

Modelowanie przyczepy do przewozu drewna z wykorzystaniem programu Inventor

Modeling of a timber transport trailer using the Inventor program

ZBIGNIEW KRZYSIAK
ALEKSANDER NIEOCZYM
GRZEGORZ BARTNIK
WALDEMAR SAMOCIUK
ZDZISŁAW KALINIEWICZ *

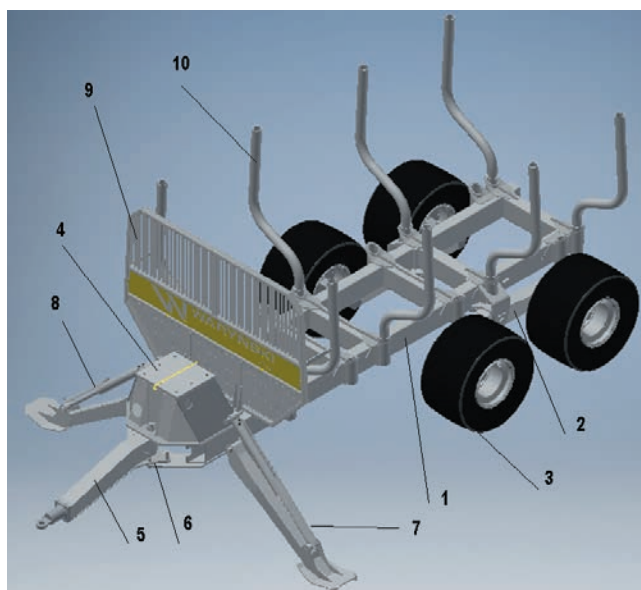
DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.19>

W artykule przedstawiono wyniki modelowania przyczepy leśnej do przewozu kłód drewna. Modelowanie miało na celu stworzenie konstrukcji bazowej i opracowanie na jej podstawie modułów przyczep o nośności 12, 14 i 16 ton. Opisano konstrukcję ramy nośnej przyczepy jako elementu przenoszącego największe obciążenia. W programie Inventor przeprowadzono analizę wytrzymałościową przyczepy, obejmującą rozkład sił tnących, momentów zginających oraz przemieszczeń. Na bazie wyników możliwe było wnioskowanie o funkcjonalności konstrukcji oraz kierunku czynności optymalizacyjnych. Dodatkowo proces projektowania pozwolił na przetestowanie programu Inventor jako narzędzia do zaawansowanych prac projektowych połączonych z analizą wytrzymałościową.
SŁOWA KLUCZOWE: przyczepa do przewozu drewna, modelowanie 3D, analiza wytrzymałościowa

The article presents the results of the modeling of a forest trailer for the transport of logs. Modeling was aimed at creating a base structure and developing trailer modules with a load capacity of 12, 14 and 16 tons. The design of the trailer frame as the load bearing element is described. With Inventor, trailer strength analysis has been performed, including the distribution of cutting forces, bending moments and displacements. On this basis, it was possible to make conclusions about the functionality of the structure and the direction of optimization. In addition, the design process has allowed Inventor to be tested as an advanced design tool combined with endurance analysis.

KEYWORDS: timber transport trailer, 3D modeling, strength analysis

Model bryłowy przyczepy przedstawiono na rys. 1. Elementem nośnym jest podwójna rama (1) wykonana z profili o przekroju prostokątnym. Układ jezdny tworzą belki (2) wyposażone w dwa hamowane koła (3). Część ładunkowa ograniczona jest osłoną przednią (9). Pomiędzy osłoną a obrotowym dyszlem (5), sterowanym siłownikami hydraulicznymi (6), umiejscowiony jest zbiornik oleju (4). Jego górna powierzchnia stanowi platformę mocowania żurawia ładunkowego. Na powierzchniach bocznych zbiornika mocowane są łapy stabilizujące (7), rozkładane i składane za pomocą siłowników (8). Zabezpieczenie przed przesunięciem poprzecznym ładunku stanowią kłonicy (10) mocowane w tulejach przyspawanych do zewnętrznych powierzchni podłużnic ramy.



Rys. 1. Model bryłowy przyczepy leśnej: 1 – rama, 2 – belka osi jezdnej, 3 – koło jezdne, 4 – zbiornik oleju hydraulicznego, 5 – dyszle, 6 – siłownik dyszla, 7 – łapa, 8 – siłownik łapy, 9 – przegroda, 10 – kłonica

Ograniczenia projektowe

- Konstrukcja przede wszystkim musi być trwała – odporna na obciążenia zmęczeniowe. Pojazdy leśne podczas eksploatacji są nieustannie poddawane obciążeniom zmiennym co do kierunku i wartości, pochodzącym od: nierównomierności rozłożenia ładunku w przestrzeni ładunkowej, nierówności terenu (koła po obu stronach przyczepy mogą się poruszać po powierzchniach o różnej wysokości), sił hamowania i przyspieszania.
- Badania wskazują, że najczęstszą przyczyną pęknięć występujących w konstrukcjach poddanych obciążeniom zmiennym w czasie jest zjawisko zmęczenia materiału [1]. Grubość blach czy wielkość profili użytych do budowy ramy przyczepy zależy głównie od wytrzymałości zmęczeniowej materiału – ma to szczególne znaczenie w przypadku konstrukcji spawanych.
- Wytrzymałość zmęczeniowa złącza spawanego ze zwykłej stali konstrukcyjnej S355 jest porównywalna ze stałą o wysokiej wytrzymałości, np. S700 [2]. Mimo że granica plastyczności stali wysokowytrzymałej jest o 100÷200% wyższa w porównaniu ze stałą konstrukcyjną, to ze względu na niską wytrzymałość zmęczeniową spoin masę przyczepy można zmniejszyć najwyżej o 20÷30%.
- Należy zapewnić odpowiednią sztywność konstrukcji, aby zapobiec drganiom oraz utracie stateczności (tzw. zjawisku wybożenia).

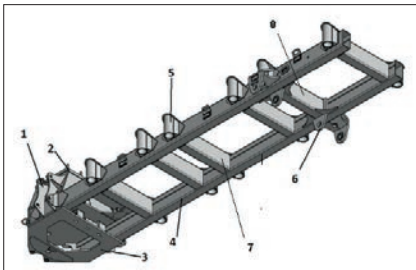
* Dr hab. inż. Zbigniew Krzysiak (zbigniew.krzysiak@wp.pl), dr inż. Grzegorz Bartnik (grzegorz.bartnik@up.lublin.pl), dr inż. Waldemar Samociuk (waldemar.samociuk@up.lublin.pl) – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie; dr inż. Aleksander Nieoczym (a.nieoczym@pollub.pl) – Politechnika Lubelska; dr hab. inż. Zdzisław Kaliniewicz (zdzislaw.kaliniewicz@uwm.edu.pl) – Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Podczas prac projektowych należało wprowadzić dodatkowe ograniczenia wynikające z przepisów kodeksu drogowego, dotyczące następujących zespołów konstrukcyjnych:

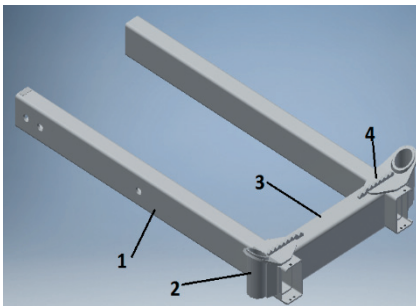
- wytrzymałość oraz wymiary dyszla i zaczepu zależne od ciężaru holowanej przyczepy,
- dwuprzewodowy układ hamulcowy warunkujący odpowiednią skuteczność działania hamulców,
- maksymalne wymiary gabarytowe przyczepy umożliwiające dopuszczenie jej do ruchu po drogach publicznych,
- nacisk osi z kołami ogumionymi na powierzchnię jezdni, nieprzekraczający wartości dopuszczalnych na drogach publicznych.

Opis obiektu badań

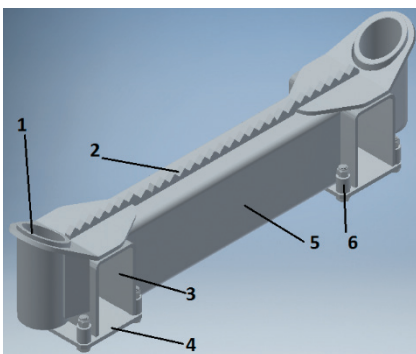
Rama bazowa (rys. 2) jest konstrukcją spawaną, zbudowaną z podłużnic (4) i belek poprzecznych (7). Do jej skonstruowania wykorzystano profile prostokątne $200 \times 120 \times 8$. Na przedłużeniu osi belek poprzecznych, na zewnętrznych powierzchniach podłużnic, przyspawane są tuleje mocujące kłonicę (5). W tylnej części ramy, przed ostatnią belką poprzeczną do podłużnic przyspawana jest belka mocująca (6) osie jezdne. Każda z belek jest mocowana niezależnie na podłużnicy ramy. Zastosowano mocowanie obrotowe na sworzniach w tulejach ślizgowych wykonanych z brązu. Wyloty podłużnic nie są zaspawane. Wynika to z faktu, że w przypadku transportu długich odcinków drewna istnieje możliwość zainstalowania tzw. rama przedłużeniowej (rys. 3).



Rys. 2. Rama przyczepy: 1 – mocowanie podpory, 2 – podstawa zbiornika, 3 – płyta obrotu, 4 – podłużnica ramy bazowej, 5 – mocowanie kłonic giętych, 6 – ucho mocowania belki osi jezdnej, 8 – belka osi jezdnej



Rys. 3. Rama przedłużeniowa: 1 – belka przedłużeniowa, 2 – mocowanie kłonicy, 3 – poprzeczka, 4 – listwa zębata



Rys. 4. Belka przesuwana: 1 – mocowanie kłonic, 2 – listwa zębata, 3 – otwór do mocowania na ramie przedłużeniowej, 4 – płyta dolna, 5 – poprzeczka, 6 – tuleja gwintowana

Rama przedłużeniowa jest konstrukcją wykonaną z profili prostokątnych o wymiarach $190 \times 110 \times 8$. Wykonano w nich trzy otwory technologiczne, w których montowane są tuleje gwintowane. Służą one do regulacji wysuwu rama przedłużeniowej z rama bazowej oraz do jej zabezpieczenia. Dodatkowo na belce poprzecznej przyspawane są listwy zębate, które uniemożliwiają przesuwanie się ułożonej pierwszej warstwy ściętego drzewa.

W przypadku gdy na tylną część przyczepy ładowane są krótkie kawałki drewna, istnieje możliwość zamocowania na ramie przedłużeniowej belki przesuwnej (rys. 4), która stanowi jedną całość z profilami służącymi do mocowania kłonic.

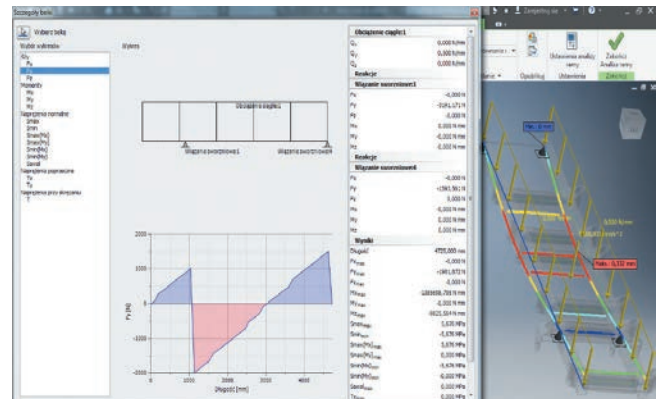
Analiza wytrzymałościowa w programie Inventor

Podczas analizy rama przyczepy spawanej zamodelowano podpory sworzniowe, które zostały ustalone w miejscu mocowania belek osi jezdnych oraz w miejscach zamocowania łap podporowych. Następnie po zweryfikowaniu powierzchni roboczej, na której ładowane będą kłody drewna, oraz uwzględnieniu ciężaru ładunku (i tym samym nacisku na powierzchnię) obliczono wartość obciążenia ciągłego na belkach rama nośnej.

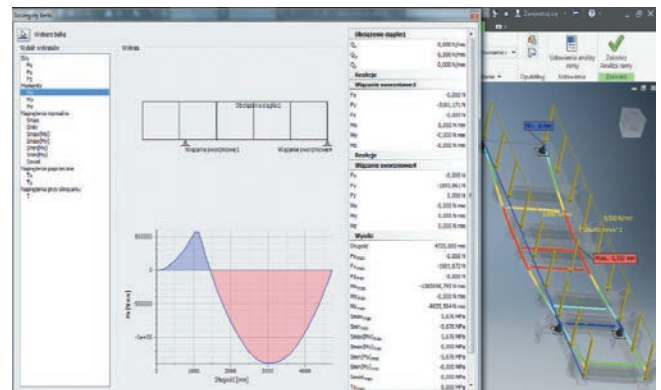
Etapy analizy wytrzymałościowej w programie Inventor to:

- dobór materiałów konstrukcyjnych,
- ustalenie kierunku sił,
- zdefiniowanie odpowiednich wiązań (zachowanie sztywnego połączenia),
- zdefiniowanie podpór i ich właściwe rozmieszczenie,
- zdefiniowanie obciążeń wraz z ich rozmieszczeniem.

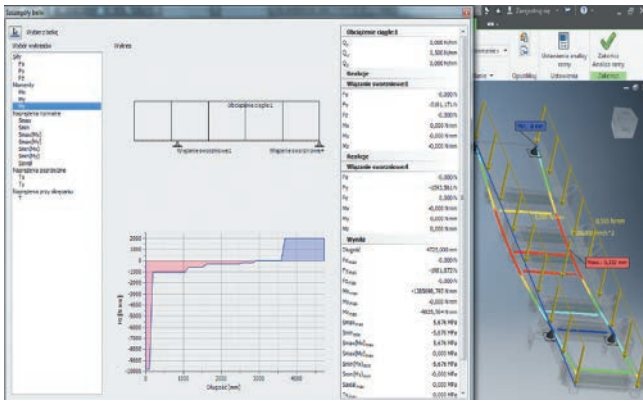
Analizę przeprowadzono na podstawie otrzymanych wykresów sił tnących, momentów gnących oraz przemieszczeń rama. Wybrane elementy związane z wizualizacją analizy wytrzymałościowej zaprezentowano na rys. 5–10.



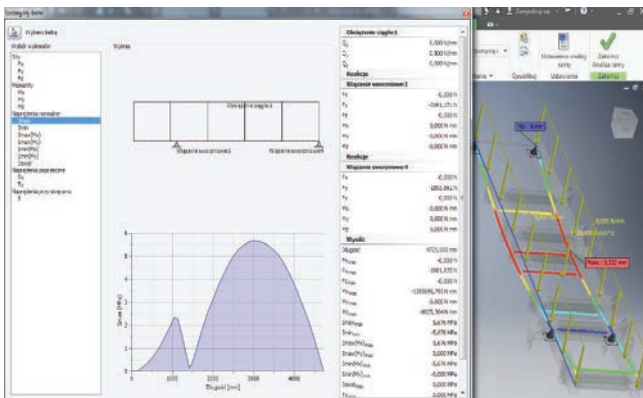
Rys. 5. Wykres sił zewnętrznych w kierunku osi Y



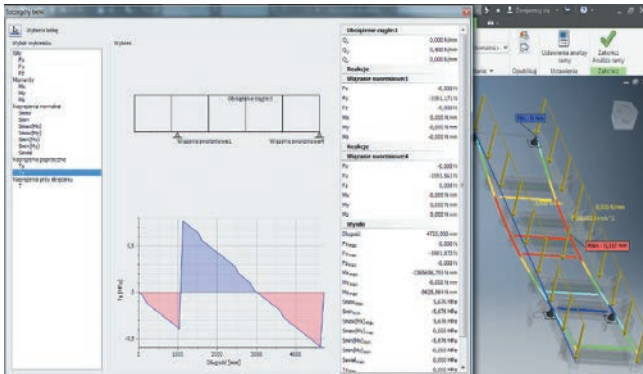
Rys. 6. Wykres momentów gnących w płaszczyźnie działania osi X



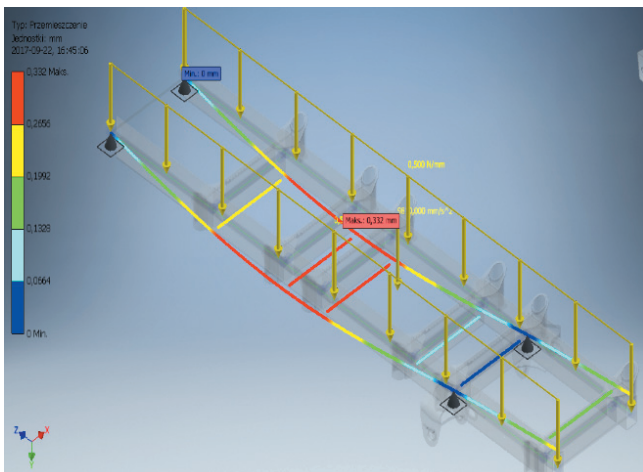
Rys. 7. Wykres momentów gnących w płaszczyźnie działania osi Z



Rys. 8. Rozkład naprężeń od sił normalnych



Rys. 9. Rozkład naprężeń od sił tnących



Rys. 10. Wizualizacja przemieszczeń ramy przyczepy

Wyniki obliczeń wytrzymałościowych:

- maksymalne przemieszczenia belek wzdłużnych ramy bazowej wynoszą ok. 0,33 mm,
- maksymalne naciski na podpory w miejscu mocowania belek osi jezdnej wynoszą 320 MPa,
- w przedniej części przyczepy, w miejscach łap podporowych, działają naprężenia 160 MPa,
- maksymalna wartość momentu gnącego, występującego na środku pomiędzy przodem a mocowaniem belek osi, wynosi ok. 138 Nm; znacznie mniejszy moment gnący występuje w osi Z – ok. 9,8 Nm,
- maksymalne naprężenia normalne powstają pośrodku obu wiązań i wynoszą ok. 5,6 MPa,
- naprężenia poprzeczne o maksymalnej wartości występują w okolicach mocowań belek osi i przyjmują wartość ok. 0,75 MPa.

Biorąc pod uwagę wykresy naprężeń i momentów, można przedstawić wniosek, że rozwiązanie konstrukcyjne ramy z wykorzystaniem określonych materiałów jest przewymiarowane. W ramach optymalizacji przekrojów elementów konstrukcyjnych można dobrać kształtowniki o mniejszych wymiarach (jednocześnie zmniejszy się masa przyczepy) – tam, gdzie naprężenia rzeczywiste nie przekroczyły jeszcze naprężenia dopuszczalnych. Bazując na danych z testów terenowych, należy jednak postawić pytanie, czy optymalizacja jest celowa. Zaprojektowana konstrukcja jest bardzo sztywna – ma małą podatność na jakiegokolwiek przemieszczenia. Jest to ważna cecha, ponieważ podczas przewozu drewna działają zmienne obciążenia, których wartości nie można jednoznacznie określić. Dodatkowym atutem przyczepy jest wizualny efekt solidności i trwałości.

Podsumowanie

Wykonanie modelu 3D przyczepy do przewozu drewna pozwoliło na: przeprowadzenie analizy wytrzymałościowej, optymalizację konstrukcji oraz wygenerowanie dokumentacji technicznej w postaci rysunków 2D.

Porównując programy Solid Edge i Inventor, wykorzystywane w pracach projektowych, można stwierdzić, że Inventor ma takie zalety, jak [3, 4]:

- intuicyjne menu, uproszczone polecenia edycyjne;
- rozbudowane możliwości analizy wytrzymałościowej;
- wyniki analizy wytrzymałościowej obciążone mniejszym błędem w porównaniu z obliczeniami analitycznymi.

W trakcie budowy modelu przyczepy napotkano następujące problemy:

- duże wymagania sprzętowe odnośnie do procesora, wbudowanej pamięci oraz monitora;
- konieczność definiowania wiązań między poszczególnymi elementami zespołów, ponieważ program Inventor nie umożliwia połączenia wiązaniem krawędzi oraz płaszczyzny;
- konieczność upraszczania geometrii modelu ramy w celu wykonania analizy wytrzymałościowej.

LITERATURA

1. Bąk R., Burczyński T. „Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego”. Warszawa: WNT, 2014.
2. Dyląg Z. „Wytrzymałość materiałów”. Warszawa: WNT, 2000.
3. Krzysiak Z., Bartnik G., Samociuk W., Łysiak G., Skic A., Dziki D., Plizga K., Rachwał B., Nieoczym A. „Modelowanie urządzenia czyszczącego w programie Inventor”. *Mechanik*. 3 (2016): s. 222–223.
4. Nieoczym A., Krzysiak Z., Samociuk W. „Modernizacja maszyn używanych w gospodarstwie rolnym”. *Komputerowo wspomaganie projektowanie maszyn. Cz. 1*. Red. J. Jonak. Lublin: Politechnika Lubelska, 2016, s. 54–72.