

# Badania układu jezdnego przedprototypu pojazdu gąsienicowego

Adam P. Dubowski, Krzysztof Zembrowski, Radosław Karbowski, Wojciech Spychała, Aleksander Rakowicz, Sylwester Weymann

W ramach projektu rozwojowego WND-POIG.01.03.01-00-164/09 opracowano modele wirtualne oraz zbudowano model rzeczywisty przedprototypu pływającego pojazdu gąsienicowego (PPG) przystosowany do poruszania się po terenach wodno-błotnych. Wyniki badań modeli wirtualnych, między innymi układu jezdnego przedprototypu PPG, posłużą do opracowania nowych modułów gąsienicowych oraz innych podzespołów dla prototypu pojazdu członowego, który będzie przystosowany do koszenia traw, trzciny, zbierania i ładowania ściętej biomasy oraz jej tymczasowego składowania lub wywozu z terenu chronionego np. Parku Narodowego lub obszaru Natura 2000. Nowe pojazdy powinny zastąpić ratraki, których gąsienice powodują zniszczenia chronionego terenu a ich stan techniczny stanowi zagrożenie dla środowiska przyrodniczego.

**Słowa kluczowe:** pojazd, gąsienicowy, układ, jezdny, model, wirtualny, badania, symulacyjne, gąsienice, wahacze, naciśki, ochrona środowiska

## Wstęp

W ramach projektu rozwojowego WND-POIG.01.03.01-00-16/09 [1] opracowano przedprototyp pływającego pojazdu gąsienicowego (PPG) [2] dla terenów wodno-błotnych. Przedprototyp PPG służy do sprawdzenia prawidłowości rozwiązań i działania nowych podzespołów oraz do oceny ich funkcjonalności. Badania te są bardzo istotne, bowiem tak przetestowane podzespoły i wyniki ich badań będą wykorzystane w budowie prototypu pływającego gąsienicowego pojazdu członowego, na którym będą zamontowane narzędzia przeznaczone do koszenia traw, trzciny, zbierania i ładowania ściętej biomasy oraz jej tymczasowego składowania lub wywozu z terenu chronionego np. Parku Narodowego lub obszaru Natura 2000. Nowe pojazdy mają zastąpić ratraki przystosowane przez rolników do koszenia traw, które jednak powodują znaczne szkody w środowisku przyrodniczym [3].

Przedprototyp PPG zbudowany jest z ramy, nadwozia oraz układu jezdnego składającego się z dwóch zespołów gąsienicowych - każdy oparty na trzech wahaczach typu tandem obejmuje sześć kół bezdętkowych, po dwa na każdy wahacz oraz stalowe koło napędowe. W celu oszacowania wielkości nacisków na podłoże podczas poruszania się PPG przeprowadzono badania, w których symulowano przejazd układu jezdnego po torze przeszkód.

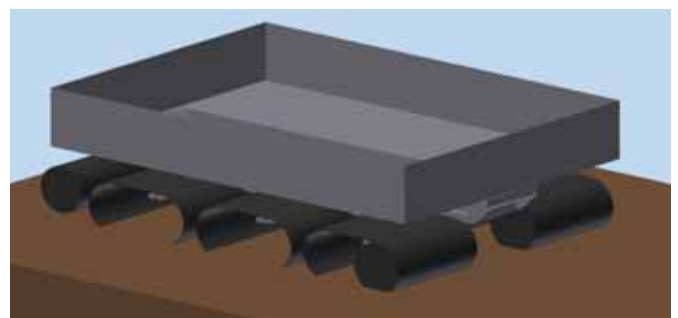
## 1. Badania symulacyjne modelu wirtualnego przedprototypu

### 1.1. Budowa modelu obliczeniowego

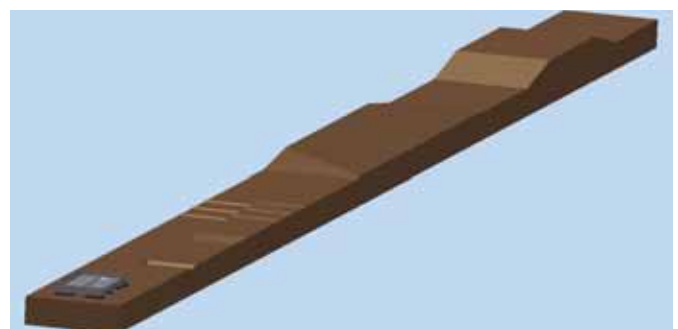
W programie Autodesk Inventor 2010 [4] został utworzony wirtualny model pojazdu i jego układ gąsienicowy. Zastosowane oprogramowanie pozwala jedynie na wykorzystanie brył sztywnych do budowania modelu obliczeniowego, co niesie ze sobą pewne ograniczenia. Zdecydowano się, zatem na zamodelowanie zamiast dwóch - sześciu krótkich gąsienic. Po jednej na tandemowy układ jezdny, co pozwoliło na zachowanie charakteru pracy układu zawieszenia - kopiowanie nierówności terenu. Dodatkowo zamodelowano dwa walce w miejscu kół napędowych. Szerokość zamodelowanych w ten

sposób gąsienic odpowiadała szerokości projektowanej gąsienicy i wynosiła 1100 mm. Wirtualny model przedprototypu pojazdu gąsienicowego pokazano na rysunku 1.

Do połączenia wahaczy z ramą pojazdu, oraz kół z wahaczami wykorzystano wiązania obrotowe. Gąsienice powiązane z gruntem za pomocą wiązania typu kontakt 3D. Oraz koła z gąsienicą związane kontaktem 3D. Po wprowadzeniu parametrów sztywności i tłumienia odpowiadającym parametrom współpracy koło-gąsienica oraz gąsienica - grunt w wyniku symulacji otrzymano wielkości reakcji oraz wyznaczono wartości sił oddziaływania kół na gąsienice a pośrednio gąsienicy na podłoże.



Rys. 1. Model wirtualny układu jezdnego PPG



Rys. 2. Wirtualny tor przeszkód dla układu jezdnego PPG

## 1.2. Wirtualny model toru przeszkód dla układów jezdnych PPG

W celu przebadania wirtualnego modelu PPG zaprojektowano i zbudowano dla niego specjalny wirtualny model toru przeszkód (rys. 2). Tor składa się z przeszkód poprzecznych, a także z pochylni wzdłużnych i poprzecznych. Przeszkody poprzeczne stanowiły jednostronne bruzdy i garby oraz garby dwustronne asymetryczne. Dodatkowo na trasie przejazdu pojazdu wirtualnego modelu PPG umieszczono pochylnie do sprawdzania stateczności. Pochylnia wzdłużna jest usytuowana pod kątem  $10^\circ$  względem trasy bazowej, natomiast pochylnia poprzeczna pod kątem  $30^\circ$ .

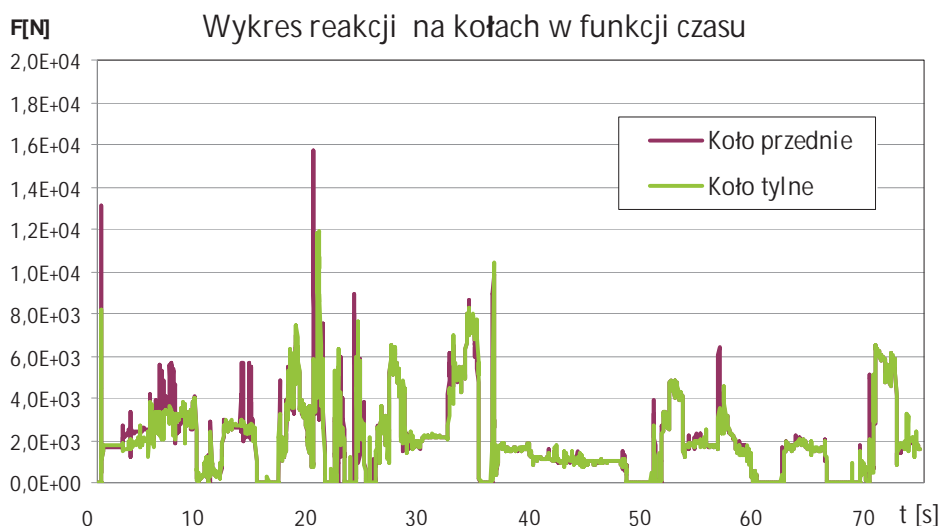
Zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi dotyczącymi bezpieczeństwa pracy jednym z podstawowych kryteriów jest warunek stateczności pojazdu podczas jazdy i postoju na utwardzonym podłożu. Maksymalny kąt pochylenia w dowolnym kierunku, dla którego wymagane jest zachowanie stateczności, wynosi  $8,5^\circ$ . W trakcie przejazdu wirtualny model PPG rozwijał prędkość 3 km/h, co odpowiada zakładanej prędkości roboczej pojazdów gąsienicowych w terenie wodno-błotnym, które przystosowane będą do prowadzenia zabiegów ochronnych takich jak koszenie traw, trzciny, usuwanie zakrzaczeń itp.

## 1.3. Wyniki badań z przejazdu PPG po torze przeszkód

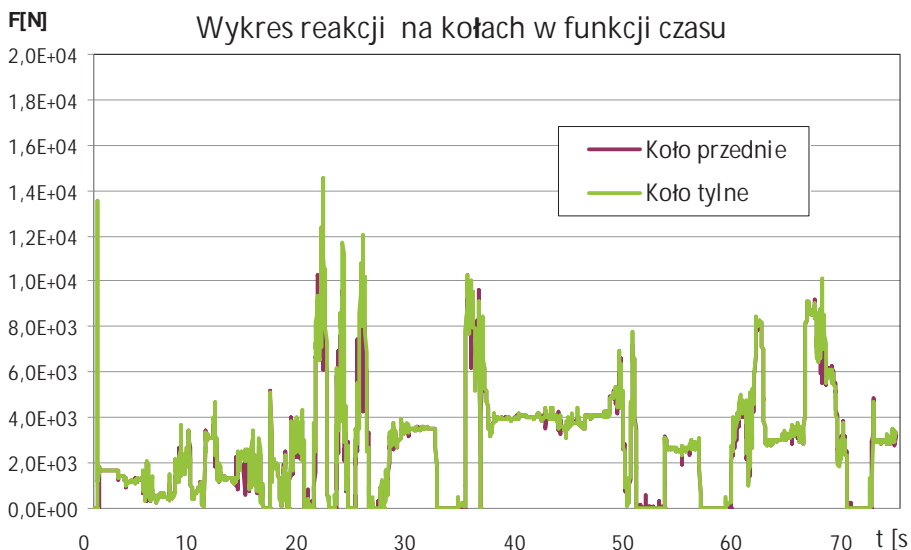
W wyniku przeprowadzonej symulacji oszacowano między innymi naciski wybranych części układu jezdny na podłoże, wartości reakcji kół na sworznie wahaczy oraz wartość reakcji w miejscu mocowania wahaczy do ramy pojazdu. Wybrane przebiegi reakcji kół na podłożu przedstawiono na rys. 3-6.

Na wykresach przedstawiono wyłącznie reakcje dla kół znajdujących się na lewej stronie pojazdu, ale zestawiając ze sobą wszystkie wykresy również dla prawej strony należy stwierdzić, że na płaskim podłożu układ jezdny w sposób równomierny przenosi naciski wynikające z ciężaru maszyny. Przejazd pojazdu na płaskim podłożu odbywał się pomiędzy 0,5 do 4 s. Przebieg reakcji na podłożu sąsiadujących ze sobą kół na wspólnym wahaczu (rys. 3, 4 i 5) pozwala stwierdzić poprawne zamodelowanie układu gąsienicowego. Przebiegi sił nacisków kompensują się nawzajem, co pozwala stwierdzić prawidłową współpracę poszczególnych elementów układu gąsienicowego.

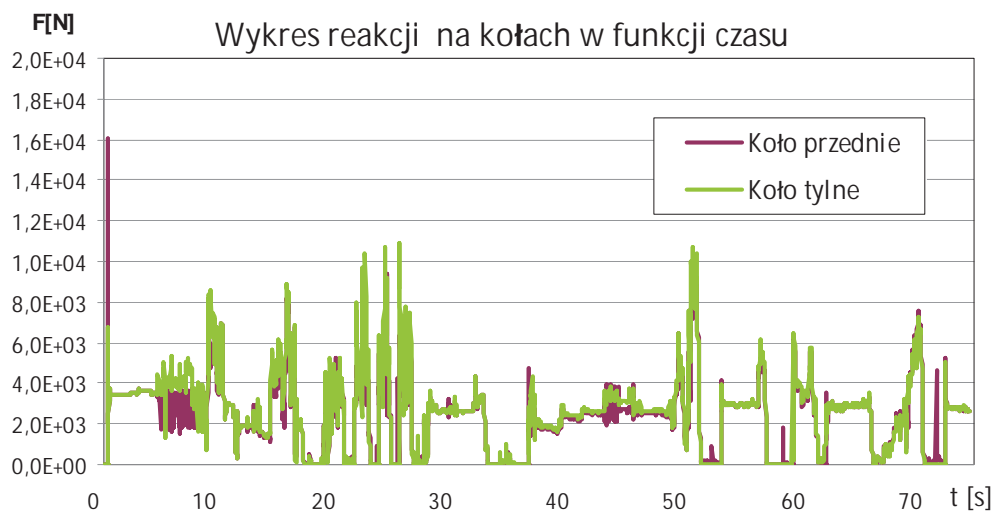
Znaczne zaburzenia w przebiegach wykresów reakcji obserwuje się w trakcie pokonywania przeszkód poprzecznych (20-30 s, rys. 3, 4 i 5), co związane jest z dynamiką układu zawieszenia. Należy nadmienić, że w układzie zawieszenia



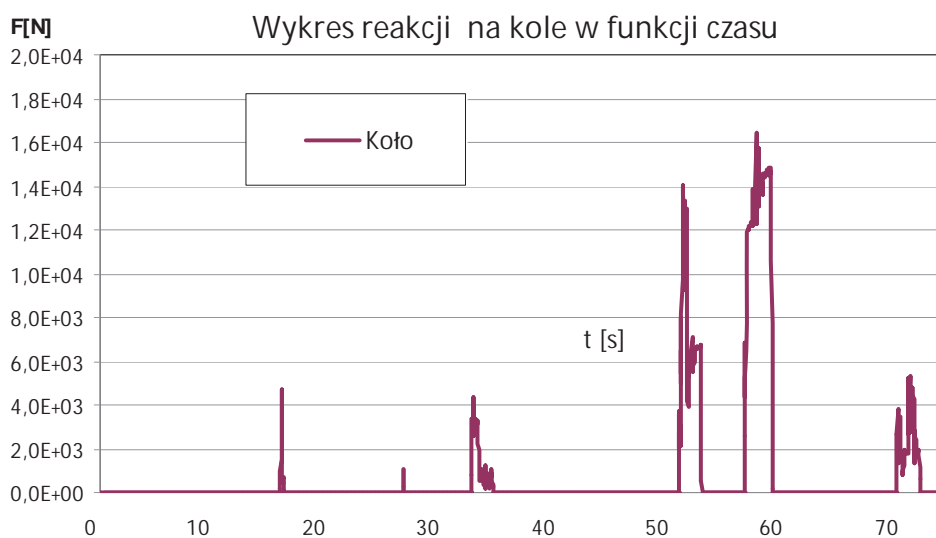
Rys. 3. Reakcje kół lewego przedniego tandemu na podłożu



Rys. 4. Reakcje kół lewego środkowego tandemu na podłożu



Rys. 5. Reakcje kół tandemu lewego tylnego na podłoże



Rys. 6. Reakcja lewego koła napędowego na podłoże

poza kołami nie ma żadnych innych elementów podatnych, które by w wydatny sposób mogłyby przyczynić się do wytłumienia drgań. Szczytowe wartości reakcji na kołach podczas przejazdu po nierównościach dochodzą do poziomu 1,2 kN na, koło co stanowi sześciokrotną wartość reakcji statycznej koła na podłoże.

Na rysunku 6 przedstawiony jest przebieg reakcji lewego koła napędowego. Koło napędowe znajduje się w tylnej części układu napędowego i umiejscowione jest około 100 mm od powierzchni kontaktu gąsienic z podłożem. Obserwując wykres widać, że koło napędowe kilkakrotnie ma bezpośredni kontakt z podłożem. Pomiędzy 50 do 60 s dochodzi do dwukrotnego znacznego przyrostu reakcji. Jednocześnie w tym samym czasie kontakt z podłożem traci koło środkowe i tylnego lewego tandemu (rys. 3, 4 i 5). Sytuacja, w której kontakt z przeszkodami ma koło napędowe powoduje znaczne przeciążenie łożyskowania tego elementu, wartości reakcji oddziaływania na grunt wzrastają do poziomu 1,6 kN.

Podczas całego przejazdu nie zaobserwowano jednoczesnego oderwania się wszystkich kół znajdujących się po jednej ze stron pojazdu. Na wszystkich prezentowanych wykresach a dotyczących reakcji kół w początkowej fazie wykresów widoczne jest charakterystyczne zaburzenie, które wynika z

tego, że w momencie startu obliczeń model znajduje się w położeniu nierównowagi statycznej. Analiza otrzymanych w wyniku obliczeń komputerowych wykresów pozwala ocenić wpływ masy na rozkład nacisków, wpływ warunków jazdy i własności modelu na wystąpienie obciążeń poszczególnych elementów konstrukcji, co pozwoli oszacować poziom naprężeń w tychże elementach. Dane uzyskane z badań symulacyjnych pozwalają stwierdzić, że wirtualny model PPG posiada dobre własności trakcyjne podczas przejazdów po nierównościach.

Wyniki badań symulacyjnych wirtualnych modeli przedprototypu PPG jak i wyniki badań terenowych jego rzeczywistego modelu posłużą do opracowania nowych konstrukcji modułów gąsienicowych dla prototypu zestawu pojazdów PPG złożonego z ciągnika i modułu transportowego.

## Wnioski

1. Badania symulacyjne wykazały prawidłowość zaprojektowania układu jezdnego przedprototypu pojazdu gąsienicowego.
2. Badania te pozwalają stwierdzić, że model rzeczywisty powinien cechować się dobrymi właściwościami trakcyjnymi,

- a przy jeździe na wprost - nie powinien powodować destrukcji podłoża chronionego terenu wodno-błotnego.
3. Na podstawie badań symulacyjnych przedprototypu pływającego pojazdu gąsienicowego zostaną opracowane moduły gąsienicowe dla prototypu zestawu pojazdów ciągnik-moduł transportowy.

## Bibliografia

1. Projekt rozwojowy WND-POIG.01.03.01-00-164/09 pt.: *Zintegrowana technologia ochrony obszarów wodno-błotnych przed sukcesją roślinności powodującej degradację środowiska przyrodniczego*. Zleceniodawca projektu: Ośrodek Przetwarzania Informacji, Warszawa.
2. Dubowski A. P., Zienowicz Z., Zembrowski K., Weymann S., Karbowski R., Rakowicz A., Wojniłowicz Ł., Spychała W., *Przedprototyp badawczy pływającego pojazdu gąsienicowego*. IX Konferencja Naukowo-Techniczna Logistyka, Systemy transportowe, Bezpieczeństwo w transporcie. LogiTrans, Szczyrk, CD Logistyka 2012, nr 3.
3. Dubowski A. P., Zembrowski K., Weymann S., Karbowski R., Rakowicz A., Potrykowska A., Wojniłowicz Ł., *New method for biomass bales coupling and rolling them on boggy terrain, especially in National Parks and Natura 2000 protected areas*. (C 2137), Agriculture & Engineering for healthier life – International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-Ageng2012, Walencja, Hiszpania.
4. Autodesk Inventor – <http://www.autodesk.pl/adsk/servlet/pc/index?siteID=553660&id=14578074>.

## Running gear tests of crawler type vehicle preprototype

---

*In the framework of the project development of the WND-POIG. 01.03.01-00-164/09 developed virtual models and built a real model of amphibian crawler type preprototype of the vehicle, equipped to work in wetlands. Results of research tests of these models will serve to develop new track modules and other parts for a prototype vehicle unit which will be adapted to mowing the grass, reed, biomass collection from ground, transportation of biomass to temporary storages outside of protected areas of national parks or areas Natura 2000. New vehicles should replace ratraks (used in snow grooming), which tracks cause destruction of protected land and their technical condition represents a danger for the environment.*

---

**Key words:** vehicle, crawler, chassis system, virtual model, simulation tests, track, rocking arm, load, environmental protection.

### Autorzy:

dr inż. **Adam P. Dubowski** – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

dr inż. **Krzysztof Zembrowski** – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

mgr inż. **Radosław Karbowski** – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

mgr inż. **Wojciech Spychała** - Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

mgr inż. **Aleksander Rakowicz** – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu

mgr inż. **Sylwester Weymann** – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu