

MODELLING AND THE COMPUTER STRENGTH ANALYSIS OF THE VEGETABLE HARVESTER

Summary

The calculation model of a vegetable harvester's carrying construction has been presented in the paper as well as the selected fragments of the structural strength analysis. Performed computer calculations allowed verification of the initial constructional assumptions. The material effort has been identified under the operation condition with the detailed analysis of constructional nodes (welding points, connection points etc.) Multivariate FEM analysis allowed determining the proper experimental research program for the carrying construction of the vegetable harvester.

MODELOWANIE ORAZ KOMPUTEROWA ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA KOMBAJNU DO ZBIORU WARZYW

Streszczenie

W artykule przedstawiono model obliczeniowy konstrukcji nośnej kombajnu do zbioru warzyw oraz zamieszczono wybrane fragmenty analizy wytrzymałościowej konstrukcji. 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). Wielowariantowa analiza MES pozwoliła na opracowanie właściwego programu badań eksperymentalnych opracowywanej konstrukcji nośnej kombajnu.

1. Wstęp

Najbardziej wiarygodną metodą analizy i oceny konstrukcji układu nośnego maszyn rolniczych są badania eksploatacyjne (poligonowe w ich rzeczywistych warunkach pracy). Zasadniczymi negatywnymi cechami takich badań są: czas trwania wynikający z cyklu agrotechnicznego oraz wysokie koszty. Również badania stanowiskowe stanowiące alternatywę badań poligonowych, pomimo bardzo wielu zalet, obarczone są niekorzystnymi cechami. Przeprowadzenie badań wymaga zastosowania kosztownego stanowiska, przygotowania programu badań, który w odpowiednim stopniu odwzoruje rzeczywiste warunki pracy. Zastosowanie metod eksperymentalnych jest możliwe dopiero po zbudowaniu prototypu urządzenia.

Wymienione powyżej krytyczne uwagi na temat czasu i kosztów badań doświadczalnych w procesie projektowania sugerują zastosowanie do tego celu innych metod, bazujących w głównej mierze na współczesnych osiągnięciach techniki komputerowej. W tym zakresie szybką, tanią i efektywną analizę wytrzymałościową, dynamiczną i statecznościową projektowanych konstrukcji zapewniają systemy komputerowe oparte na metodzie elementów skończonych (MES) [1].

Wykorzystanie systemu komputerowego do analiz inżynierskich przedstawiono na przykładzie konstrukcji nośnej kombajnu do zbioru warzyw (rys. 1).

2. Model obliczeniowy kombajnu do zbioru warzyw

Konstrukcje nośne maszyn rolniczych są najczęściej przestrzennymi układami spawanymi lub łączonymi za pomocą połączeń śrubowych, zbudowanymi z profili hutniczych zamkniętych i otwartych. Budowa modeli oblicze-

niowych przy takiej (przestrzennej) postaci geometrycznej sprawia wiele problemów, w szczególności gdy wymaga to stosowania różnorodnych elementów skończonych.

Podczas opracowywania modelu obliczeniowego kombajnu główny nacisk położono na dokładność analizy, ze szczególnym uwzględnieniem dokładności odwzorowania geometrii konstrukcji, jak również charakteru i wartości obciążeń. Odpowiednio gęsty podział na elementy skończone powinien możliwie wiernie odtwarzać rzeczywiste kształty rozpatrywanego obiektu [2].

Model obliczeniowy opracowano wykorzystując system komputerowy I-DEAS NX5. Na bazie modelu geometrycznego konstrukcji nośnej opracowano model dyskretny. Do jego budowy zastosowano elementy powierzchniowe (płytowo-powłokowe) trójkątne i czworokątne. Zespoły robocze oraz inne elementy konstrukcyjne niestanowiące konstrukcji nośnej zamodelowano elementami belkowymi. Elementy te pozwoliły na wprowadzenie obciążeń w postaci sił oraz elementów masowych obciążeń, pochodzących od niezamodelowanych ruchomych zespołów roboczych kombajnu [3].

3. Opracowanie warunków brzegowych modelu

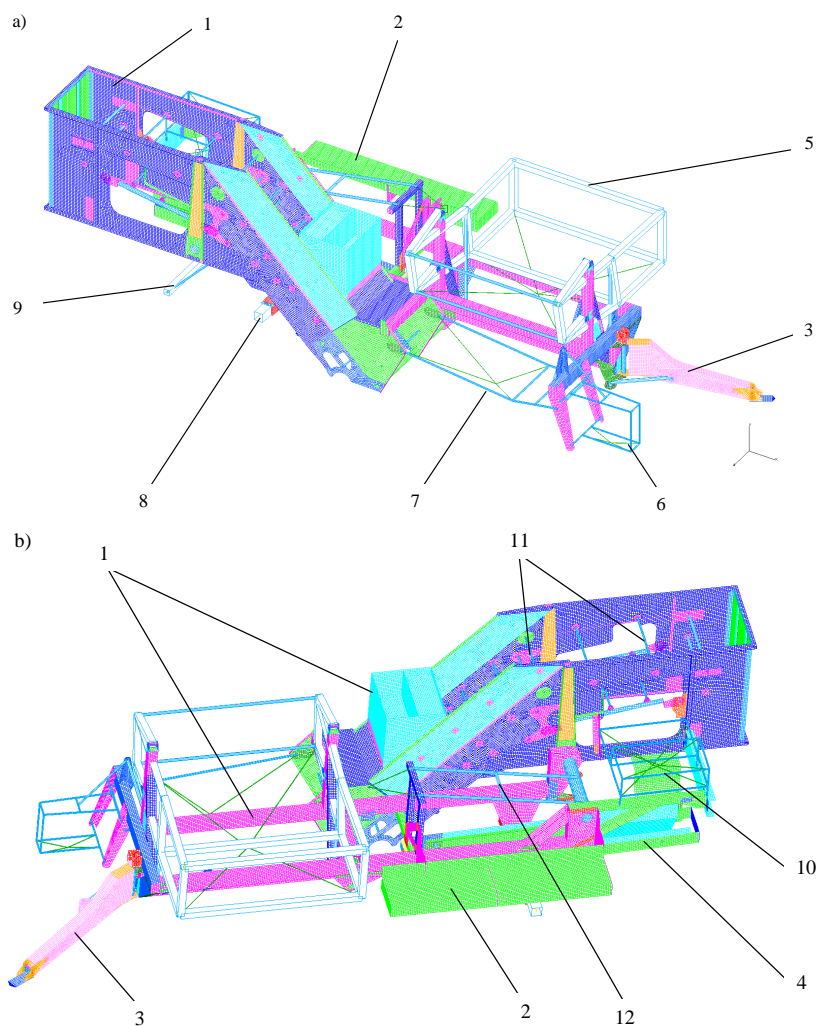
Z uwagi na charakter użytkowania kombajnu przyjęto wielowariantowe obciążenia, w których uwzględniono:

- obciążenia pochodzące od elementów zamodelowanych i przyjętych do obliczeń. Obciążenia te system generuje automatycznie na podstawie objętości zamodelowanych elementów i założonej gęstości materiału,
- obciążenia pochodzące od zespołów roboczych i elementów niezamodelowanych w sposób dokładny, mających wpływ na odkształcenia i naprężenia konstrukcji maszyny.

Wyznaczenie obciążeń związanych z zespołami roboczymi przeprowadzone zostało na podstawie szczegółowych opisów

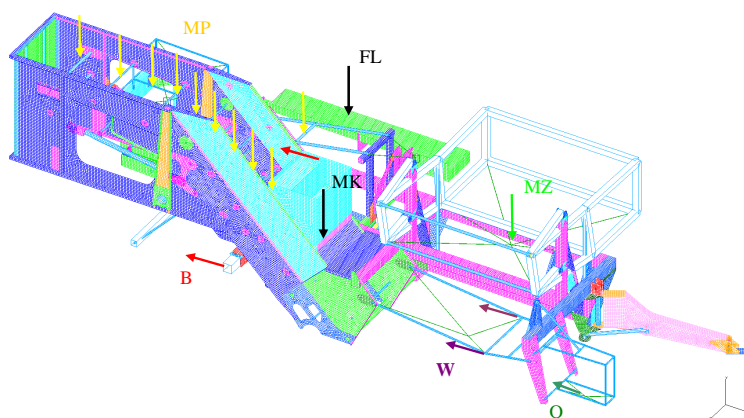
zależności przepływu masy ziemi oraz warzyw i innych czynników mających wpływ na obciążenia konstrukcji. Na bazie analizy pracy poszczególnych przenośników, określono suma-

ryczne obciążenie działające na ramę kombajnu. Schematyczny rozkład obciążeń zewnętrznych, zaimplementowanych do modelu zamieszczono na rys. 2.



Rys. 1. Model obliczeniowy kombajnu: a) widok z prawej strony, b) widok z lewej strony; 1- rama nośna, 2- podest, 3- dyszel, 4- zbiornik na kamienie, 5- zbiornik, 6- ogławiacz, 7- wyorywacz, 8- układ jezdy, 9- ścinacz, 10- przenośnik poprzeczny i rolki zgarniające, 11- rolki przenośników, 12- przenośnik selekcyjny

Fig. 1. Calculation model of the vegetable harvester's carrying construction: a) right side view, b) left side view; 1- carrying frame, 2- platform, 3- tow bar, 4- stone container, 5- container, 6- root-topper, 7- beet digger, 8- driving system, 9- chipping unit, 10- transverse conveyor and rake rolls, 11- conveyor rolls, 12- selective conveyor

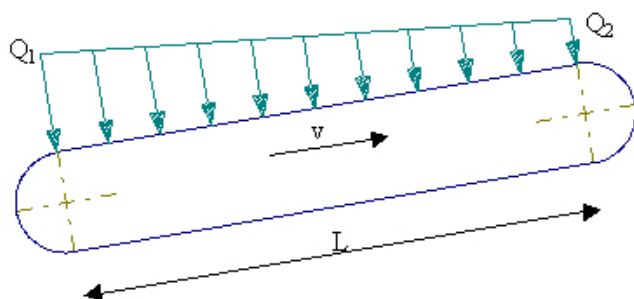


Rys. 2. Schemat obciążenia konstrukcji nośnej kombajnu: W – siła pozioma na wyorywaczu, O – siła pozioma na ogławiaczu, B – siła na kołach w czasie wyciągania z brzozy na każde koło, MP – obciążenie przenośników, MK – masa kamieni, FL – obciążenie podestu

Fig. 2. Loading scheme of the vegetable harvester's carrying construction: W – horizontal force on the beet digger, O – horizontal force on the root topper, B – force on the wheels during pulling from the furrow on each wheel, MP – loading of the conveyors, MK – stone mass, MZ – container mass including cargo, FL – platform loading

Obciążenia pochodzące od elementów nie stanowiących konstrukcji nośnej kombajnu zostały uwzględnione w modelu obliczeniowym w postaci mas skupionych lub sił zewnętrznych. Do nich należą: rozkładany zbiornik warzyw, wyorywacz, ogławiacz, oddzielnik łęcin, przenośnik I, przenośnik II, przenośnik poprzeczny, przenośnik palcowy, stół selekcyjny, sortownik, kamienie, ścinacz, zbiornik oleju.

Obciążenia pochodzące od masy ładunku (gleby z warzywami) przemieszczającego się na przenośnikach zostały uwzględnione w masie przenośników (MP). Obciążenie przenośnika nie jest jednakowe na jego długości, co przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat obciążenia przenośników: L – długość przenośnika [m], V – prędkość przenośnika [m/s], Q_1 – strumień masy początkowej [kg/s], Q_2 – strumień masy końcowej [kg/s]

Fig. 3. Loading scheme of the conveyors: L – conveyor length [m], V – speed [m/s], Q_1 – initial mass flow [kg/s], Q_2 – final mass flow [kg/s],

Rolki przenośników zostały zamodelowane w sposób uproszczony, za pomocą belek spinających dwie przeciwległe rolki przenośnika. Na środku tych belek zamodelowano obciążenie od masy występującej na rolkach przenośnika.

Masy elementów niezamodelowanych MN zostały zamodelowane w postaci mas skupionych, pokazanych

na rys. od 4 do 8 w postaci sześciątów, powiązanych z ramą nośną kombajnu.

4. Przypadki obciążeń konstrukcji

Dla konstrukcji nośnej kombajnu zostały opracowane przypadki obciążenia zestawione w tab. 1.

Każdemu przypadkowi zostały przypisane składowe obciążenia, które szczegółowo omówiono w opracowaniu [4].

Ramę nośną kombajnu utwierdzono w trzech punktach na końcach osi kół jezdnych oraz na dyszlu. Na końcu dyszla pozostawiono swobodne rotacje, odbierając przesunięcia w trzech kierunkach (XYZ). Na końcach osi układu jezdnych odebrano możliwość pionowego przemieszczenia, oraz dodatkowo na jednej podporze układu jezdnych odebrano możliwość przemieszczenia poprzecznego, wszystkie pozostałe stopnie swobody zostały swobodne [4].

5. Wyniki analizy

Z przeprowadzonej analizy dla przyjętych przypadków obciążeń opisanych w punkcie 4. wynika, że najbardziej niekorzystnym obciążeniem dla konstrukcji nośnej maszyny jest przypadek LC6 odpowiadający warunkom pracy maszyny.

Na rys. 4 przedstawiono całociowy rozkład naprężeń zredukowanych ramy nośnej kombajnu dla przypadku LC6. Maksymalne przemieszczenia (rys. 5) wystąpiły na steżu ogławiacza i wyorywacza, gdzie wyniosły 53 mm.

Na rys. 6 pokazane są największe naprężenia, pochodzące od przenośnika wyorywacza, gdy na przenośniku znajduje się masa wyoranej gleby wraz z warzywami. Naprężenia dla tego przypadku nie przekraczają 280 MPa. W przedniej części ramy nośnej i dyszla (rys. 7) naprężenia nie przekraczają 240 MPa. Niebezpiecznym miejscem, w którym naprężenia osiągają 300 MPa jest punkt zbiegania się podłużnicy prawej z belką pionową, do której mocowany jest ścinacz-rozdrabniacz naci (rys. 8).

Tab. 1. Przypadki obciążeń ramy nośnej kombajnu
Table 1. Examples of the carrying frame's loading

Przypadki obciążeń	MZ*	MN*	MK*	FL*	B*	O*	W*	MP*
LC1 – jazda z pełnym zbiornikiem z nadwyżką dynamiczną $k=1.4$	+	+	+					
LC2 – podnoszenie zbiornika – początek	+	+	+	+				
LC3 – podnoszenie zbiornika – maksymalne	+	+	+	+				
LC4 – wyciąganie z bruzdy	+	+	+	+	+			
LC5 – pochylenie do przodu 5%	+	+	+	+				
LC6 – praca	+	+	+	+		+	+	+

* MZ – masa zbiornika z ładunkiem,

* MN – masa elementów niezamodelowanych,

* MK – masa kamieni,

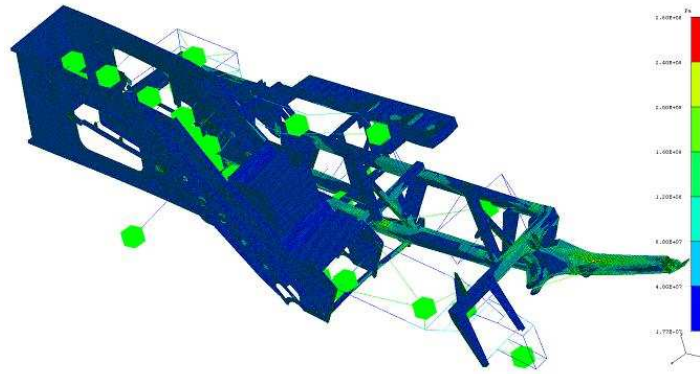
* FL – obciążenie podestu,

* B – siła na kołach w czasie wyciągania z bruzdy na każde koło,

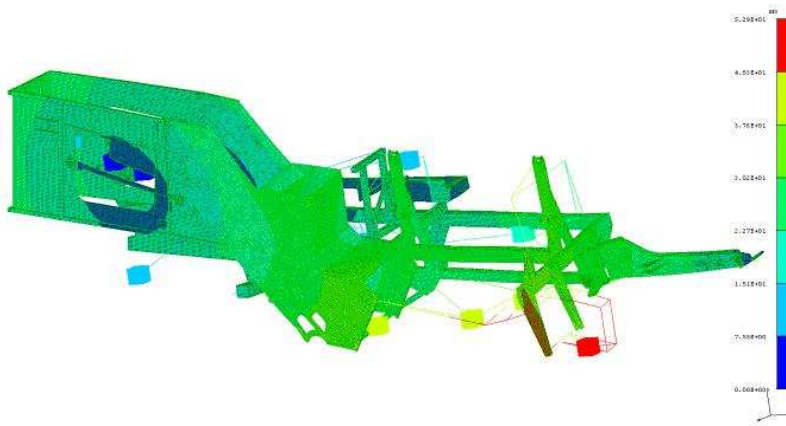
* O – siła pozioma na ogławiaczu,

* W – siła pozioma na wyorywaczu,

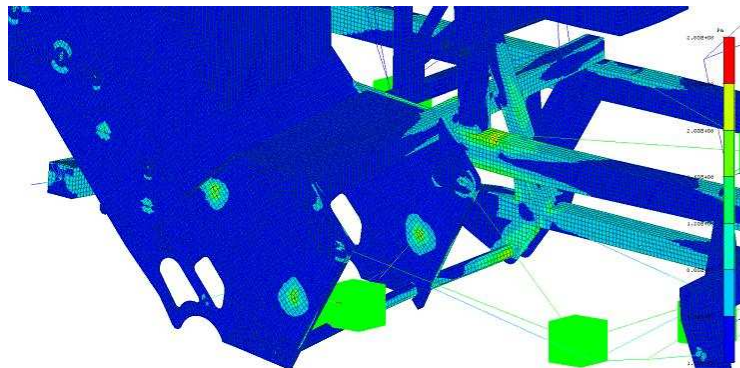
* MP – obciążenie przenośników.



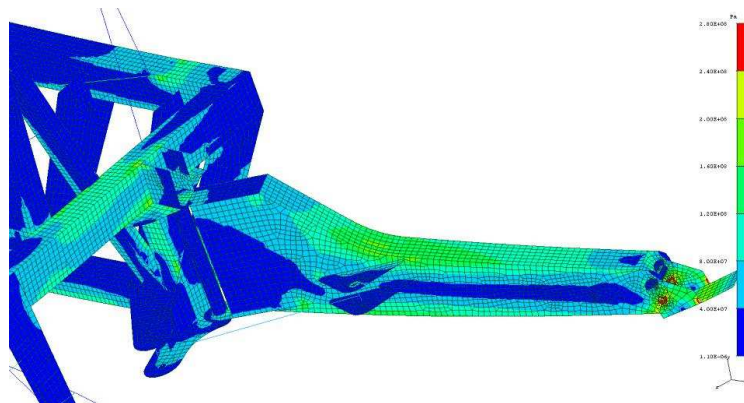
Rys. 4. Naprężenia zredukowane [Pa] – przypadek LC6
 Fig. 4. Reduced stress [Pa] – example LC6



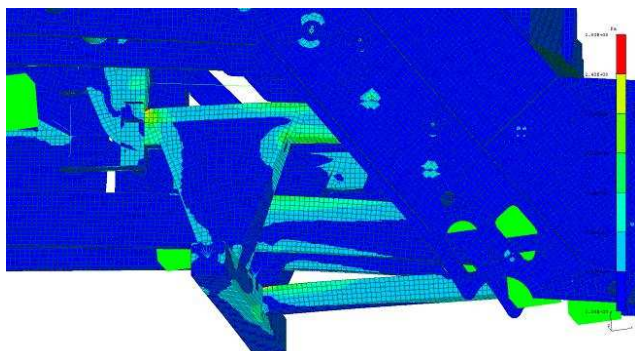
Rys. 5. Przeszczenia konstrukcji [mm] – przypadek LC6
 Fig. 5. Construction displacement [mm] – example LC6



Rys. 6. Naprężenia zredukowane widok na środkową część ramy nośnej od strony wyorywacza [Pa] – przypadek LC6
 Fig. 6. Reduced stress, the view on the middle part of the carrying frame from the beet digger direction [Pa] – example LC6



Rys. 7. Naprężenia zredukowane – widok na dyszel [Pa] – przypadek LC6
 Fig. 7. Reduced stress, view on the tow bar [Pa] – example LC6



Rys. 8. Naprężenia zredukowane – widok na środkową część ramy nośnej [Pa] – przypadek LC6
 Fig. 8. Reduced stress, the view on the middle part of the carrying frame– example LC6

6. Podsumowanie

Komputerowa analiza złożonych konstrukcji mechanicznych pozwala na szeroką i wyczerpującą analizę występujących zjawisk już na wczesnym etapie projektowania konstrukcji. Zaprezentowany w artykule model konstrukcji nośnej kombajnu stanowi ostateczną formę wyników. W procesie projektowania przeprowadzono analizę wielu wariantów rozwiązań poszczególnych elementów i dobór, optymalnych, pod względem wytrzymałościowym, elementów konstrukcyjnych i ponowną ich weryfikację dla różnych wariantów obciążeń konstrukcji. W końcowym etapie analiza MES konstrukcji nośnej kombajnu pozwoliła na identyfikację najbardziej wyťažonych węzłów konstrukcyjnych. Dokładną analizę uzyskanych stanów naprężeń dla pozostałych przypadków obliczeniowych przedstawiono w opracowaniu [4].

Zgodnie z oczekiwaniami, podczas analizy konstrukcji kombajnu szczególną uwagę należało poświęcić miejscom usztywnionym poprzez połączenie kilku kształtowników, które stanowią niewralgiczne miejsca z punktu widzenia wytrzymałości. Takim miejscem w analizowanej konstrukcji jest połączenie przedniej poprzecznicy z zastrzałem słupicy (rys. 7). W tym punkcie wysokie stany naprężeń wy-

stały przy różnych wariantach obciążeń, przyjętych w modelu. Duże spiętrzenia naprężeń we wszystkich przypadkach odnotowano również w przedniej belce pionowej, do której mocowany jest dyszel zaczepowy kombajnu.

Ważnym elementem potwierdzającym prawidłowość przeprowadzonej analizy oraz przyjętych założeń jest weryfikacja eksperymentalna konstrukcji. Uzyskane wyniki naprężeń konstrukcji w różnych wariantach obciążenia stanowią podstawę do planowania oraz przygotowania programu badań systemu empirycznego.

7. Literatura

- [1] Zienkiewicz O. C.: Metoda elementów skończonych. Arkady, Warszawa 1972.
- [2] Szczepaniak J., Pawłowski T.: Metoda elementów skończonych w zagadnieniach projektowania maszyn rolniczych. Prace PIMR, 1992, nr 2.
- [3] I-DEAS. Help library bookshelf. Tutorials. Pliki pomocy do systemu I-DEAS.
- [4] Szczepaniak J., Rogacki R., Mac J., Szczepaniak M., Grzechowiak R.: Kombajn do zbioru i czyszczenia warzyw z wymiennymi adapterami roboczymi. Zadanie 6. Dyskretyzacja modeli geometrycznych i obliczenia wytrzymałościowe kombajnu z wymiennymi adapterami. PIMR, Poznań 2008.