

IMPLEMENTACJA MODELU MATEMATYCZNEGO OBCIĄŻEŃ DLA ZESTAWU TRANSPORTOWEGO DO PRZEWOZU ZWIERZĄT HODOWLANYCH

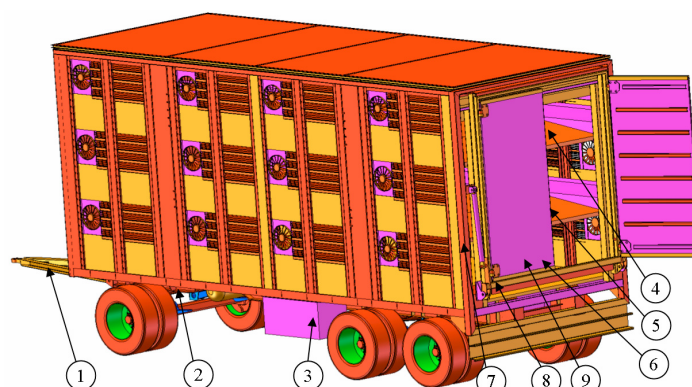
Jan Szczepaniak, Radosław Karbowski
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

Streszczenie. W artykule zaprezentowano model matematyczny zestawu transportowego. Przedstawiono opis modelowania obciążeń pochodzących od transportu zwierząt. Opisano dwa płaskie modele analityczne oraz model MES uwzględniający przewidywane przemieszczanie się zwierząt podczas transportu. W szczególności skupiono się na przedstawieniu implementacji obciążeń dla przypadku jazdy na łuku drogi.

Słowa kluczowe: modelowanie, konstrukcja, transport zwierząt, MES, obciążenia

Wprowadzenie

Na terenie całej Unii Europejskiej (EU) wprowadzono 5 stycznia 2007 jednolite przepisy dotyczące transportu żywych zwierząt [Rozporządzenie Rady 2004]. Zadaniem tych przepisów jest m.in. regulacja poziomu ochrony zwierząt w transporcie kołowym, kolejowym, morskim oraz lotniczym. Z treści Rozporządzenia wynika, że transport żywych zwierząt



1 – dyszel, 2 – wózek obrotowy, 3 – elementy układu hydraulicznego, 4 – górny poziomy, 5 – środkowy poziomy, 6 – dolna podłoga, 7 – siłownik trapu, 8 – trap, 9 – drzwi mocowane do ramy trapu

Rys. 1. Model CAD 3D przyczepy [Praca zbiorowa 2008a]
Fig. 1. CAD 3D model of the trailer [Praca zbiorowa 2008a]

szlakami powietrznymi, kolejowymi, wodnymi, może odbywać się tylko z zastosowaniem specjalnych środków transportu. W związku z tym, wystąpiła potrzeba zaprojektowania i wdrożenia specjalistycznego zestawu transportowego spełniającego powyższe wymagania.

Treścią artykułu jest sposób modelowania wybranego przypadku obciążenia zestawu transportowego dla potrzeb obliczeń inżynierskich konstrukcji i budowy prototypu zestawu.

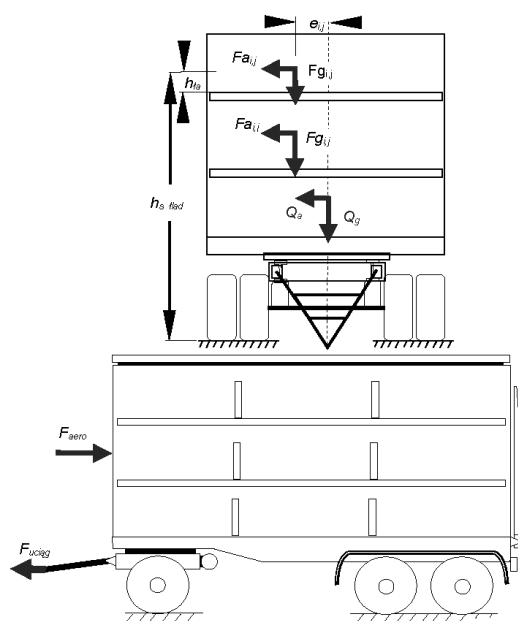
Model matematyczny obciążenia dla jazdy po łuku – obliczenia analityczne

Projektowany zestaw transportowy składa się ze specjalnej trypoziomowej przyczepy wyposażonej w niezbędne urządzenia fitosanitarne. Każdy poziom podzielony jest na niezależne boksy, co ogranicza możliwość samoczynnego przemieszczania się zwierząt.

Konstrukcję nośną przyczepy stanowią dwie podłużnice, które w przedniej części połączone są z wózkiem obrotowy. Natomiast w tylnej części ramy zamocowano układ dwóch zespołów osi jezdnych.

Na podłużnicach spoczywa szkielet nadwozia wykonany z pionowych i poziomych belek tworząc kratownicę. Bezpośrednio na poprzeczkach dolnych elementów kratownicy wspierają się panele dolnego poziomu. Natomiast pozostałe dwa poziomy są poziomami ruchomymi, które mogą być przemieszczane w prowadnicach zamocowanych w pionowych słupach ścian bocznych szkieletu. Ich położenie realizowane jest za pomocą układu hydraulicznego.

Dla przypadku jazdy po łuku, obciążenie zewnętrzne stanowi ciężar ładunku $\sum Fg_{ij}$ (rys. 2).



Rys. 2. Siły zewnętrzne dla jazdy po łuku drogi [Praca zbiorowa 2008a]

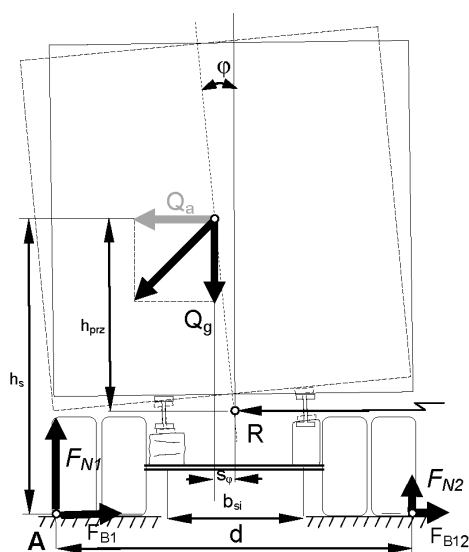
Fig. 2. Exterior forces for run on turn of roads [Praca zbiorowa 2008a]

Jest to suma ciężaru ładunku z poszczególnych boksów. Indeks i oznacza numer poziomu podłogi a indeks j oznacza numer boksu na danym poziomie. Ponadto uwzględniono ciężar własny konstrukcji Q_g , siłę ośrodkową pochodzącą od sumy ładunków $\sum Fa_{i,j}$ oraz siłę ośrodkową od konstrukcji Q_a . Uwzględniono też siłę uciągu $F_{uciąg}$ na dyszlu i siłę oporu aerodynamicznego F_{aero} . Należy podkreślić, że poruszanie się zwierząt podczas transportu powoduje samoczynne przemieszczanie się środka ciężkości ładunku. Wielkość przemieszczenia środka ciężkości ładunków względem osi płaszczyzny symetrii przyczepy oznaczono parametrem e_{ij} .

Dla sprawdzenia poprawności działania modelu przyjęto, że zawieszenie nadwozia jest sztywne oraz, że parametry e_{ij} i F_{aero} są równe zero.

Na rys. 3 przedstawiono schematycznie model zestawu transportowego z uwzględnieniem przechyłu nadwozia. Na modelu tym, wyznaczono m.in. siły boczne oraz bezwładność przyczepy z ładunkiem ($\sum Fa_{i,j}$ i Q_a), a także wartości reakcji na kołach dociążanych $FN1$ i odciążanych $FN2$.

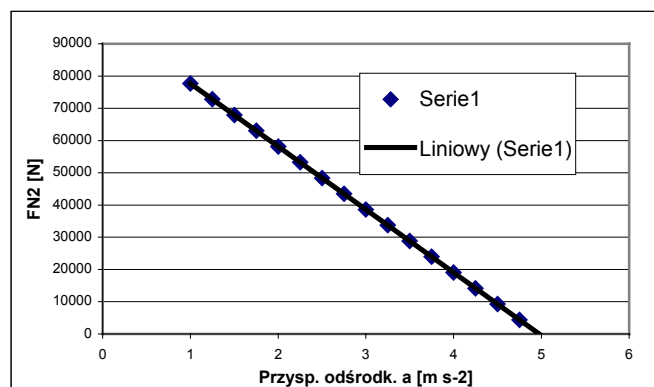
Analityczne obliczenia reakcji przeprowadzono dla wszystkich możliwych konfiguracji rozmieszczenia ładunku [Praca zbiorowa 2008a]. Z obliczeń tych wynika, że najbardziej niekorzystnym przypadkiem rozmieszczenia ładunku jest przypadek z wypełnionymi wszystkimi boksami. Wówczas, dla jazdy na łuku uzyskuje się najmniejsze wartości reakcji na kołach odciążanych $FN2$.



Rys. 3. Płaski model przyczepy z uwzględnieniem przechyłu nadwozia [Praca zbiorowa 2008a]
 Fig. 3. Two-dimensional model of trailer with body rotation [Praca zbiorowa 2008a]

Obliczenia te wykonano dla różnych wartości przyspieszenia odśrodkowego. Na wykresie (rys. 4) przedstawiono zmianę wartości reakcji $FN2$ dla koła odciążanego w funkcji zmiany przyspieszenia odśrodkowego. Z wykresu wynika, że przekroczenie wartości przy-

spieszenia odśrodkowego $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ skutkuje ujemnymi wartościami siły $FN2$. Dochodzi wówczas do utraty kontaktu koła odciążanego z gruntem, a tym samym utraty stateczności globalnej.



Rys. 4. Zmiana wartości reakcji $FN2$ dla koła odciążanego w funkcji przyspieszenia odśrodkowego [Praca zbiorowa 2008a]

Fig. 4. Changes of reaction value $FN2$ (min value) lighten wheel versus acceleration [Praca zbiorowa 2008a]

Próbując rozwinąć model analityczny, w pierwszej kolejności należałoby uwzględnić przechyl nadwozia. Sam wpływ ugięcia opon na przechyl boczny można pominąć [Prochowski 2005], natomiast istotny jest przechyl powodowany ugięciem elementów zawieszenia. Zależność (1) przyjęty z [Prochowski 2005], określa maksymalną prędkość na płaskiej nawierzchni łuku drogi. Zależność ta uwzględnia podatne zawieszenie przez wprowadzenie współczynnika k – sztywności zawieszenia. Przykładowe wartości współczynnika k do obliczeń można przyjąć na podstawie [Land Transport 2002].

$$v_{gr} = \sqrt{dgR \frac{k - Q_g h_{prz}}{2h_{prz} (k - Q_g h_{prz}) + 2Q_g h_{prz}^2}} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- k – sztywność zawieszenia [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
 - R – promień łuku po którym porusza się środek ciężkości przyczepy [m],
 - g – przyspieszenie ziemskie [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
- pozostałe oznaczenia jak na rys. 3.

Modele analityczne, zarówno dla zawieszenia sztywnego (rys. 2), jak i podatnego, nie są modelami wystarczającymi do przeprowadzenia obliczeń wytrzymałościowych konstrukcji nośnej. Pokazane wcześniej modele mogą jedynie posłużyć do określenia najbardziej niekorzystnych przypadków obciążeń, oraz pozwolić na weryfikację wyników uzyskanych na modelach dokładnych [Szczepaniak 2008].

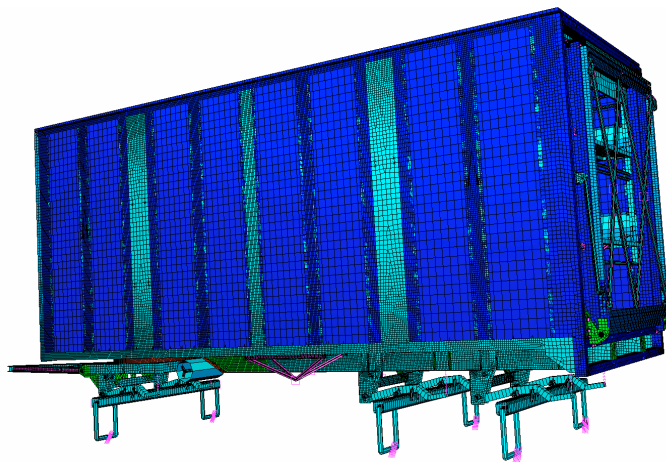
Model, do którego zaimplementowano obciążenia uzyskane na drodze analitycznej, opisano metodą elementów skończonych.

Zastosowany model obliczeniowy przedstawiony na rys. 5 posiada szereg zalet, a w szczególności:

- jest modelem przestrzennym (3D) i w taki sam sposób uwzględnia zagadnienie przemieszczenia, odkształcenia,
- na podstawie odpowiednio zamodelowanych elementów zawieszenia, uwzględniane są zarówno przemieszczenia w elementach zawieszenia, jak również skręcanie osi wynikających ze sztywności skrętnej tych elementów [Karbowski R. 2008].

Niemniej jednak, model ten charakteryzuje się też pewnymi ograniczeniami, a mianowicie:

- relatywnie długi czas otrzymania wyników,
- ograniczona ze względu na czas, możliwość badania wielowariantowości ułożenia ładunku (w badanej przyczepie istnieje możliwość zastosowania 512 przypadków rozmieszczenia zwierząt w boksach),



Rys. 5. Model dyskretny przyczepy – siatka elementów [Praca zbiorowa 2008b]

Fig. 5. Discrete model of trailer – elements mesh [Praca zbiorowa 2008b]

Implementacja obciążeń w modelu obliczeniowym przyczepy

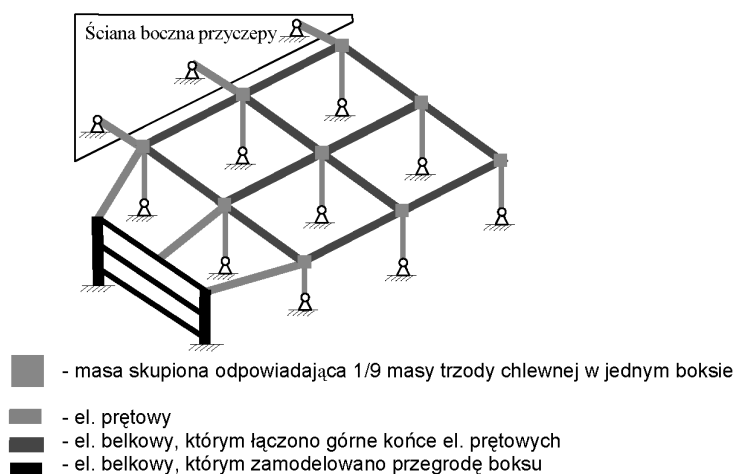
Najważniejsze elementy modelu obliczeniowego, które miały istotny wpływ na otrzymane wyniki (poza samą siatką), to:

- obciążenie, które powinno odpowiadać rzeczywistym wartościom eksploatacyjnym,
- zawieszenie – jego sposób zamodelowania lub brak będzie wpływał na przechyl nadwozia i reakcje na kołach,
- uwzględnienie możliwości przemieszczanie ładunku - należało uwzględnić napór zwierząt na ściany boczne nadwozia podczas pokonywania zakrętów i hamowania.

Masę transportowanych zwierząt i jej rozkład przyjęto na podstawie [Rozporządzenie Rady 2004]. W obliczeniach wytrzymałościowych uwzględniono obciążenia dla różnych gatunków zwierząt hodowlanych, w tym m.in.: świń, bydła i koni.

Masa zwierząt w modelu obliczeniowym została zamodelowana w postaci mas skupionych uwzględnieniem momentów bezwładności. Całkowity ładunek zwierząt znajdujących się w jednym boksie został zamodelowany w postaci dziewięciu elementów mas skupionych (każdej przypisano 1/9 masy zwierząt w boksie). Masy te umieszczono (rys. 6) na wysokości odpowiadającej środkowi ciężkości zwierząt (dla trzody wynosił 450 mm).

Dzięki takiemu sposobowi zamodelowania ładunku możliwe było uwzględnienie oddziaływania ładunku na ścianę boczną oraz naporu na barierę boksu.



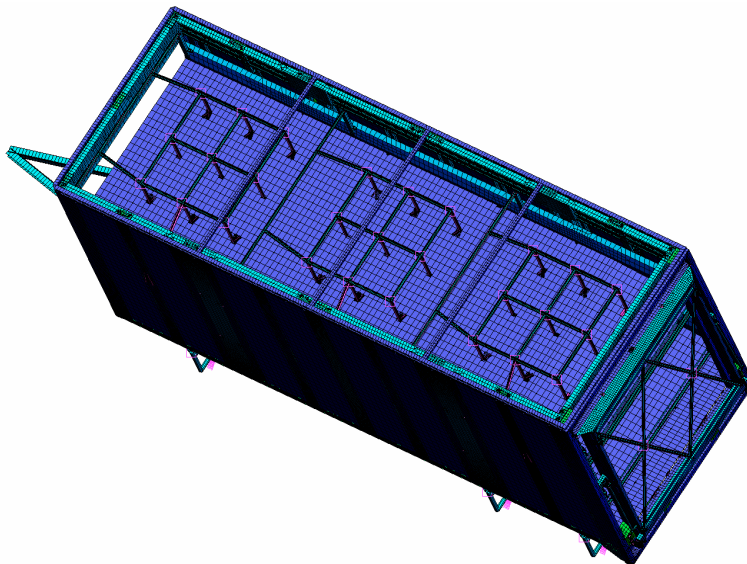
Rys. 6. Sposób zamodelowania ładunku w boksie [Praca zbiorowa 2008b]

Fig. 6. The way of animals' mass modeled in box [Praca zbiorowa 2008b]

Zarówno dla przypadku jazdy po łuku jak i pozostałych przypadków, część składowych obciążenia w modelu obliczeniowym wyznaczana była automatycznie przez system komputerowy. Były to: ciężar własny konstrukcji, ciężar ładunku, siła bezwładności podczas hamowania. Wyznaczane one były na podstawie zdefiniowanych wektorów przyspieszeń i mas zamodelowanych elementów skończonych [Zienkiewicz, Taylor 2005]. Natomiast pozostałe obciążenia, w tym siła uciągu, została wprowadzona na podstawie uzyskanych obliczeń analitycznych.

Dla jazdy po łuku drogi przyspieszenia odśrodkowe dla maksymalnych dopuszczalnych prędkości ustalono na podstawie [Rozporządzenie Ministra 1999], gdzie w zależności od wyprofilowania łuku drogi, podaje się maksymalne i projektowe prędkości, z jakimi mogą poruszać się pojazdy.

Na rys. 7 przedstawiono widok modelu obliczeniowego dla zestawu transportowego ze schematycznie rozmieszczonymi boksami.



Rys. 7. Widok na górny pokład modelu obliczeniowego [Praca zbiorowa 2008b]
Fig. 7. View on upper floor of calculating model [Praca zbiorowa 2008b]

Podsumowanie

1. Obliczenia na modelach wirtualnych miały na celu wyznaczenie własności funkcjonalnych projektowanego urządzenia już na etapie projektowania. Pozwoliły na wielowariantowe prowadzenie analiz poprawności przyjętych założeń do budowy prototypu.
2. Obliczenia analityczne przyczepy pozwoliły na wyznaczenie parametrów obciążeń niezbędnych do ich implementacji w modelu obliczeniowym.
3. Wyniki obliczeń i uzyskane parametry inżynierskie konstrukcji w odniesieniu do tych modeli, w tym dla przypadku jazdy po łuku przedstawione zostaną w oddzielnym artykule.

Bibliografia

- Karbowski R. 2008.** Wybrane zagadnienia dotyczące opracowania modelu obliczeniowego (mes) naczepy siodłowej wyposażonej w system osi sterowanej. *Journal of Research and Application in Agriculture Engineering*. Vol.53 (2). s. 26-30.
- Land Transport Rule 2002.** Vehicle Dimensions and Mass 2002 Rule 41001, Ministerstwo Transportu Nowej Zelandii. Nowa Zelandia. [Dostęp 15.01.2009]. Dostępne w Internecie <http://www.landtransport.govt.nz/rules/vehicle-dimensions-and-mass-2002.html>.
- Prochowski L. 2005.** *Mechanika Ruchu*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. ISBN 978-83-206-1701-6.

- Szczepaniak J. 2008.** Współczesne narzędzia wspomagające projektowanie maszyn rolniczych. Technika Rolnicza Ogrodnicza i Leśna. Nr 1. s. 20-24.
- Zienkiewicz O. C., Taylor R. L. 2005.** The Finite Element Method For Solid And Structural Mechanics, Butterworth-Heineman. s. 440-450.
- Praca zbiorowa 2008a.** Zestaw transportowy gwarantujący zachowanie dobrostanu żywych zwierząt (trzody chlewnej) podczas transportu. Zad. 2, Zad. 3. PIMR. Poznań Nr 437. Maszynopis.
- Praca zbiorowa 2008b.** Zestaw transportowy gwarantujący zachowanie dobrostanu żywych zwierząt (trzody chlewnej) podczas transportu. Zad. 4, Zad. 6. PIMR. Poznań Nr 443. Maszynopis.
- Rozporządzenie Ministra** Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, Dz. U. z dnia 14 maja 1999 r.).
- Rozporządzenie Rady** (WE) NR1/2005 z dnia 22 grudnia 2004 r.

Praca związana z realizacją projektu pn.: „Zestaw transportowy gwarantujący zachowanie dobrostanu żywych zwierząt (trzody chlewnej) podczas transportu”, dofinansowywana na podstawie umowy nr II-196/P-230/2008.

IMPLEMENTATION OF MATHEMATICAL MODEL OF LOADS FOR TRAILER USED IN LIVESTOCK ANIMAL TRANSPORT

Abstract. Mathematical models of loads implementation for trailer system of animals transport is presented in the paper. Also description of modelling of loads caused by transported animals is presented in the article. Two 2D analytical and FEM models are presented. The FEM model takes into account possible animal movement during a transport. The loads for the run on road turn were especially analyzed.

Key words: modelling, structures, animal transport, FEM, loads

Adres do korespondencji:

Jan Szczepaniak; e-mail: janek@pimr.poznan.pl
Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu
ul. Starołęcka 31
60-963 Poznań