

## SIMULATION OF LOADS OF MULTI-ROLE AGGREGATE FOR PLOUGHLESS SOIL TILLAGE

*S u m m a r y*

*In the paper presented are practical possibilities of FEM system when used for obtaining the exact and reliable assessment of stresses and strains of the structure of aggregate for ploughless soil tillage. Presented are also results in the form of a map showing stresses and strains of the aggregate structure and suggested are changes in its design in order to lower the level of the stresses in places where they are too high.*

## SYMULACJA OBCIĄŻEŃ WIELOZADANIOWEGO AGREGATU DO BEZORKOWEJ UPRAWY GLEBY

*S t r e s z c z e n i e*

*W artykule zaprezentowano praktyczne możliwości wykorzystania systemu MES w uzyskaniu dokładnej i wiarygodnej oceny stanu naprężeń i odkształceń konstrukcji agregatu do bezorkowej uprawy gleby. Przedstawiono wyniki w postaci map naprężeń oraz przemieszczeń konstrukcji oraz zaproponowano zmiany konstrukcyjne mające na celu obniżenie poziomu naprężeń w miejscach gdzie ich poziom jest zbyt wysoki.*

### Wprowadzenie

Nowoczesne metody projektowania maszyn i urządzeń, obejmujące optymalne kształtowanie i dobór materiałów przy zapewnieniu właściwej funkcjonalności posługują się w znacznym stopniu technikami komputerowymi.

Dzięki rozwojowi metod modelowania konstrukcji i specjalistycznego oprogramowania komputerowego, a w szczególności systemów analizy komputerowej metodą elementów skończonych (MES), analizę naprężeń i odkształceń konstrukcji maszyn można wykonywać już na etapie przygotowywania założeń konstrukcyjnych. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu dysponuje nowoczesną aparaturą badawczą, w tym komputerowymi stacjami graficznymi wyposażonymi w oprogramowanie do prowadzenia, między innymi, symulacji obciążeń maszyn rolniczych, poddanych obciążeniom występujących podczas ich pracy.

W prezentowanej pracy przedstawiono przebieg i wyniki analiz wytrzymałościowych badanego modelu konstrukcji agregatu do bezorkowej uprawy gleby, podczas symulowanego obciążenia modelu siłami pochodzącymi od obciążeń roboczych części składowych agregatu. Następnie zaproponowano przekonstruowanie niektórych węzłów konstrukcji, w celu obniżenia poziomu naprężeń.

### Opis konstrukcji agregatu dla potrzeb opracowania modelu obliczeniowego

Agregat uprawowy zbudowany jest z czterech zespołów roboczych: głębosza, kultywatora, niwelatora i wału (rys. 1). Wszystkie zespoły zamocowane są na wspólnej ramie nośnej. Na dwóch poprzecznych belkach ramy znajdują się uchwyty zębów głębosza i kultywatora, a na belkach wzdłużnych tylnych - uchwyty niwelatora i wału.

Zasadniczym zespołem roboczym jest głębosz. Elementami roboczymi zębów głębosza są redlice mocowane w

dolnej części trzonów i podcinacze mocowane w górnej części.

Drugim zespołem roboczym jest kultywator, którego zęby ustawione są w jednym rzędzie i przesunięte o pół podziałki względem poprzedzających je zębów głębosza. Elementami roboczymi zębów kultywatora są obracalne redlice i dodatkowe boczne lemieszce, poszerzające szerokość podcięcia gleby.

Trzecim zespołem roboczym jest niwelator zamocowany w uchwytych za pomocą sworzni. Elementami roboczymi niwelatora są sprężynowe zgrzebla (prawe i lewe) zamocowane na belce za pomocą jarzm.

Ostatnim zespołem roboczym jest wał, którego rama zamocowana jest w uchwytych za pomocą sworzni i śrub dociskowych.

Na ramie agregatu, w tylnej części pomiędzy zębami spalchniającymi glebę, a zespołami doprawiającymi jej powierzchnię, może być nabudowany siewnik umożliwiający jednoczesny wysiew poplonu.

### Model wirtualny w programie I-DEAS

Model geometryczny agregatu został opracowany w systemie komputerowym I-DEAS, który został wykorzystany jako solver analizy wytrzymałościowej badanej konstrukcji (rys. 2). Pominięto te elementy konstrukcyjne, które nie wywierały istotnego wpływu na wyniki z przeprowadzonych symulacji. W modelu obliczeniowym dla systemu I-DEAS nie uwzględniono bezpośrednio wału i siewnika poplonowego, podzespoły te odwzorowano pośrednio za pomocą odpowiednich sił przyłożonych w miejscu ich oddziaływania.

### Opis modelu dyskretnego

Dyskretyzację konstrukcji i opis topologiczny modelu wykonano z wykorzystaniem systemu MES.

W tym celu przeprowadzono podział geometryczny na węzły i elementy skończone (system dokonuje tego półautomatycznie) oraz aproksymowano wielkości fizyczne w każdym elemencie za pomocą funkcji aproksymujących (wielomianów) przez wielkości węzłowe. Przyjęto przemierzaniowy opis MES. Do dyskretyzacji zastosowano element płytowo-powłokowy, którego podstawowe parametry zamieszczono na rys. 3.

W modelu zastosowano cztero i trójwęzłowe izoparametryczne elementy skończone płytowo-powłokowe o sześciu stopniach swobody w każdym węźle.

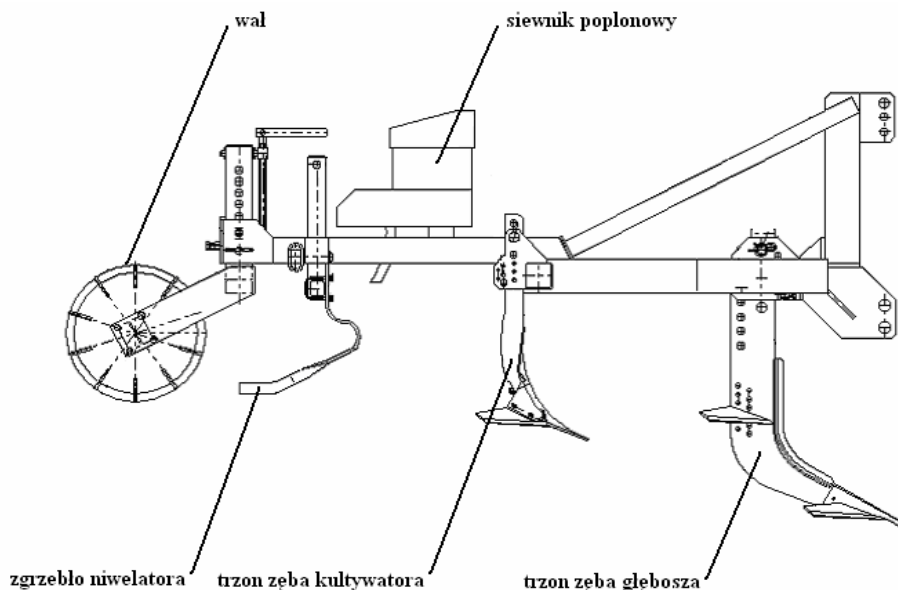
Te elementy skończone uwzględniają siły membranowe (w płaszczyźnie elementu) oraz siły wewnętrzne stanu

zgięciowego (w płaszczyznach prostopadłych do powierzchni środkowej). Spośród sześciu stopni swobody w każdym węźle, wyróżnia się trzy translacje:  $u$ ,  $v$ ,  $w$  i trzy rotacje  $Q_x$ ,  $Q_y$ ,  $Q_z$ , opisywane w globalnym układzie współrzędnych kartezjańskich  $x$ ,  $y$ ,  $z$  modelu obliczeniowego.

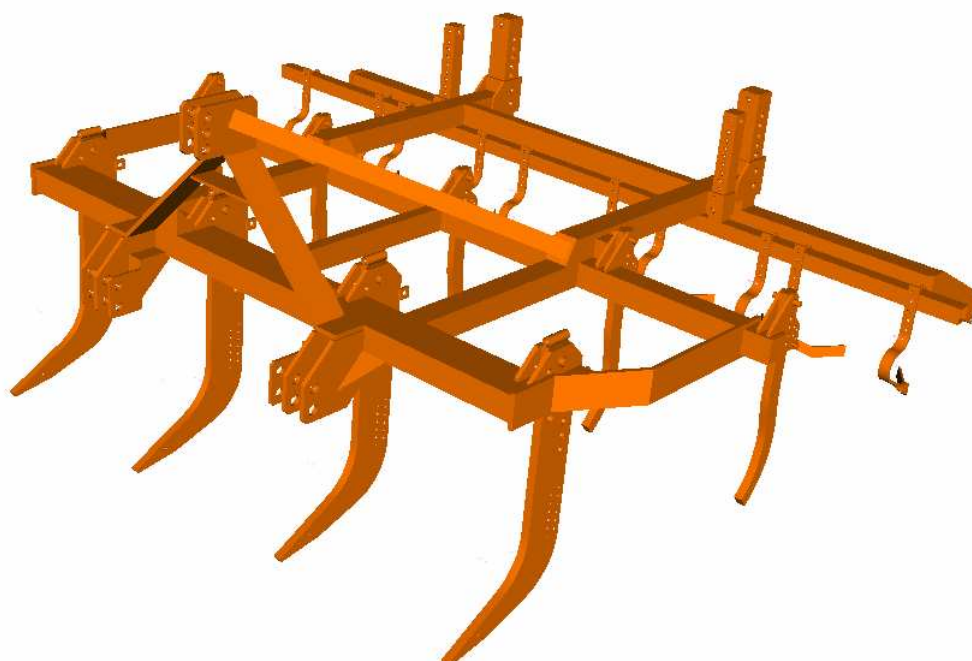
Zachowanie się modelu obliczeniowego konstrukcji agregatu opisane jest zależnością (1):

$$[K]\{u\}=\{R\} \quad (1)$$

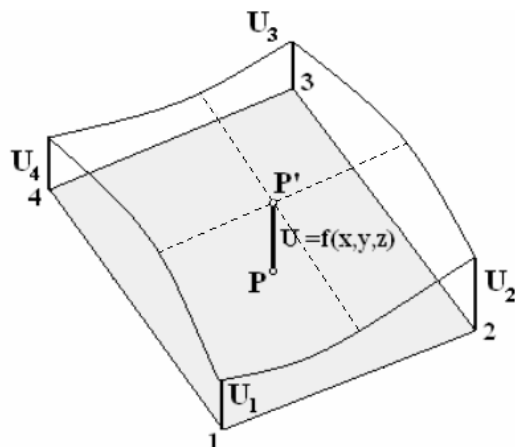
gdzie:  $[K]$  – macierz sztywności konstrukcji,  
 $\{u\}$  – wektor przemieszczeń,  
 $\{R\}$  – wektor obciążeń.



Rys. 1. Agregat uprawowy z wykazem poszczególnych zespołów roboczych  
 Fig. 1. Tilling aggregate with shown and described its working units



Rys. 2. Wirtualny model agregatu uprawowego opracowany w programie I-DEAS  
 Fig. 2. Virtual model of the aggregate elaborated in the I-DEAS program



Rys. 3. Aproxymacja przemieszczenia wewnątrz elementu czterowęzłowego  
Fig. 3. Approximation of displacement inside of four-node element

Przemieszczenie wewnątrz elementu aproksymuje się za pomocą wielkości węzłowych  $\{U_e\}$  i funkcji kształtu  $[N_e]$ :

$$\{U\} = [N_e] \{U_e\}, \quad (2)$$

gdzie:

$\{U\}$  – przemieszczenie dowolnego punktu wewnątrz elementu,

$[N_e]$  – funkcje kształtu,

$\{U_e\}$  – przemieszczenie węzłów.

Dla spełnienia warunku równowagi wykorzystane są zależności, w myśl których energia potencjalna odkształcenia całego układu  $E_p$  jest sumą wariacji energii odkształcenia od sił wewnętrznych  $E_e$  oraz wariacji sił zewnętrznych  $W$ .

$$E_p = E_e + W = \int_V [d\{\varepsilon\}^T \{\sigma\}] dV + \left\{ d[\{U_e\}^T \{R\}] + \int_V d[\{u\}^T \{p\}] dV + \int_S d[\{u\}^T \{q\}] ds \right\}, \quad (3)$$

Tutaj  $\{q\}$  i  $\{\sigma\}$  oznaczają wektory s odkształcenia i naprężenia,  $\{R\}$  - wektor sił węzłowych,  $\{p\}$  - obciążenia od sił masowych,  $\{q\}$  - obciążenia ciągłe powierzchniowe. Odkształcenia w elemencie określone są ze związków geometrycznych na podstawie przemieszczeń, a naprężenia są związane z odkształceniami związkami fizycznymi.

Na podstawie powyższych zasad wariacyjnych wyznaczane są macierze sztywności elementów, które w procesie agregacji łączone są w globalną macierz sztywności  $[K]$  całej struktury. Rozwiązanie liniowego układu równań al-

gebraicznych umożliwia wyznaczenie pola przemieszczeń we wszystkich węzłach.

### Opracowanie i implementacja obciążeń w modelu obliczeniowym

W modelu obliczeniowym zostały odwzorowane obciążenia, które działają w rzeczywistej konstrukcji agregatu i pochodzą od:

1. masy elementów zamodelowanych (MZ)
2. masy zespołów i elementów niezamodelowanych (MN)
3. oporów roboczych poszczególnych części agregatu.

Obciążenia pochodzące od elementów zamodelowanych są automatycznie generowane przez system na podstawie ich objętości i założonego ciężaru właściwego materiału. Przybliżona masa konstrukcji agregatu obliczona przez system wynosi około 510 kg.

W tab. 1 zamieszczono wartości poszczególnych obciążeń oraz ich pochodzenie.

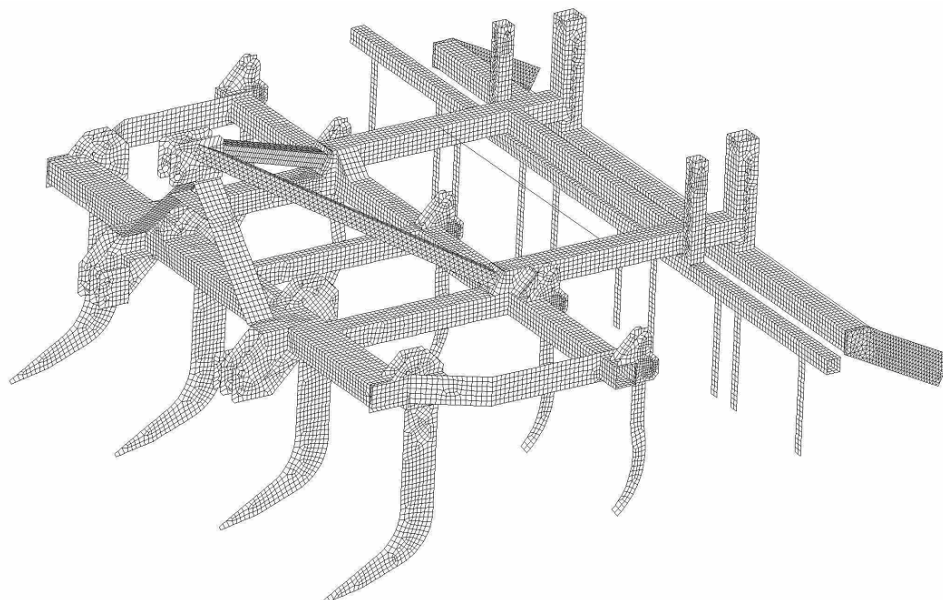
### Wyniki analizy wytrzymałościowej i wnioski

Zgodnie ze sposobem zamocowania agregatu na ciągniku w modelu obliczeniowym przyjęto, że węzły w otworach uchwytów mocujących mają zablokowane przemieszczeniowe stopnie swobody

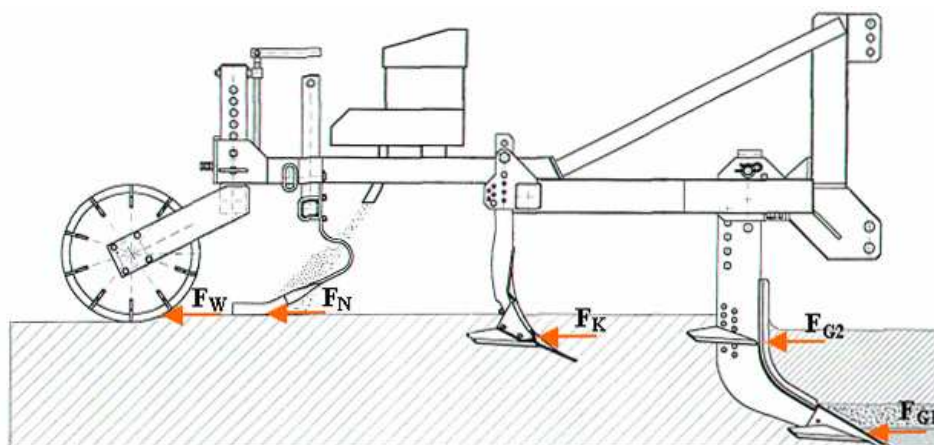
Opracowany model obliczeniowy ramy agregatu uprawowego wraz z założonymi obciążeniami i warunkami brzegowymi opisanymi powyżej poddano analizie wytrzymałościowej przy zastosowaniu systemu MES. Analizę wyników obliczeń wykonanych przy użyciu postprocesora graficznego przedstawiono na rys. 7-9.

Tabela 1. Wartości obciążeń działających na konstrukcję agregatu uprawowego  
Table 1. Values of loads acting on the structure of the aggregate

Pochodzenie obciążenia	Masa elementów zamodelowanych MZ	Masa elementów niezamodelowanych MN		Obciążenia pochodzące od oporów roboczych				
		Masa wału $G_w$	Masa siewnika $G_s$	głębosza $F_G$		kultywatora $F_K$	niwelatora $F_N$	wału $F_N$
				Redlicy dolnej $F_{G1}$	Redlicy górnej $F_{G2}$			
Wartość [N]	5000	2380	2000	5000	1000	2000	100	3000



Rys. 4. Zdyskretyzowany model obliczeniowy elementami skończonymi typu SHELL  
 Fig. 4. Calculation model discretized with finite elements of the SHELL type



Rys. 5. Schemat obciążenia konstrukcji ramy agregatu siłami pochodzącymi od oporów poszczególnych części roboczych podczas eksploatacji  
 Fig. 5. Scheme of loading of the aggregate frame by the forces from resistances of working elements during work

Wyniki przedstawiono również w tabelach, gdzie w każdej z nich zamieszczono rysunek całości konstrukcji ze zlokalizowaniem miejsca, które następnie poddano przekonstruowaniu - celem zmniejszenia poziomu naprężeń. Przedstawiono również mapę naprężeń przed i po przekonstruowaniu.

Przedstawiono na rysunkach i w tabelach wartości to naprężenia zredukowane  $\sigma_{red}$ , w węzłach elementów siatki MES, obliczane zgodnie z hipotezą energetyczną Hubera:

$$\delta_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (4)$$

dla dowolnego płaskiego stanu naprężeń, na górnej i dolnej powierzchni każdego elementu płytowo powłokowego przy czym składowe tensora naprężenia w każdej warstwie wynikają z superpozycji stanu membranowego stanu membranowego i zgięciowego według, zależności:

$$\sigma_x = \frac{N_x}{t} - \frac{M_x}{I_1} z, \quad \sigma_y = \frac{N_y}{t} - \frac{M_y}{I_1} z, \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{N_{xy}}{t} - \frac{M_{xy}}{I_z} z,$$

$$I_1 = \frac{t^3}{12}, \quad -\frac{t}{2} \leq z \leq +\frac{t}{2},$$

gdzie:  $t$  – grubość elementu płytowo – powłokowego,  $M_x$ ,  $M_y$  – momenty gnące,  $M_{xy}$  – moment skręcający,  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_{xy}$  – siły normalne stanu membranowego.

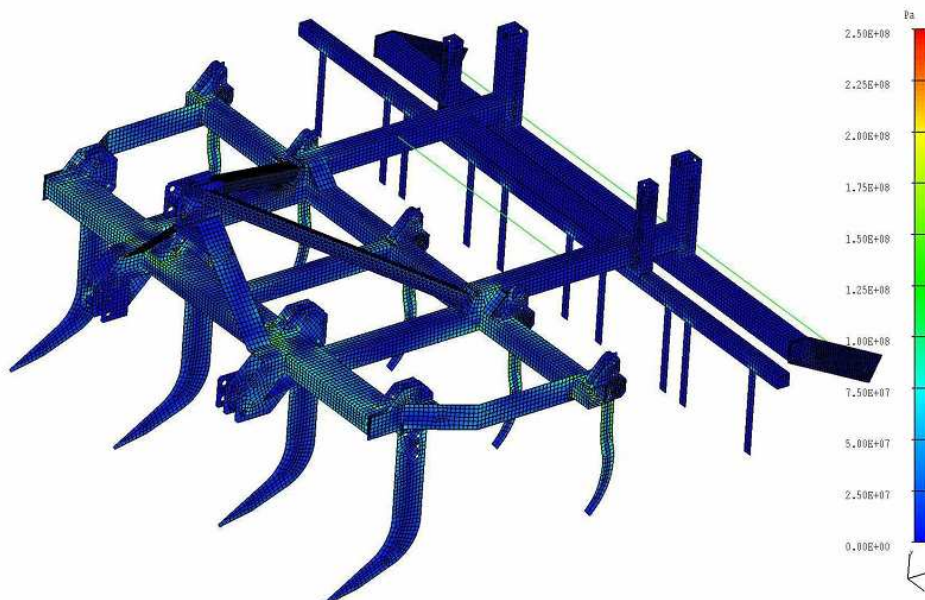
Jak stwierdzono na podstawie obliczeń, maksymalne naprężenia zredukowane w konstrukcji nośnej osiągnęły wartość ok. 280 MPa. Zlokalizowano je w miejscu styku żeber z uchwytami zębów głębosza umiejscowionych na przedniej



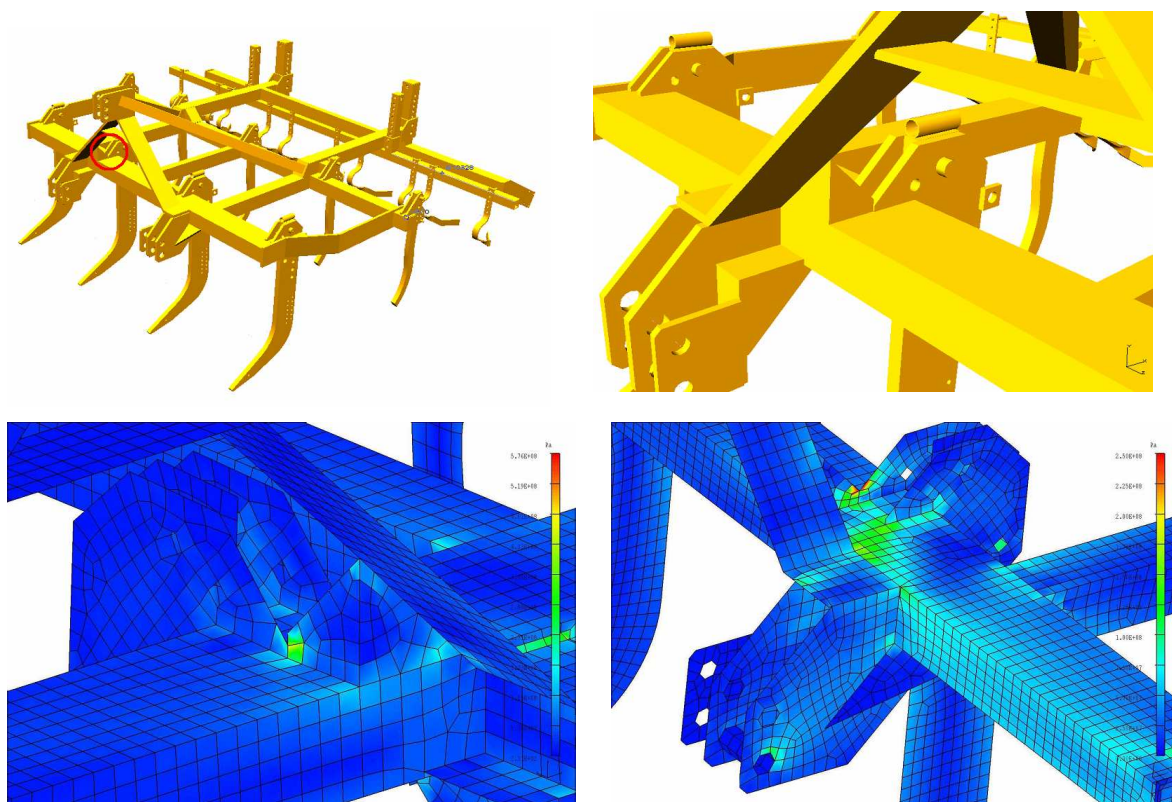
poprzecznej belce ramy. W miejscu tym dokonano zmiany konstrukcyjnej polegającej na przedłużeniu krawędzi uchwytu zęba głębsza do krawędzi żebra, z którym ten uchwyt się styka. Zmiana ta spowodowała zmniejszenie poziomu naprężeń z 220 MPa do 140 MPa. Obrazy tych naprężeń przed i po przekonstruowaniu przedstawiono na rys. 6 i 7.

Wysoki poziom naprężeń zredukowanych wystąpił również na spodzie przedniej belki poprzecznej w miejscu, gdzie do ucha zawieszenia dolnego dużego od tyłu przymo-

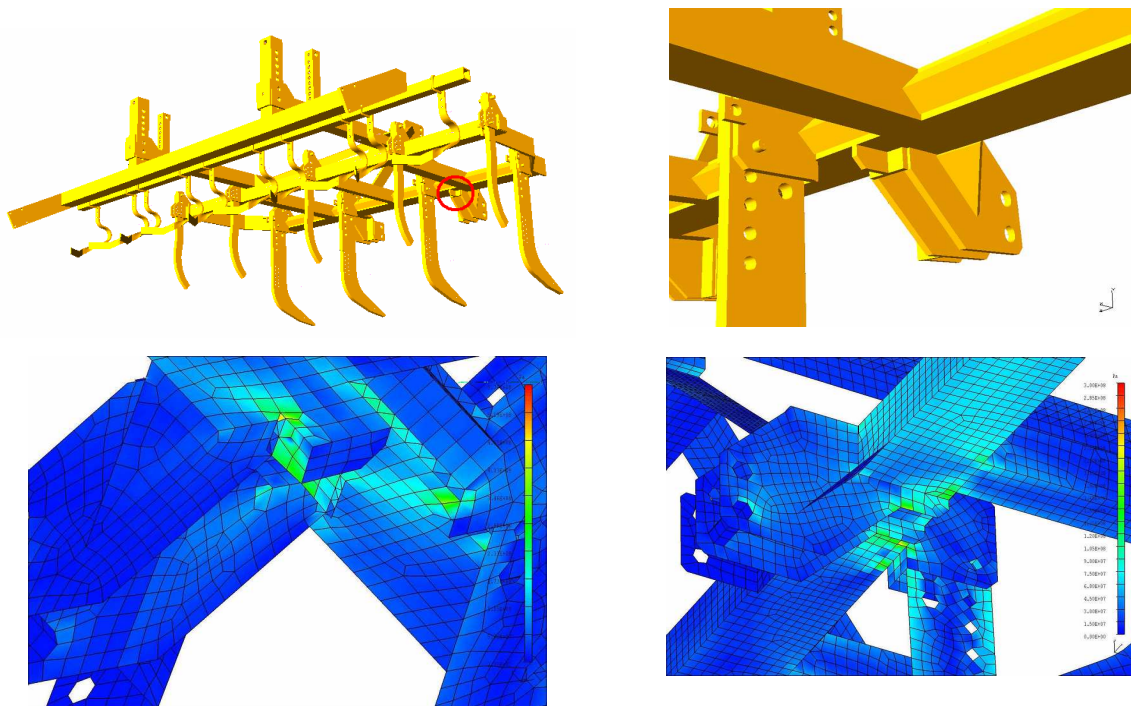
cowana jest płytka łączona z dwoma uchami. W związku z tym zaproponowano przekonstruowanie tego węzła w celu obniżenia poziomu naprężeń. Żebro połączone z płytką zostało zastąpione dwoma takimi samymi żebrami umiejscowionymi na skrajach ucha, a płytka została usunięta. Zmiana konstrukcyjna spowodowała zmniejszenie poziomu naprężeń ze 180 MPa do 120 MPa. Obrazy tych naprężeń przed i po przekonstruowaniu przedstawiono na powyższym rys. 8.



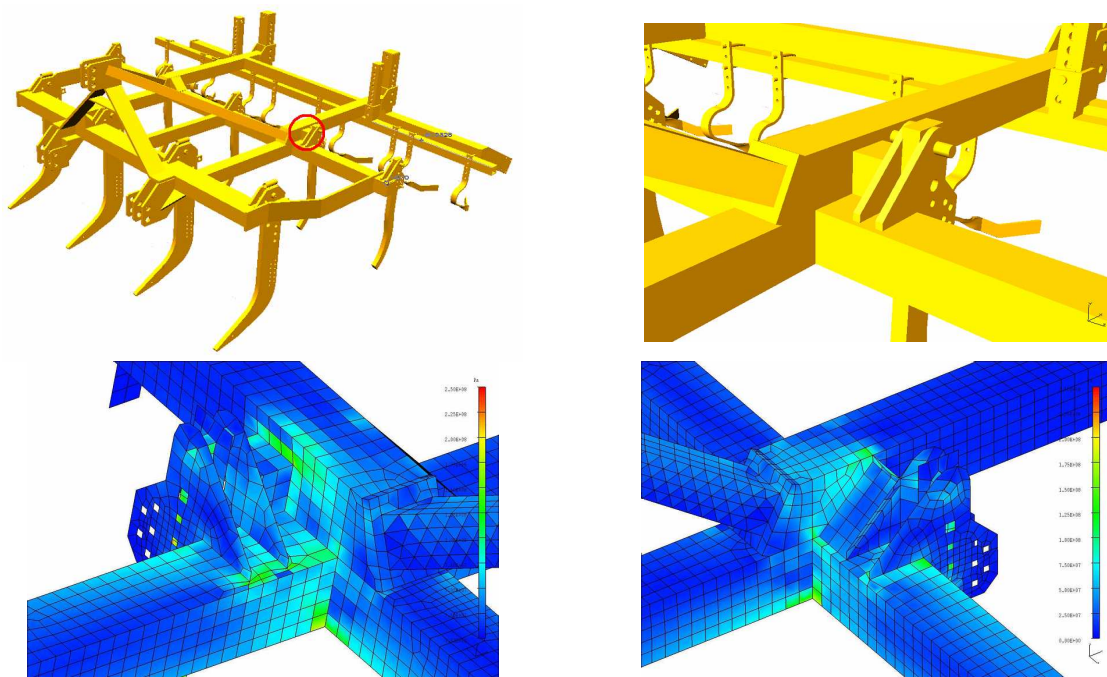
Rys. 6. Wizualizacja naprężeń zredukowanych dla całej konstrukcji agregatu uprawowego  
 Fig. 6. Visualisation of reduced stresses for the whole structure of the aggregate



Rys. 7. Pierwsze miejsce konstrukcji, w którym dokonano zmian konstrukcyjnych  
 Fig. 7. The first place in the structure where the design was changed



Rys. 8 Drugie miejsce konstrukcji, w którym dokonano zmian konstrukcyjnych  
 Fig. 8. The second place in the structure where the design was changed



Rys. 9. Trzecie miejsce konstrukcji, w którym dokonano zmian konstrukcyjnych  
 Fig. 9. The third place in the structure where the design was changed

Ostatnim miejscem gdzie dokonane zostały zmiany konstrukcyjne z uwagi na niekorzystny rozkład naprężeń była belka poprzeczna środkowa, do której przymocowane są uchwyty zębów kultywatora. Kątownik, który znajdował się między belką wzdłużną tylną a uchwytem zęba kultywatora został zamieniony na dwie blachy o grubościach 8 mm o tych samych szerokościach co kątownik. Zmiana konstrukcyjna spowodowała zmniejszenie poziomu naprężeń zredukowanych ze 150 MPa do 100 MPa. Obrazy tych naprężeń przed i po przekonstruowaniu przedstawiono na powyższym rys. 9.

#### Literatura

- [1] Szczepaniak J., Pawłowski T., Grzechowiak R., Mac J., Zielnica M.: Wielozadaniowy agregat do bezorkowej uprawy gleby i jednoczesnego siewu poplonu. Zad 2. Opracowanie modelu obliczeniowego i przeprowadzenie wielovariantowej analizy wytrzymałości, PIMR, Poznań 2004.
- [2] I-deas FEM System, Instruction Manuals, SDRC 2003.
- [3] Oden J.T., Mechanics of Elastic Structures, MacGraw Hill 1967.
- [4] Niku – Lari A. (editor), Structural Analysis Systems, Pergamon Press, Oxford 1985.