

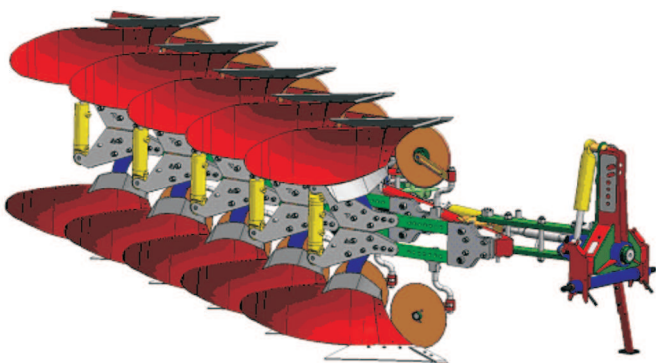
MODELOWANIE I ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA PŁUGA WIELOSKIBOWEGO Z UKŁADEM ZABEZPIEZAJĄCYM W SPOSÓB CIĄGŁY KORPUSY PŁUŻNE PRZED PRZECIĄŻENIEM

Streszczenie

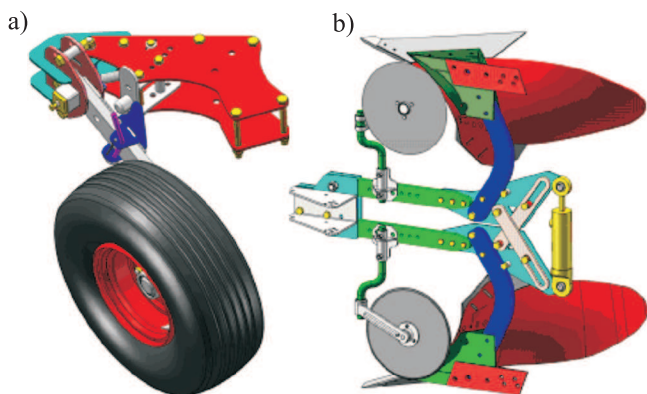
W artykule przedstawiono metodykę tworzenia modelu obliczeniowego pługa wieloskibowego wyposażonego w układ zabezpieczający korpusy płużne przed przeciążeniem w sposób ciągły. Dokonano szczegółowej analizy sił działających na konstrukcję podczas pracy, określając metodą analityczną ich wartości. Opisano zastosowane uproszczenia modelu. Obliczenia wytrzymałościowe przeprowadzono przy użyciu systemu I-DEAS 6NX. Dla różnych wariantów obciążeń wyznaczono stany wytężenia konstrukcji. Ponieważ konstrukcja wykazywała w określonych miejscach niepokojące wartości naprężeń dokonano jej przebudowy. Efektywność przeprowadzonych zmian sprawdzono za pomocą kolejnych analiz MES.

Wstęp

Analizy numeryczne za pomocą metody elementów skończonych to jedno z najnowocześniejszych narzędzi, jakie stosują się w celu przewidywania zachowania konstrukcji maszyn rolniczych. Przedmiotem badań analitycznych wykonywanych metodą elementów skończonych był pług obracalny o pięciu korpusach (rys. 1).



Rys. 1. Wirtualny model pługa pięcioskibowego z zabezpieczeniem korpusów płużnych typu „non-stop”
Fig. 1. Virtual model of the five-furrow plough with protection of plough bodies, type: „non-stop”

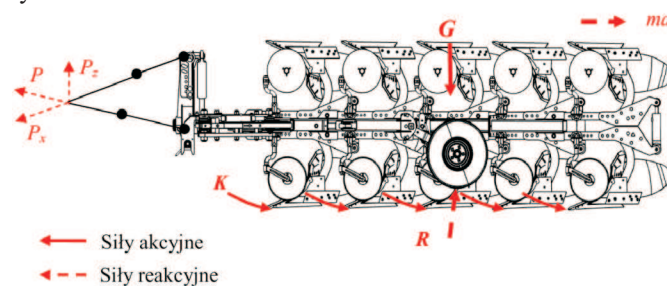


Rys. 2. Widok modeli 3D zespołu regulacji wysokości koła podporowego (a) i układu zabezpieczającego korpusy płużne przed przeciążeniem (b)
Fig. 2. 3D models view of height control unit of the supporting wheel (a) and of the system protecting against overload (b)

Maszyna przeznaczona jest do wykonywania orki szczególnie na glebach silnie zakamienionych, gdyż wyposażona została w nowoczesny układ zabezpieczający korpusy płużne przed przeciążeniem. Układ ten wraz z innowacyjnym zespołem regulacji wysokości koła podporowego (rys. 2 a, b) stanowi rozwiązanie opatentowane przez producenta. Omawiana konstrukcja wyróżnia się spośród innych nietypowym połączeniem przodka pługa z jego ramą za pomocą równoległoboku oraz śruby regulującej szerokość roboczą pierwszej skiby. Jedno z ramion omawianego układu charakteryzuje się użyciem dwóch płaskowników połączonych śrubami, wykonanych ze stali sprężynowej, pomiędzy którymi znajdują się tulejki wzmacniające, gwarantujące całemu układowi wymaganą sztywność.

Wyznaczenie oporów roboczych

Poprawne wyznaczenie obciążeń i ich implementacja w modelu obliczeniowym wpływa bezpośrednio na otrzymanie właściwych wyników. Na podstawie dostępnych publikacji i pozycji literaturowych [2, 3] opracowano schemat sił występujących podczas eksploatacji pługa, które przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat sił działających na pług obracalny podczas pracy [2]
Fig. 3. Scheme of the forces affecting the reversible plough during the work [2]

W trakcie pracy na konstrukcję pługa działają siły akcyjne i reakcyjne [3]. Siły reakcyjne to: siła pociągowa P , siła bezwładności ma powstająca w wyniku zmiennych oporów gleby i przyspieszeń ruchu pługa oraz siła R wzbudzona w wyniku oddziaływania koła podporowego na glebę. Do sił akcyjnych zaliczamy ciężar pługa G i opory gleby K . Opory krojów zaliczone się do oporów korpusów. Korzystając z utworzonego

schematu obciążeń (rys. 3) stwierdzono, że do opracowania modelu obliczeniowego, który będzie wykorzystywany w analizach numerycznych metodą elementów skończonych, konieczne jest określenie wartości oporów gleby K działających na korpus pługa podczas pracy. Wielkość omawianych obciążeń, jakie występują w najcięższych warunkach eksploatacyjnych, wyznaczono zgodnie z metodyką opisaną w literaturze [3], uwzględniając przypadek najechania korpusu pługa na przeszkodę.

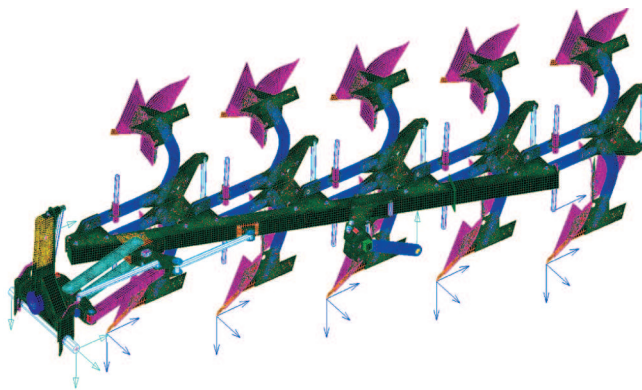
Model MES

Do opracowania modelu obliczeniowego użytego w analizach metodą elementów skończonych wykorzystano model 3D (rys. 1). Zastosowano uproszczenia i założenia zgodnie z zasadami tworzenia modelu, które dotyczyły modelowanych elementów. Masy zamodelowanych części zostały wyznaczone i uwzględnione automatycznie przez system, w którym dokonano analiz wytrzymałościowych. W sposób dokładny zamodelowano następujące części: koziół zaczepowy z głowicą obrotową, korpus płuzny, układ belek ciągnących, ramię czworoboku, układ mocowania koła podporowego do ramy, ramę nośną korpusów płuznych oraz krzywkę czworoboku. Uproszczenia polegające na zastąpieniu rzeczywistej geometrii modelu (rys. 1) elementami belkowymi i prętowymi zastosowano przy modelowaniu siłownika do obracania pługa, siłownika regulującego szerokość pracy, siłownika korpusów płuznych, poprzeczek wynoszących korpus płuzny do góry, krojów korpusów płuznych belek spinających ciągną z pługiem, śruby rzymskiej regulującej i spinającej układ belek ciągnących z ramieniem czworoboku, sworzni obrotowego oraz łączników w postaci śrub i sworzni.

Utworzony model przedstawiono na rys. 4. Podczas dyskretyzacji zastosowano elementy objętościowe typu *Solid*, elementy płytowo-powłokowe czworokątne i trójkątne typu *Thin Shell*, elementy belkowe typu *Beam* oraz elementy prętowe typu *Rod* [4]. Za pomocą elementów powłokowych opisano wszystkie części ramy nośnej, koziła zaczepowego, korpusów płuznych, układu belek ciągnących, ramię czworoboku, krzywki czworoboku i układu mocowania koła podporowego. Elementy belkowe i prętowe wykorzystano do zamodelowania siłowników, łączników w postaci śrub, sworzni, poprzeczek wynoszących korpus płuzny do góry, sworzni obrotowego, belki spinającej dolne ciągną z pługiem, śruby rzymskiej regulującej i spinającej układ belek ciągnących z ramieniem czworoboku.

Przypadki obciążenia i warunki brzegowe

Konstrukcję pługa obracalnego poddano analizom wytrzymałościowym w stanach transportu oraz pracy. Opracowano następujące przypadki obciążeń: LC1 - transport z nadwyżką dynamiczną 1.4, LC2 - transport po drodze nieutwardzonej, LC3 - transport z obroconą głowicą pługa o 90°, LC4 - praca, LC5 - praca z najechaniem pierwszym korpusem pługa na przeszkodę, LC6 - praca z najechaniem ostatnim korpusem pługa na przeszkodę. W przypadku analizowania konstrukcji w trakcie transportu odwzorowano warunki, w jakich rama nośna zostaje poddana obciążeniom pod wpływem masy własnej. Pierwsze dwa przypadki dotyczą transportowania pługa uniesionego na TUZ ciągnika. Trzeci przypadek charakteryzuje stan, który występuje podczas obracania pługa z pozycji prawostronnej do pozycji lewostronnej w trakcie wykonywania nawrotu ciągnikiem po dojechaniu do końca pola. W przypadkach analiz LC5 i LC6 obciążenie pochodzące od pracy pługa zostało powiększone o siłę dodatkową



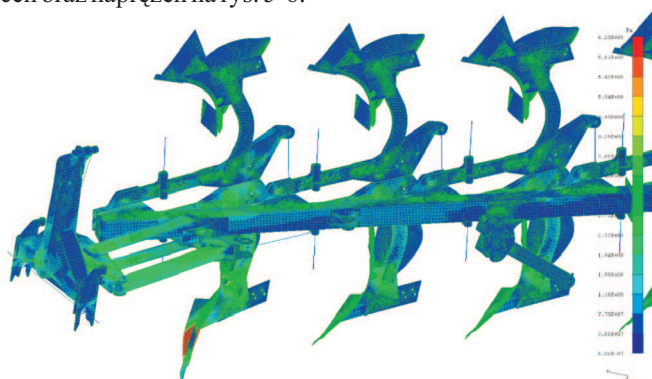
Rys. 4. Opracowany model obliczeniowy oraz warunki brzegowe konstrukcji pługa obracalnego pięcioskibowego [1]
Fig. 4. Elaborated computable model and conditions on side of the reversible five-furrow plough construction

pochodzącą z najechania na przeszkodę pierwszym lub ostatnim korpusem.

Dla przypadków LC1-LC3, które dotyczyły transportu, zastosowano podparcie w trzech punktach na koźle zaczepowym. Na jednym z dolnych końców koziła zaczepowego odebrano przesunięcia w trzech kierunkach (XYZ), pozostawiając swobodne obroty, zaś na drugim odebrano przesunięcia w dwóch kierunkach, pozostawiając swobodne obroty i przesunięcie pługa w kierunku poprzecznym. Na górnym łączniku koziła zaczepowego zablokowano możliwość podłużnego przemieszczenia pługa. Dla przypadków LC4-LC6, czyli dla pracy, na koźle zastosowano takie same warunki brzegowe oraz dodatkowo na kole podporowym pługa odebrano możliwość przemieszczenia się konstrukcji w kierunku pionowym.

Analiza otrzymanych wyników MES

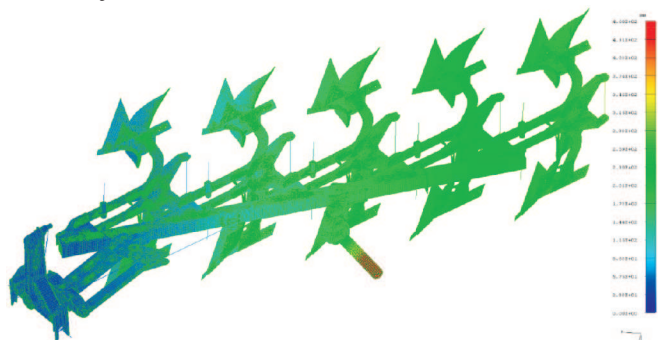
Przygotowany model obliczeniowy pługa (rys. 4) został poddany analizom wytrzymałościowym dla przypadków obciążenia, które zostały wymienione w poprzednim rozdziale. Wszystkie obliczenia realizowane były w systemie I-DEAS 6 NX. Wybrane rezultaty przedstawiono w postaci map odkształceń oraz naprężeń na rys. 5-6.



Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych w modelu pługa obracalnego podczas najechania przeszkodę pierwszym korpusem na przeszkodę (przypadek LC5) [1]
Fig. 5. Reduced stress pattern in the model of reversible plough when the first plough body comes across an obstacle (example LC5) [1]

Otrzymane wyniki świadczyły jednoznacznie, że konstrukcja pługa jest obciążona w największym stopniu podczas natrafienia na przeszkodę przez pierwszy korpus (przypadek LC5). Pług wyposażony był w układ zabezpieczający, którego

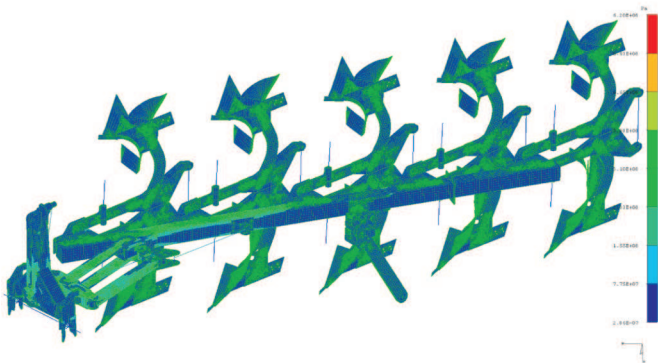
zadaniem jest niedopuszczenie do zaistnienia w konstrukcji efektów analizy LC5 i LC6. Największe wartości naprężeń uzyskano podczas symulacji transportu maszyny (LC1, LC2). Dla wymienionych przypadków obciążeń podczas transportu analizy wytrzymałościowe wykazały, że obszarami, w których występuje koncentracja naprężeń, są ramiona równoległoboku, miejsce łączenia równoległoboku z ramą oraz część głowicy obrotowej.



Rys. 6. Rozkład przemieszczeń w modelu pługa obracalnego w trakcie transportu (przypadek LC1) [1]
 Fig. 6. Distribution of displacements in the model of reversible plough during the transportation (example LC1) [1]

W przypadku analiz związanych ze stanem obciążenia LC5 stwierdzono, że maksymalne przemieszczenia w konstrukcji wynoszą 263 mm i dotyczą ostatniego korpusu.

Największe naprężenia w konstrukcji nośnej występują w głowicy obrotowej pługa. Naprężenia w ramieniu czworoboku i głowicy obrotowej osiągają wartość 425 MPa, a na korpusie podczas najazdu na przeszkodę przekraczają 600 Mpa.

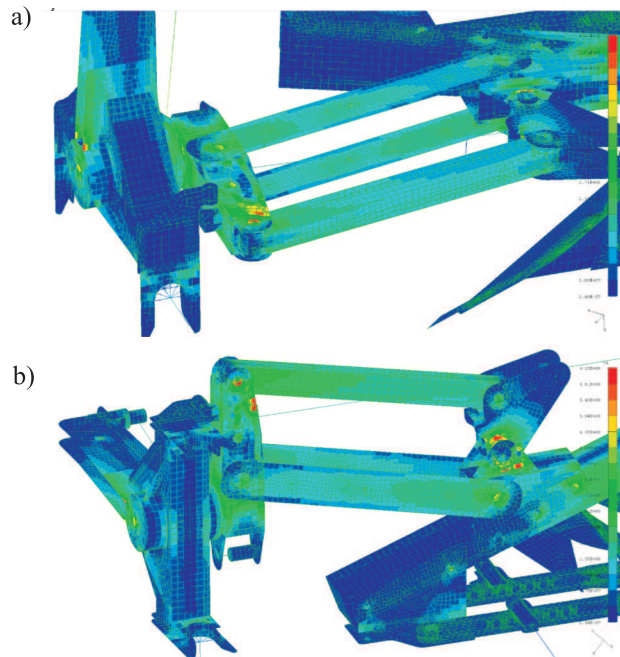


Rys. 7. Rozkład naprężeń zredukowanych w modelu obliczeniowym podczas transportu (przypadek LC1) [1]
 Fig. 7. Reduced stress pattern in the computable model during the transportation (example LC1) [1]

Wartości przemieszczeń elementów konstrukcji pługa uzyskane dla przypadku obciążeń LC1 przedstawia rys. 6. Maksymalne przemieszczenie o wartości 460 mm występuje w układzie koła podporowego i jest konsekwencją zaprojektowanej konstrukcji, która pozwala na jego opadanie, aż do momentu zablokowania wahacza przez ogranicznik.

Największe naprężenia spowodowane ugięciem ramy pod wpływem masy własnej, z uwzględnieniem nadwyżki dynamicznej, zostały określone na podstawie analizy LC1 i zilustrowane na rys. 7.

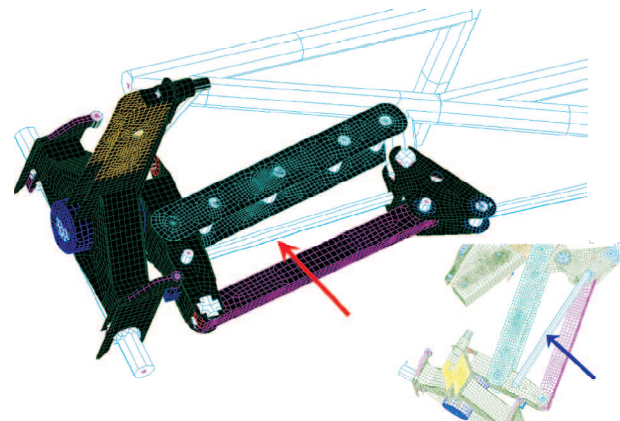
Stwierdzono, że dochodzą one do 540 MPa, zaś lokalnie osiągają blisko 620 MPa. Mapy uzyskanych naprężeń przedstawia rys. 8 a, b. W wyniku przeprowadzenia symulacji z zadanymi obciążeniami LC2 stwierdzono, że miejsca, w których następuje ich koncentracja, są identyczne jak w przypadku LC1 z tą różnicą, że otrzymane wartości są mniejsze o blisko 30%.



Rys. 8. Widok miejsc, w których występuje koncentracja naprężeń w przypadku analizy LC1 [1]
 Fig. 8. View of the places where the stress concentration

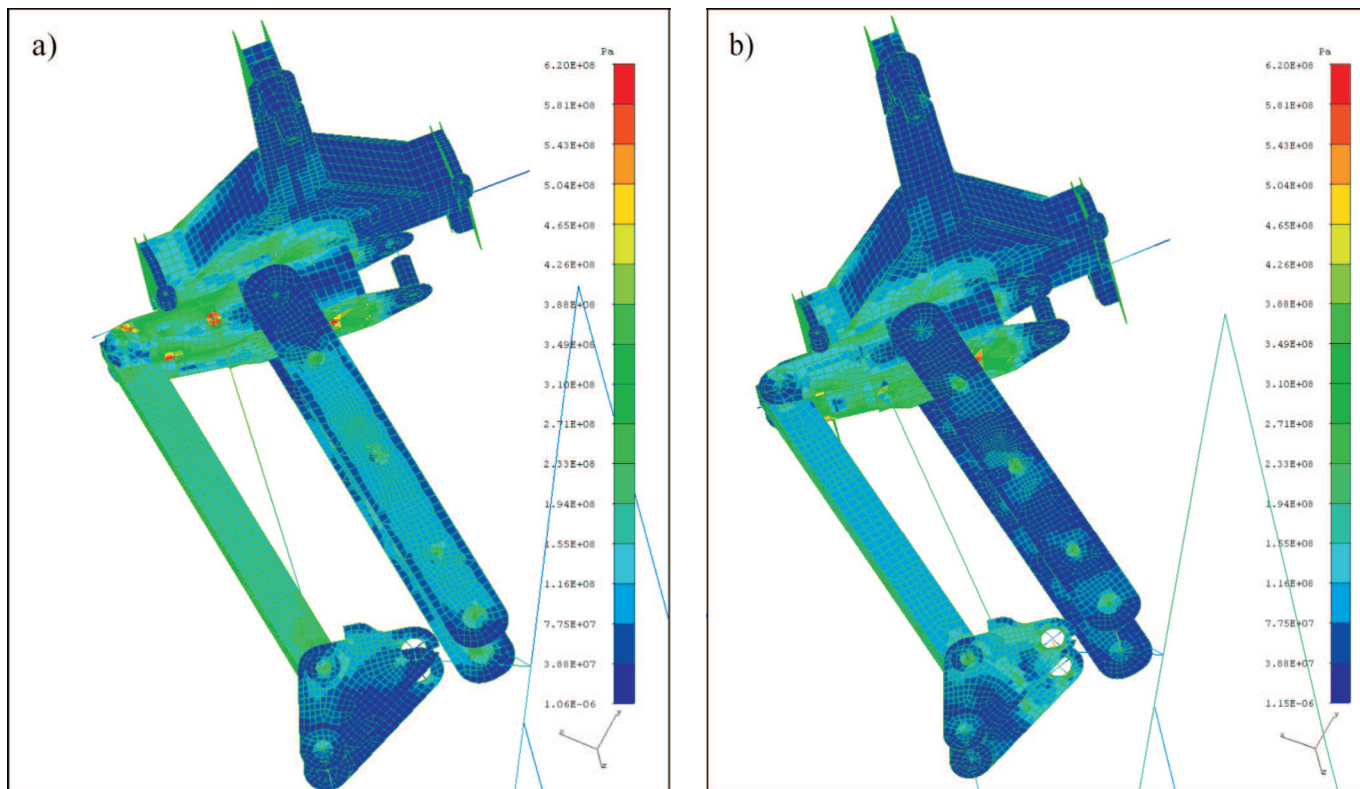
Zmiany konstrukcyjne

Przeprowadzone analizy otrzymanych wyników były powodem przeprowadzenia zmian konstrukcyjnych ramy nośnej w celu zmniejszenia występujących koncentracji naprężeń (rys. 8). Polegały one na zmianie zamocowania śruby rzymskiej w taki sposób, aby leżała ona w jednej płaszczyźnie z belką ciągnącą. Dla jej kontroli opracowano model (rys. 9), który następnie poddano analizie wytrzymałościowej. Do obliczeń założono obciążenia, jakie występują w przypadku analizy LC5.



Rys. 9. Model pługa obracalnego utworzony w wyniku zmian konstrukcyjnych (mniejszy rysunek obrazuje model przed przebudową) [1]
 Fig. 9. Model of the reversible plough created as the result of changes in construction (lesser picture presents the model before reconstruction) [1]

Otrzymane rezultaty przedstawiono na rys. 10. Stwierdzono, że w wyniku przebudowy konstrukcji uzyskano znaczną redukcję wartości naprężeń. Maksymalne naprężenia w głowicy pługa po wprowadzeniu poprawek zmniejszyły się o 20%. W ramieniu czworoboku zredukowały się w porównaniu z poprzednią konstrukcją (rys. 10a) o około 25%.



Rys. 10. Mapy naprężeń zredukowanych uzyskanych w konstrukcji pługa przed przebudową (a) i po przebudowie (b) [1]
 Fig. 10. Maps of the reduced stress obtained in the plough construction before reconstruction (a) and after reconstruction (b) [1]

Podsumowanie

W pracy przedstawiono problematykę modelowania i analizy wytrzymałościowej pługa wieloskibowego. Przeprowadzone symulacje numeryczne pozwoliły na opracowanie map naprężeń i odkształceń dla różnych stanów obciążenia pługa. Na ich podstawie stwierdzono, że:

1. Najbardziej obciążonym zespołem jest układ czworoboku (układ belek ciągnących, głowica obrotowa, ramie i krzywka czworoboku), łączący koziół zaczepowy pługa z ramą nośną korpusów płużnych,
2. Wprowadzone zmiany konstrukcyjne obniżyły rozkład naprężeń w układzie czworoboku pługa z 370 MPa do 280 MPa, natomiast w głowicy obrotowej pługa z 425 MPa do 340 MPa.

Opracowana metodyka tworzenia modelu obliczeniowego pługa obracalnego może być pomocna przy przeprowadzaniu analiz numerycznych innych narzędzi i maszyn uprawowych.

Literatura

- [1] Szczepaniak J., Szczepaniak M., Mac J., Rutkowski J., Grzechowiak R., Rogacki R., Wojciechowski J.: Rodzina pługów wieloskibowych obracalnych z innowacyjnym ciągłym zabezpieczeniem korpusów przed przeciążeniem i zespołem regulacji ustawienia koła podporowego. Zad. 6. Dyskretyzacja modeli geometrycznych i obliczenia wytrzymałościowe pługów. PIMR, Poznań, 2009.
- [2] Szczepaniak J., Szczepaniak M., Mac J., Rutkowski J., Grzechowiak R., Rogacki R., Wojciechowski J.: Rodzina pługów wieloskibowych obracalnych z innowacyjnym ciągłym zabezpieczeniem korpusów przed przeciążeniem i zespołem regulacji ustawienia koła podporowego. Zad. 5. Opracowanie modeli matematycznych przypadków obciążeń dla agregatu ciągnik-maszyna w aspekcie obowiązujących norm EU dla przejazdów transportowych i roboczych. PIMR, Poznań, 2009.
- [3] Bernacki H.: Teoria konstrukcyjna maszyn rolniczych cz. I i II. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, 1981.
- [4] I-DEAS. Help library bookshelf. Tutorials. Pliki pomocy do systemu I-DEAS.

MODELLING AND COMPUTER STRENGTH ANALYSIS OF THE MULTIPLE-FURROW PLOUGH WITH CONTINUOUS PROTECTING SYSTEM OF PLOUGH BODIES AGAINST OVERLOAD

Summary

The methodology of creation of computable model of the multiple-furrow plough equipped with a system protecting by continuous means the plough bodies against overload has been presented in this article. Detailed analysis of the forces which affect a construction during the work has been made. Their values have been determined by analytic method. Applied simplifications of the model have been described. The strength calculations have been carried out using the I-DEAS 6NX system. The material effort of the construction has been determined for different variants of loads. It was necessary to reconstruct the construction because the worrying values of stress have been stated in particular places. An effectiveness of the changes has been verified using the consecutive FEM analysis.