

# MODELOWANIE ORAZ ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCIOWA W ASPEKCIE DOBORU OPTYMALNYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI NA PRZYKŁADZIE PŁUGA WIELOSKIBOWEGO OBACANEGO

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wytrzymałościową pługa wieloskibowego obracalnego, półzawieszanego o budowie modułowej. Określono węzły konstrukcji, w których występują koncentracje naprężeń, a następnie wprowadzono zmiany konstrukcyjne. Wyznaczono wartości naprężeń średnich oraz naprężeń amplitudowych, które naniesiono na wykresy Smitha dla stali RAEX 400 i B27.

**Słowa kluczowe:** pług; konstrukcja, modelowanie; analiza wytrzymałości

## Wstęp

Analizy wytrzymałościowe wykonywane za pomocą metody elementów skończonych to jedne z najnowocześniejszych narzędzi, jakie stosuje się w celu przewidywania zachowania konstrukcji maszyn rolniczych. Pozwalają na badania sztywności oraz optymalizację masy i geometrii elementów konstrukcji. Zastosowanie tej metody w analizach inżynierskich wspomaganych komputerowo pozwala na szybkie i względnie dokładne uzyskanie wyników, których uzyskanie drogą analitycznych obliczeń jest wręcz niemożliwe, biorąc pod uwagę złożoność analizowanych konstrukcji.

## Cel i przedmiot badań

Celem badań było sprawdzenie poprawności doboru przyjętych przekrojów i materiałów konstrukcyjnych maszyny pod względem wytrzymałościowym, z wykorzystaniem modelowania w środowisku wirtualnym.

Przedmiotem obliczeń i badań był pług obracalny o ośmiu korpusach płużnych. Model obliczeniowy maszyny poddano analizie wytrzymałościowej z uwzględnieniem szeregu przypadków obciążeń występujących podczas eksploatacji.

## Model obliczeniowy pługa ośmioskibowego

Model obliczeniowy konstrukcji nośnej pługa opracowano oraz obliczenia przeprowadzono w systemie komputerowym

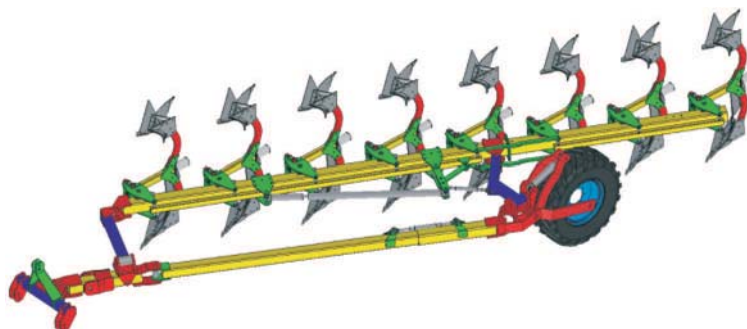
IDEAS NX 6.1. Elementy nośne maszyny, tj.: koziół z obrotową, łączniki kozła zaczepowego, rama główna z korpusami płużnymi, rama obrotowa i układ jezdny zamodelowano z wykorzystaniem elementów powłokowych. Do modelowania układu regulacji korpusów płużnych wykorzystano elementy belkowe i prętowe. Za pomocą tych samych elementów zamodelowano połączenia sworzniowe i śrubowe, występujące w maszynie [1].

W konstrukcji nośnej pługa zastosowano materiały pokazane na rys. 1. Podstawowym źródłem analizy wyników, będą wykresy zmęczeniowe Smitha dla stali użytych do budowy pługa.

## Przypadki obciążenia

W celu sprawdzenia zachowania pługa w różnych warunkach eksploatacji opracowano szereg przypadków obliczeniowych przedstawionych w opracowaniu [2]. W tym artykule zostały opisane dwa przypadki obciążenia: transport po drogach oraz praca. Obciążenia dynamiczne uwzględniono w postaci współczynników nadwyżki dynamicznej  $k_d = 1.4$  dla transportu oraz  $k_d = 1.15$  dla pracy.

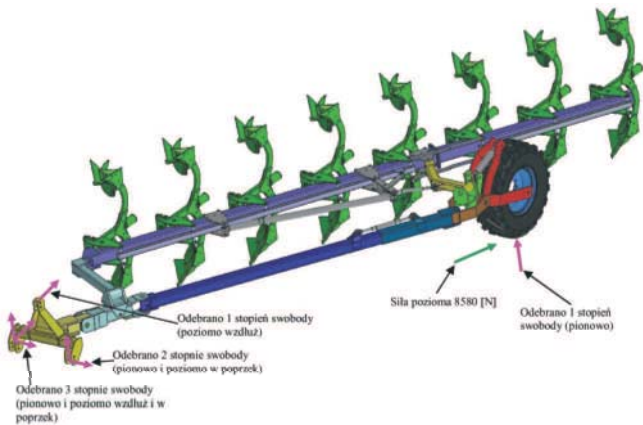
Pierwszym analizowanym przypadkiem obliczeniowym był transport po drogach utwardzonych. W tym przypadku maszyna obciążona była siłami dynamicznymi pochodzącymi od masy korpusów płużnych, zamocowanych na ramie głównej. Stopnie swobody pługa odebrano w trzech punktach kozła zaczepowego. W jednym z dolnych zaczepów TUZ odebrano przemieszczenia we wszystkich trzech kierunkach



Rys. 1. Model pługa z użytymi materiałami: czerwony - RAEX 400, zielony - B27, żółty - S355, niebieski - Optim HS 700 MH  
Fig. 1. Model of the plough with applied materials: red - RAEX 400, green - B27, yellow - S355, blue - Optim HS 700 MH

OX, OY i OZ, w drugim - w kierunkach OX i OZ. W górnym uchwycie TUZ odebrano możliwość przemieszczeń w kierunku OZ. Na kole jezdny pługa jednokołowego (rys. 2), odebrano przemieszczenie w jednym kierunku (OZ) [3].

Drugim rozpatrywanym przypadkiem dla modeli obliczeniowych była praca z maksymalnym obciążeniem roboczym. W przypadku tym siły dynamiczne pochodzą od oporów roboczych korpusów płużnych i oporu toczenia koła jezdny pługa. W przypadku pracy stopnie swobody odebrano, podobnie jak w transporcie, czyli w trzech punktach koła zaczepowego i jednym punkcie - kole jezdny pługa [3].



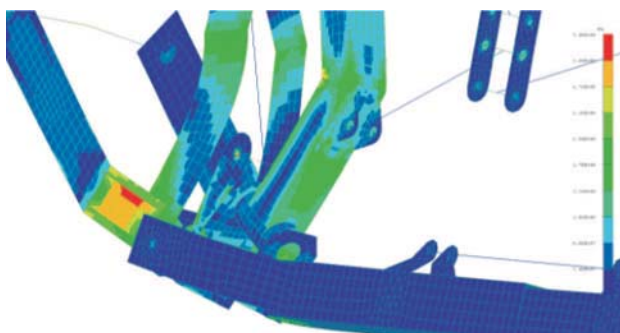
Rys. 2. Warunki brzegowe dla pługa jednokołowego w pozycji pracy  
Fig. 2. Bank conditions for the one-wheeled plough in the work position

### Analiza wyników MES

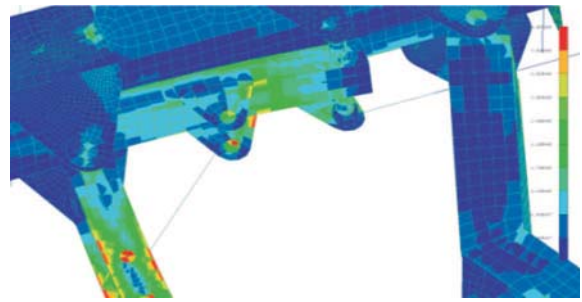
Przygotowany model obliczeniowy pługa został poddany obliczeniom wytrzymałościowym dla przypadków obciążenia, które zostały wymienione w punkcie 4. Wybrane rezultaty, jakie uzyskano przedstawiono w postaci map odkształceń oraz naprężeń na rys. 3-5.

Na rys. 3 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych ramy nośnej pługa dla przypadku transportu po drogach. Maksymalne naprężenia wystąpiły w widełkach koła jezdny, gdzie wyniosły 320 MPa.

Wartości naprężeń dla przypadku pracy w elementach nośnych przekraczają wartości dopuszczalne. Naprężenia w przedniej części pługa (koźle zaczepowym) wzrosły, w stosunku do przypadku pierwszego i osiągają wartość 550 MPa. Niebezpiecznym miejscem, w którym naprężenia osiągają 440 MPa, jest układ regulacji korpusów płużnych (rys. 4). Więcej wyników dotyczących wstępnej analizy wytrzymałościowej przedstawiono w opracowaniu [2].



Rys. 3. Naprężenia zredukowane [Pa], przypadek - transport po drogach, widok na tylną belkę obrotową pługa w powiększeniu  
Fig. 3. Reduced stresses [Pa], case - transport along roads, view on the back rotational beam of the plough in the blow-up

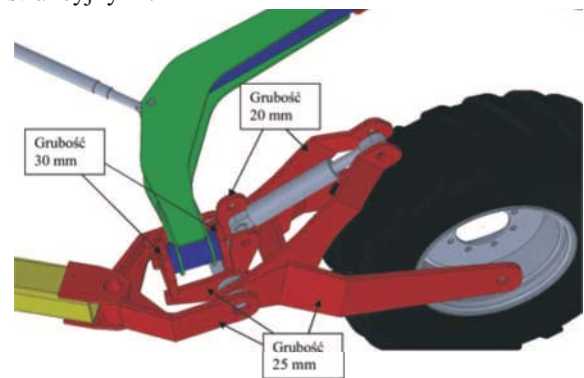


Rys. 4. Naprężenia zredukowane [Pa], przypadek - praca, widok na belkę spinającą i regulującą korpusy płużne  
Fig. 4. Reduced stresses [Pa], case - work, view on the beam fastening together and adjusting plough bodies

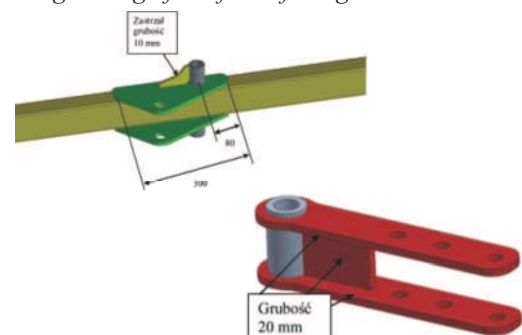
Uzyskane wyniki analizy wytrzymałościowej były niekorzystne (kolor czerwony na rys. 3-4), przekraczały dopuszczalne naprężenia. Z tego wynika, że konstrukcja w zaproponowanej wstępnej wersji nie spełnia warunków wytrzymałościowych dla przyjętych warunków obciążeń. Na podstawie otrzymanych wyników proponuje się wprowadzenie poprawek konstrukcyjnych. Zmiany te będą polegały na zwiększeniu grubości ścianek blach i profili oraz zwiększeniu gabarytów niektórych uchwytów [2].

### Zmiany konstrukcyjne w celu eliminacji ekstremalnych naprężeń

Przeprowadzone analizy otrzymanych wyników były podstawą przeprowadzenia zmian konstrukcyjnych ramy nośnej w celu zmniejszenia występujących koncentracji naprężeń. Postanowiono przekonstruować maszynę w następujących elementach: w koźle zaczepowym, w łącznikach koła zaczepowego, w belce obrotowej tylnej, w widełkach koła jezdny, w belce obrotowej przedniej, w układzie regulacji korpusów płużnych. Poniżej na rys. 5-6 przedstawiono niektóre zespoły pługa z wprowadzonymi zmianami konstrukcyjnymi.



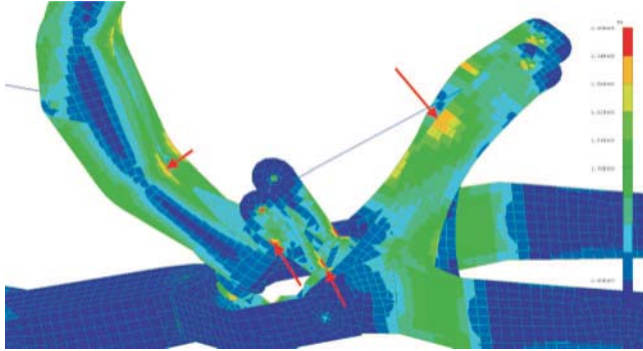
Rys. 5. Wzmocnienie widełek koła jezdny  
Fig. 5. Strengthening of the fork of the ground wheel



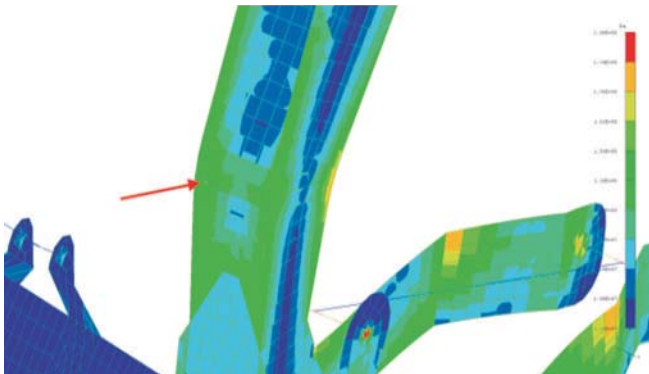
Rys. 6. Wzmocnienie układu regulacji korpusów płużnych  
Fig. 6. Reinforcing of the control system of plough bodies

## Analiza wytrzymałości zmęczeniowej pluga

Do przeprowadzenia analizy zmęczeniowej należy posiadać informację o poziomie naprężeń średnich oraz o charakterze zmian naprężeń zmiennych cyklicznie. W naszym przypadku jako wartości średnie przyjęto wartości naprężeń uzyskanych dla przypadku obciążenia pionowego dla przypadku transportu. Obciążenie to polegało na tym, że w przypadku transportu po drogach nie uwzględniono współczynnika nadwyżki dynamicznej. Natomiast amplitudę naprężeń wyznaczono jako różnicę naprężeń dla przypadku transportu po drogach i przypadku obciążenia pionowego.



Rys. 7. Naprężenia zredukowane [Pa], przypadek - transport po drogach, widok na układ jezdny pluga  
Fig. 7. Reduced stresses [Pa], case - transport along roads, view on the mounting system of the plough

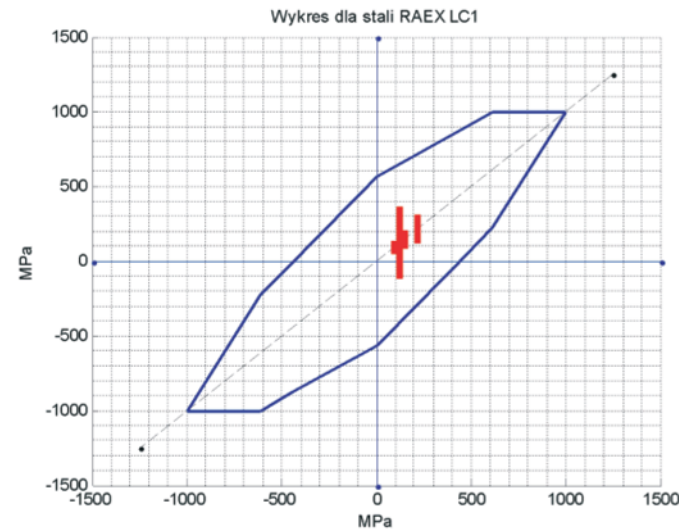


Rys. 8. Naprężenia zredukowane [Pa], przypadek - transport po drogach, widok na tylną belkę obrotową  
Fig. 8. Reduced stresses [Pa], case - transport along roads, view on the back rotational beam

Na rys. 7-8 pokazano węzły (strzałki kolor czerwony), w których odczytano maksymalne wartości naprężeń dla przypadku transportu po drogach. Wartości tych naprężeń zapisano w tab. 1, a następnie wyznaczono naprężenia amplitudowe dla miejsc, w których może wystąpić ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa. Naprężenia zredukowane odczytano w każdym punkcie, dla górnej i dolnej warstwy elementów (tak samo obliczono naprężenia amplitudowe).

W tab.1 zestawiono węzły, dla których wyznaczono ograniczoną trwałość zmęczeniową. Sama tabela jest mało czytelna z racji tego, że nie pokazuje miejsc, dla których może zaistnieć ograniczona trwałość zmęczeniowa. Wyniki w postaci graficznej pokazano na rys. 7-8. Na rysunkach tych przedstawiona skala pokazuje wartości naprężeń maksymalnych, jakie uzyskano dla przypadku transportu po drogach.

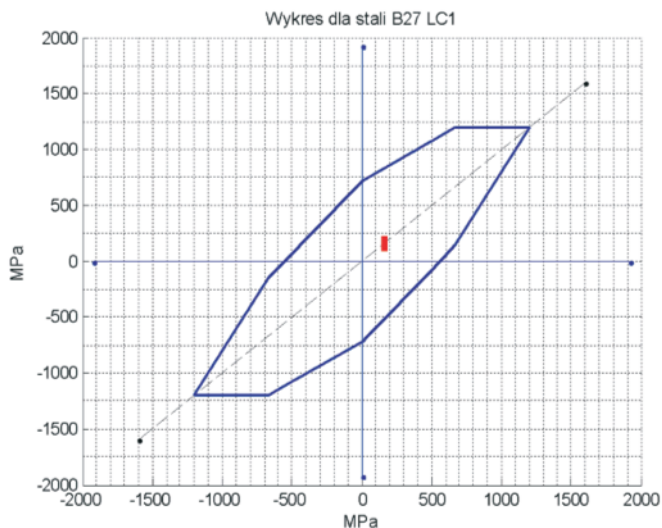
Sposób odczytania wyników z tab. 1 przedstawia się następująco, np.: pozycja pierwsza - pola zaznaczone kolorem czerwonym naprężenie średnie wynosi 122 MPa, a naprężenie amplitudowe o wartości 239 MPa. Otrzymane wyniki wprowadzono do systemu Matlab gdzie za pomocą własnego skryptu wygenerowano wykresy Smitha.



Rys. 9. Wykres Smitha dla stali RAEX 400, graficzne przedstawienie wyników największego naprężenia dla transportu po drogach (tab. 1)  
Fig. 9. Smith's graph for RAEX 400 steel, graphic representation of results of the biggest tension for the transport along roads (table 1)

Tab. 1. Wykaz węzłów konstrukcji przeanalizowanych dla przypadku transportu po drogach z wyznaczonymi naprężeniami  
Table 1. List of the structure bonds analyzed for the case of the transport along roads with determined stresses

Numer węzła	Naprężenia dla przypadku obciążenia pionowego [MPa] (naprężenia średnie)		Naprężenia dla przypadku transportu po drogach [MPa] (naprężenia maksymalne)		Różnica naprężeń pomiędzy przypadkiem transportu po drogach a obciążeniem pionowym [MPa] (naprężenia amplitudowe)		Materiał
	Warstwa dolna elementów	Warstwa górna elementów	Warstwa dolna elementów	Warstwa górna elementów	Warstwa dolna elementów	Warstwa górna elementów	
1861643	122	84	361	220	239	136	RAEX 400
1861646	216	202	310	291	94	89	RAEX 400
925623	162	157	231	224	69	67	B27
1860100	146	110	210	159	64	49	RAEX 400
856744	92	61	132	87	40	26	RAEX 400



Rys. 10. Wykres Smitha dla stali B27, graficzne przedstawienie wyników największego naprężenia dla transportu po drogach (tab. 1)

Fig. 10. Smith's graph for B27 steel, graphic representation of results of the biggest tension for the transport along roads (table 1)

Wyznaczone naprężenia amplitudowe i średnie przedstawione w tab. 1 naniesiono na wykresy Smitha dla stali RAEX 400 (rys. 9) i stali B27 (rys. 10). Naprężenia maksymalne i minimalne nie przekraczają dopuszczalnych naprężeń dla przypadku transportu po drogach. Pola zaznaczone w tabeli

kolorem czerwonym odpowiadają kolorom naprężeń amplitudowych, przedstawionych na wykresach Smitha.

### Podsumowanie

Obliczenia wytrzymałościowe pozwalają na szeroką i wyczerpującą analizę występujących zjawisk już na wczesnym etapie projektowania konstrukcji. Zaprezentowany w artykule model konstrukcji nośnej pługa stanowi ostateczną formę wyników. W procesie projektowania przeprowadzono analizę wielu wariantów rozwiązań poszczególnych elementów i dobór, optymalnych pod względem wytrzymałościowym, elementów konstrukcyjnych oraz ponowną ich weryfikację dla różnych wariantów obciążeń konstrukcji. W końcowym etapie analiza MES konstrukcji nośnej pługa pozwoliła na identyfikację najbardziej wyężonych węzłów konstrukcyjnych. Dokładną analizę uzyskanych stanów naprężeń dla pozostałych przypadków obliczeniowych przedstawiono w opracowaniu [2].

### Bibliografia

- [1] I-DEAS. Help library bookshelf. Tutorials. Pliki pomocy do systemu I-DEAS.
- [2] Szczepaniak J., Rogacki R., Szczepaniak M., Mac J., Wasieczko P., Grzechowiak R., Wojciechowski J., Pawłowski T.: Rodzina wysokowydajnych pługów wieloskibowych obracalnych, półzawieszanych, o konstrukcji modułowej. Zadanie 6, PIMR, Poznań, 2013.
- [3] Szczepaniak J., Rogacki R., Szczepaniak M., Wasieczko P., Bitner W.: Rodzina wysokowydajnych pługów wieloskibowych obracalnych, półzawieszanych, o konstrukcji modułowej. Zadanie 4, PIMR, Poznań, 2013.

## MODELING AND ENDURANCE ANALYSIS IN THE ASPECT OF THE SELECTION OF OPTIMUM STRUCTURAL ELEMENTS ON THE EXAMPLE OF THE MULTIPLE-FURROW REVERSIBLE PLOUGH

### Summary

Endurance analysis of the semi-mounted multiple-furrow reversible plough of the modular design was described in the article. The structure bonds in which stress concentrations are appearing were determined, and next structural changes were implemented. Values of average stresses and amplitude stresses were calculated which was marked on the Smith's graphs for RAEX 400 and B27 steel.

**Key words:** plough, construction, modeling, endurance analysis



Podręcznik pt. **MASZyny ROLNICZE** adresowany jest do szerokiego grona pracowników dydaktycznych i słuchaczy uczelni przyrodniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawarto w nim podstawowe informacje z przedmiotu "Technika rolnicza i eksploatacja maszyn rolniczych" wykładanego na ww. Uczelniach. Problematyka wykładów tego przedmiotu obejmuje charakterystykę szerokiego i niezwykle różnorodnego asortymentu maszyn i urządzeń technicznych. Wyczerpujące omówienie czy opisanie całości materiału jest niemożliwe. Z tych też względów w podręczniku przedstawiono ściśle wyselekcjonowane partie materiału - informacje podstawowe oraz te, które są dziełem autorów lub powstały przy znaczącym ich udziale. Stąd też, pomimo że podręcznik ma charakter pozycji dydaktycznej, nosi znamiona pracy monograficznej. Materiał uzupełniający stanowi literatura zamieszczona na końcu każdego z rozdziałów.

Wydawca:

Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Ekonomicznej i Normalizacyjnej Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych

60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31

tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;

e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet: <http://www.pimr.poznan.pl>