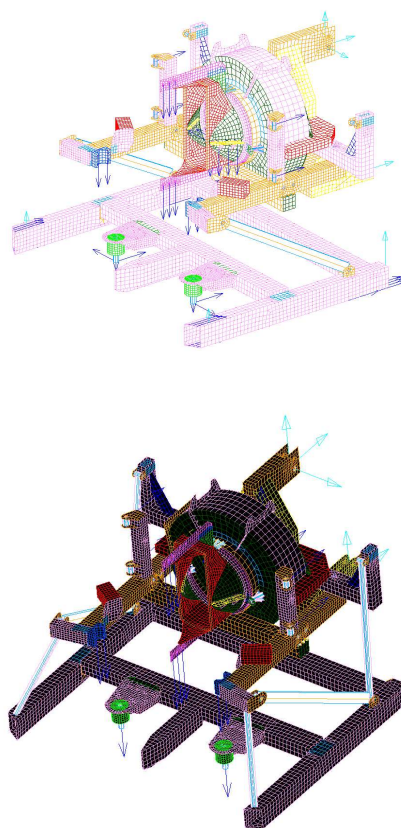
*Fig. 1. Solid model of the machine for one-phase shrub willow harvesting*

Napęd na zespół rozdrabniający stożkowo-ślimakowy jest przekazywany z przedniego WOM ciągnika, a pozostałe elementy robocze maszyny uzyskują napęd z silników hydraulicznych i z układu hydrauliki zewnętrznej ciągnika. Maszyna zawieszona na ciągniku jest transportowana po uniesieniu przednim podnośnikiem hydraulicznym ciągnika.

### 4. Badania i analiza wyników

Na potrzeby przeprowadzonych badań wytrzymałościowych opracowano dwa modele obliczeniowe: model do analizy konstrukcji nośnej maszyny podczas pracy i model do analizy podczas transportu (rys. 2). W modelach tych

uwzględniono różnicę w sposobie obciążenia, w zależności od wykonywanej w danym momencie rodzaju pracy.



Rys. 2. Model obliczeniowy dyskretyzowany siatką MES maszyny do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – położenie robocze i transportowe

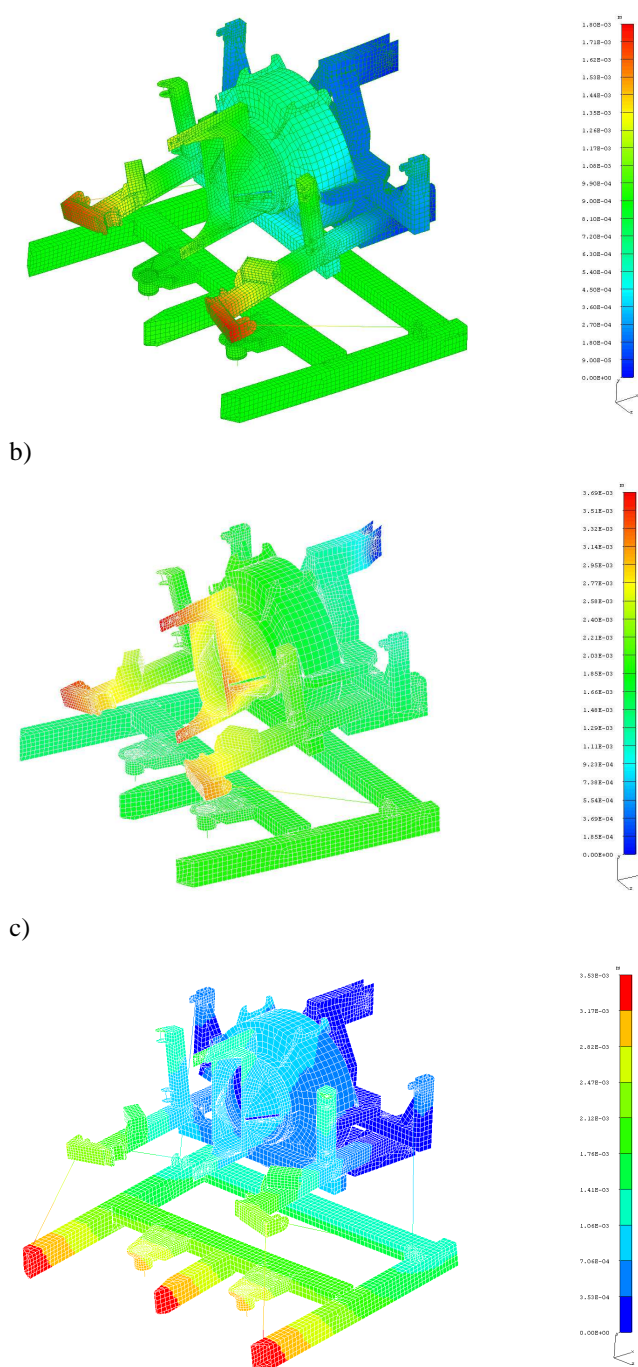
*Fig. 2. Computational MES model of the machine for one-phase shrub willow harvesting – working and transport cases*

Przeprowadzone analizy wytrzymałościowe umożliwiły określenie poziomu i rozkładu naprężeń w konstrukcji ramy nośnej oraz rozkład przemieszczeń elementów w maszynie do jednoetapowego zbioru wierzby krzewiastej.

Charakter wybranych wariantów obciążeń nie jest przypadkowy. Sprawdzone podstawowe przypadki dla konstrukcji: położenie pracy i transportowe. Przypadek transportu po polu jest przypadkiem łączonym, w którym maszyna ustawiona jest jak w położeniu pracy, jednak obciążenia konstrukcji charakterem zbliżone są do obciążeń występujących w czasie transportu. Tym samym możliwe stało się sprawdzenie, jaki wpływ na konstrukcję ramy nośnej ma każdy z podstawowych sposobów użytkowania oraz przypadek sumaryczny.

Rozkład przemieszczeń węzłów konstrukcji, pokazano na rysunku 3, uzależniony jest od charakteru konkretnego przypadku. W czasie transportu największym przemieszczeniom ulegają najdalej wysunięte węzły przedniej części ramy dolnej. Przemieszczenia dla tego elementu wynoszą 3,5 mm. Charakter rozkładu przemieszczeń węzłów konstrukcji dla przypadku pracy i przejazdu po polu jest zbliżony. Konstrukcja ramy dolnej, prowadzonej po powierzchni pola, nie ulega dużym przemieszczeniom. Największe przemieszczenia elementów występują symetrycznie w przedniej części belek wzdłużnych ramy nośnej i wy-

noszą 3,7 mm. W przypadku pracy przemieszczenia węzłów konstrukcji na poziomie 3,5 mm odnotowano w przedniej części komory rozdrabniania.

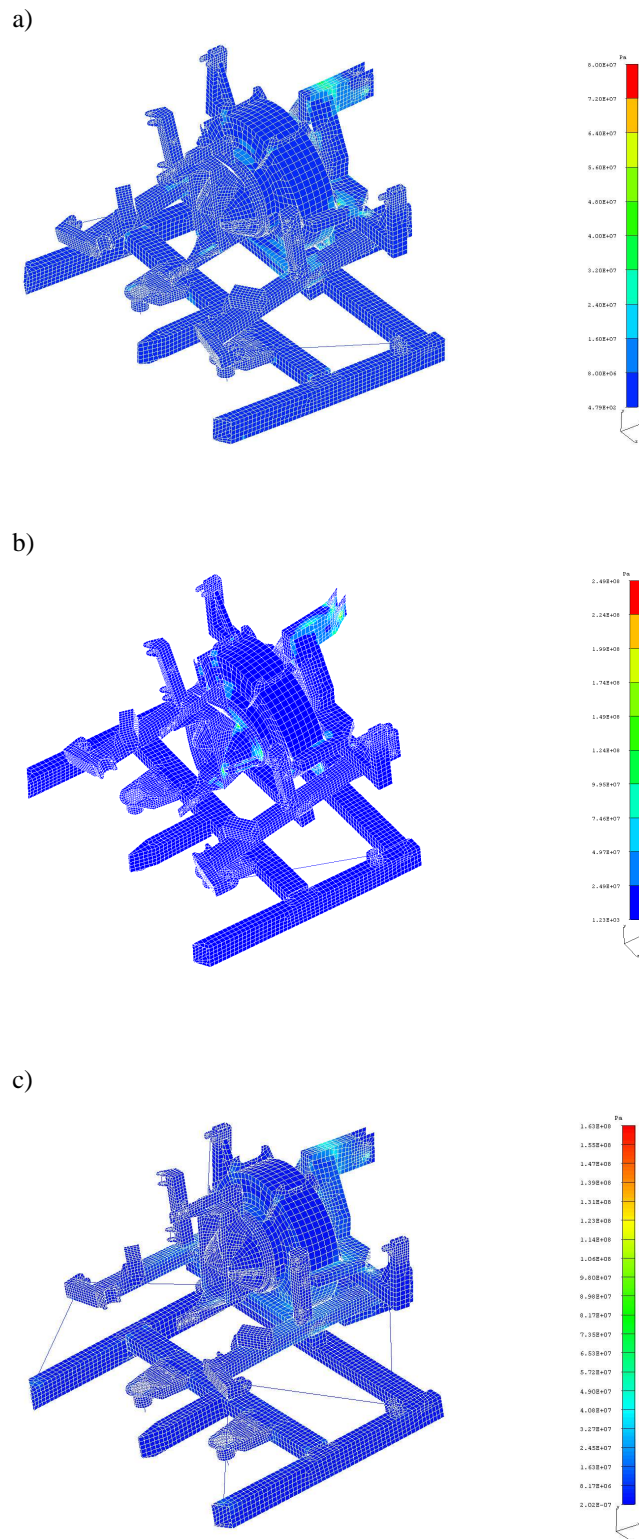


Rys. 3. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – przemieszczenia konstrukcji – a) przypadek transportu po powierzchni pola, b) przypadek pracy, c) transport

*Fig. 3. Machine for one-phase shrub willow harvesting – structure transferring - carrying frame view – a) field ride, b) working, c) transport case*

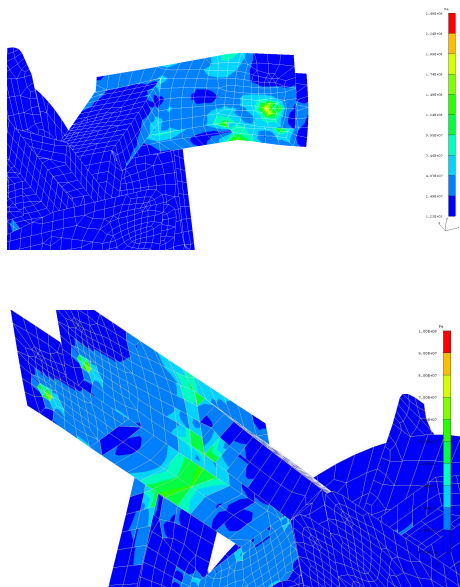
Koncentracje naprężeń usytuowane są w zbliżonych węzłach dla wszystkich przypadków (rys. 4). Są to punkty: górna część uchwytu TUZ, dolna część ramy nośnej oraz w osłonie komory rozdrabniania (dla przypadku pracy). W trzypunktowym układzie zawieszenia naprężenia osiągają

największe wartości w górnym uchwycie dla przypadku pracy – 174 MPa (rys. 5). Zlokalizowane są w otworze mocowania sworznia, gdzie koncentruje się siła ciężaru górnej części maszyny oraz siła wywołana pracą zespołu podającego i rozdrabniającego. W przypadku transportu wartość naprężeń w górnym punkcie TUZ wynosi 80 MPa. Obciążenie konstrukcji pochodzi od ciężaru maszyny wraz z uniesioną ponad powierzchnię pola ramą dolną.

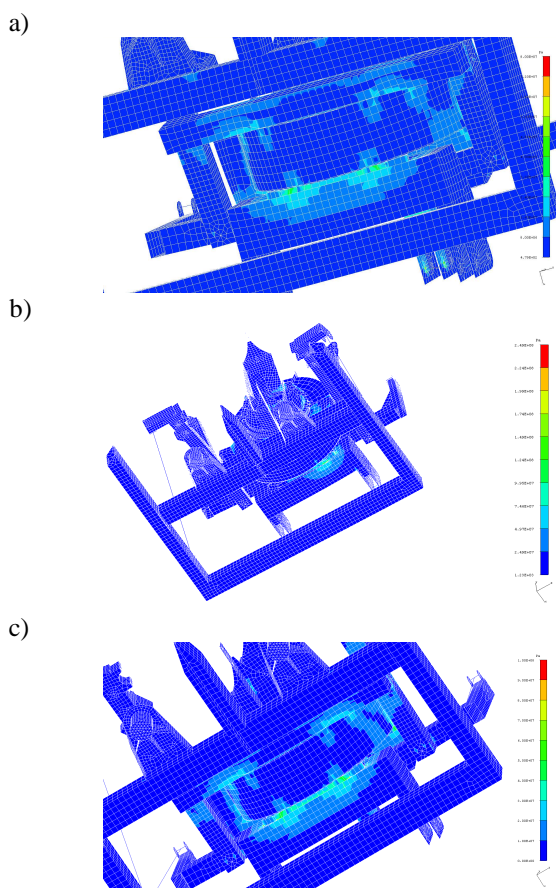




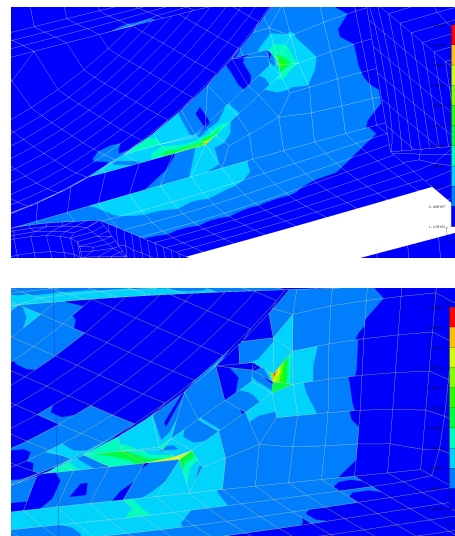
Rys. 4. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – naprężenia zredukowane Misses'a – widok ogólny – a) przejazd po polu, b) praca, c) transport  
*Fig. 4. Machine for one-phase shrub willow harvesting – von Misses reduced stress - general view – a) field ride, b) working, c) transport*



Rys. 5. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – naprężenia zredukowane Misses'a – widok uchwytu TUZ – a) przypadek pracy, b) transport  
*Fig. 5. Machine for one-phase shrub willow harvesting – von Misses reduced stress – a) working, b) transport*



Rys. 6. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – naprężenia zredukowane Misses'a – widok ramy nośnej – a) przypadek przejazdu po polu, b) pracy, c) transportu  
*Fig. 6. Machine for one-phase shrub willow harvesting – von Misses reduced stress – a) field ride, b) working, c) transport*

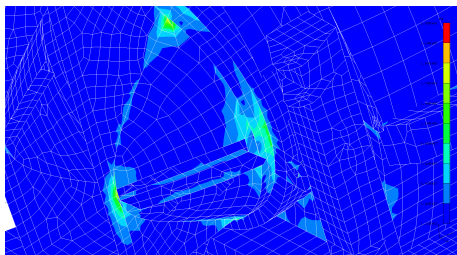


Rys. 7. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – naprężenia zredukowane Misses'a – widok dolnej części ramy nośnej – a) praca, b) transport  
*Fig. 7. Machine for one-phase shrub willow harvesting – von Misses reduced stress - lower part of the carrying frame view – a) working, b) transport*

Rozkład naprężeń w dolnej części ramy nośnej ma charakter symetryczny w przypadku transportu i przejazdu po polu (rys. 6). W zbliżonych węzłach konstrukcji wartości naprężeń wyniosły 60 MPa w czasie transportu i 50 MPa trakcie przejazdu po polu. W przypadku pracy zauważyć można niesymetryczne rozłożenie mapy naprężeń w dolnej części ramy nośnej oraz połączonej z nią osłony komory rozdrabniania. Szczególny rozkład naprężeń odzwierciedla charakter pracy noża stożkowo-ślimakowego. Największe naprężenia w omawianym węzle konstrukcji w czasie pracy wyniosły 100 MPa.

Punktowe koncentracje naprężeń (rys. 7) (osiągające w czasie pracy 100 MPa i transporcie 180 MPa) generowane we wszystkich trzech analizowanych przypadkach, należy zredukować przez zmianę kształtu i zaokrąglenie łączonych elementów na etapie budowy prototypu.

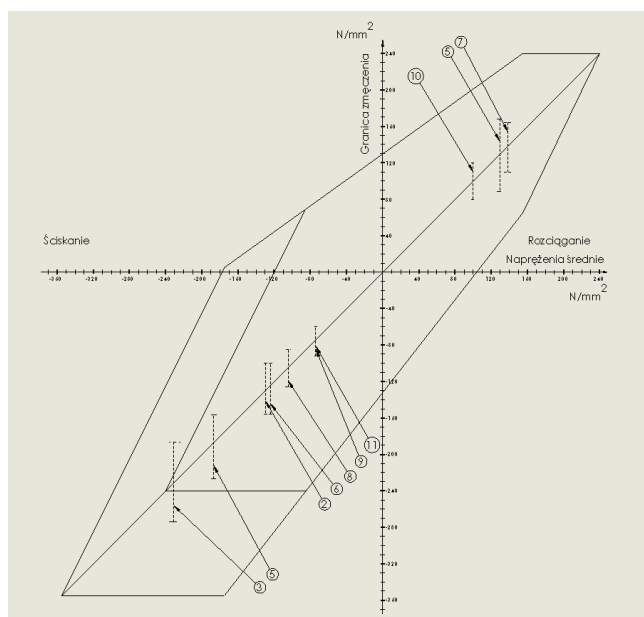
W przypadku pracy, koncentracje naprężeń występują również w osłonie komory rozdrabniającej (rys. 8). Podczas rozdrabniania pędów wierzby za pomocą noża rozdrabniającego stożkowo-ślimakowego na osłonie komory zanotowano naprężenia osiagające 214 MPa w górnej jej części, 156 MPa w przedniej, a 100 MPa w tylnej. Wprowadzenie dodatkowego elementu mocującego komorę rozdrabniającą do ramy nośnej w jej górnej części pozwoliło na zmniejszenie wartości naprężeń w tych trzech węzłach o połowę.



Rys. 8. Maszyna do zbioru wierzby krzewiastej metodą jednoetapową – naprężenia zredukowane Misses’a – przypadek pracy – widok osłony komory rozdrabniania

*Fig. 8. Machine for one-phase shrub willow harvesting - von Misses reduced stress – working case - wrapper of the crumbling chamber view*

W omówionych wariantach obliczeniowych: w czasie przejazdu po polu, w czasie pracy i transporcie po drogach utwardzonych, sprawdzono również amplitudy naprężeń w analizowanych węzłach konstrukcji: dolna część ramy, górny uchwyt TUZ, komora rozdrabniająca (rys. 9). Wyniosły one dla przypadku pracy: 46 MPa w dolnej części ramy (rys. 9, pkt. 3, 2) oraz 44 MPa na górnym uchwycie TUZ. Amplitudy naprężeń zbadano także dla trzech koncentracji naprężeń w osłonie komory rozdrabniania, przed uwzględnieniem dodatkowego mocowania w jej górnej części. Amplituda naprężeń w tych węzłach określona została na 38 MPa – w przedniej części komory rozdrabniania, 26 MPa – w tyle komory, 55 MPa – górnej części komory. Wprowadzenie dodatkowego elementu usztywniającego górną część komory rozdrabniania zredukowało wartość amplitudy naprężeń w węzłach do wartości 21 MPa w części przedniej (rys. 9, pkt. 8), 15 MPa w tylnej (rys. 9, pkt. 9) i 28 MPa w górnej części komory rozdrabniania (rys. 9, pkt. 7). Podczas transportu wartość amplitud naprężeń wyniosła dla górnego punktu TUZ 20 MPa i dla dolnej belki ramy nośnej 15 MPa. Największa amplituda naprężeń wyniosła 46 MPa i wystąpiła w górnej części komory – węzle analizowanym przed uwzględnieniem dodatkowego mocowania.



Rys. 9. Wykres Goodmana-Smith’a dla stali S355J2G3, graficzne przedstawienie wyników dla przypadków obciążeń

*Fig. 9. Goodman-Smith graph for S355J2G3 steel, graphical presentation of effects for cases of loads*

Uwzględniając maksymalne wartości naprężeń uśrednionych oraz naprężeń amplitudowych, w odniesieniu do wartości naprężeń dopuszczalnych według wykresu Goodmana-Smitha dla stali S355J2G3 (rys. 9), stwierdzono, iż w przypadku wysokiej punktowej koncentracji naprężeń w czasie pracy (rys. 9, pkt. 3), odpowiednia zmiana kształtu elementów ramy dolnej pozwala zredukować naprężenia występujące w badanym elemencie do poziomu spełniającego kryteria wytrzymałościowe (rys. 9, pkt. 2).

W pozostałych przypadkach w badanej konstrukcji nie występują przekroczenia wartości dopuszczalnych dla wybranego materiału.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy obciążeń ramy nośnej maszyny do jednoetapowego zbioru wierzby stwierdza się, co następuje:

1. W przyjętych wariantach obliczeniowych naprężenia wartość uzależniona jest od charakteru konkretnego przypadku użytkowania.
2. Największe naprężenia konstrukcji w maszynie do jednoetapowego zbioru wierzby krzewiastej, dla przypadku transportu, występują w dolnej części ramy nośnej i osiągają wartość 100 MPa.
3. Największe naprężenia dla przypadku pracy występują w górnym uchwycie TUZ i osiągają wartość 174 MPa.
4. Największe naprężenia dla przypadku przejazdu po powierzchni pola występują w dolnej części ramy nośnej i osiągają wartość 120 MPa.
5. Na etapie budowy prototypu powinno się wprowadzić zmiany konstrukcyjne w kształcie dolnej części ramy nośnej oraz dodać mocowanie w górnej części osłony komory rozdrabniania.
6. Koncentracje naprężeń zlokalizowane w analizowanych węzłach konstrukcji (dolna część ramy, górny uchwyt TUZ, komora rozdrabniająca) nie przekraczają wartości dopuszczalnych dla wybranego materiału.
7. Miejsca o największej koncentracji naprężeń w maszynie do jednoetapowego zbioru wierzby krzewiastej, posłużą jako punkty pomiarowe podczas badań tensometrycznych prototypu.

## 6. Literatura

- [1] Zienkiewicz O.C., Taylor R. L.: The Finite Element Method. Vol. 2 Solid Mechanics, V edition, Butterworth-Heinemann 2000.
- [2] Zbytek Z., Łowiński Ł., Spychała W. i in.: Wielowariantowa analiza wytrzymałości konstrukcji maszyn do zbioru jedno i dwufazowego. Praca nie publikowana, PIMR, Poznań 2008.
- [3] Zbytek Z., Łowiński Ł., Spychała W., Wąchalowski G. i in.: Wygenerowanie modelu maszyn do zbioru jedno oraz dwufazowego i przeprowadzenie badań symulacyjnych w zakresie kinematyki i dynamiki. Praca nie publikowana, PIMR, Poznań 2008.