

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

### Badania symulacyjne gąsienicowego układu jezdnego pojazdu wojskowego

Zdzisław Hryciów

Zakład Inżynierii Pojazdów i Transportu, Instytut Pojazdów i Transportu,  
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: zdzislaw.hryciow@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia użytkowania gąsienicowych wozów bojowych. Ze względu na dużą prędkość ich poruszania się, a także charakter terenu i pokonywanych przeszkód, siły w taśmach gąsienic osiągają znaczne wartości. Celem pracy było określenie wartości sił dynamicznych działających na gąsienicowy układ jezdny podczas pokonywania wybranych przeszkód terenowych. W tym celu opracowano przestrzenny model numeryczny pojazdu WDSz. Z jego wykorzystaniem przeprowadzono badania symulacyjne obejmujące pokonywanie typowych przeszkód terenowych. We wszystkich testach podłoże było traktowane jako sztywne, a wzajemną interakcję pomiędzy poszczególnymi elementami układu zapewniło zdefiniowanie warunków kontaktu. Największe wartości sił w gąsienicach (dochodzące do 100 kN) zarejestrowano podczas symulacji skrętu z promieniem B/2. Przy użyciu opracowanego modelu możliwe jest prowadzenie zaawansowanych symulacji uwzględniających układ napędowy – w tym hybrydowy.

**SŁOWA KLUCZOWE:** gąsienicowy układ jezdny, gąsienica przegubowa, przeszkody terenowe, obciążenia dynamiczne

#### 1. Wstęp

Gąsienicowe pojazdy wojskowe przeznaczone są do użytkowania w szerokim spektrum warunków terenowych i klimatycznych (np. bezdroża, tereny podmokłe, pokryte śniegiem) oraz pokonywania przeszkód naturalnych i sztucznych [1]. Istnieją oczywiste różnice w budowie pojazdów gąsienicowych wykorzystywanych do celów komercyjnych i do celów wojskowych [2]. Pojazdy wojskowe poruszają się szybciej (do około 70 km/h), często skręcają i regularnie poruszają się po drogach publicznych. Aby chronić drogi przed uszkodzeniem, gąsienice wyposażone są w gumowe nakładki, a ogniwa spinane są za pomocą elastycznych łączników. Są one również niezbędne do zmniejszenia zużycia i poziomu hałasu [3].

Podczas poruszania się po nierównych nawierzchniach, taśmy gąsienic poddawane są bardzo dużym impulsowym siłom kontaktowym. Ważną kwestią związaną z użytkowaniem pojazdów gąsienicowych jest również zjawisko drgań gąsienicy [2, 4-5]. Ma ono zasadnicze znaczenie dla trwałości elementów.

Układ gąsienicowy pojazdu można scharakteryzować za pomocą trzech parametrów: przyczepności gąsienic do podłoża, oporu jazdy i średniego nacisku na podłoże. Przyczepność gąsienic do podłoża ma istotny wpływ na zdolność pokonywania przeszkód terenowych.

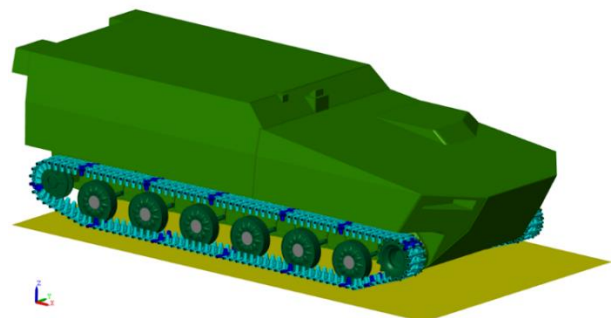
Opór ruchu pojazdu wynika z sumarycznych oporów w układzie napędowym, mechanizmie gąsienicowym, oporu toczenia oraz interakcji gąsienicy z podłożem. W przypadku luźnego gruntu siła oporu toczenia jest określana przez jego ugniatanie i przesuwanie do przodu i na boki. W przypadku gleb plastycznych i błotnistych o dużej wilgotności, oprócz ugniatania, obserwuje się rozrzucanie gleby na boki, a także ścinanie i odrywanie pewnej warstwy gleby, gdy gąsienica wychodzi z kontaktu z podłożem.

W większości prac do analizy układu gąsienicowego wykorzystywane są modele wielobryłowe. Podejście to przedstawiono między innymi w [1, 6-8]. Jego słuszność potwierdzają m.in. prezentowane wyniki walidacji w oparciu o badania poligonowe [2, 6, 9]. Rosnąca moc obliczeniowa i nowe pakiety oprogramowania dają nowe możliwości symulacji ruchu pojazdu gąsienicowego, w tym budowy zaawansowanych modeli gąsienicy i układu napędowego oraz ich integracji w celu prowadzenia sprzężonej symulacji dynamiki pojazdu/układu napędowego [4].

Celem pracy było odwzorowanie współpracy taśmy gąsienicy z podłożem oraz pozostałymi elementami układu jezdnego, a następnie określenie sił dynamicznych podczas wykonywania wybranych manewrów i pokonywania typowych przeszkód terenowych.

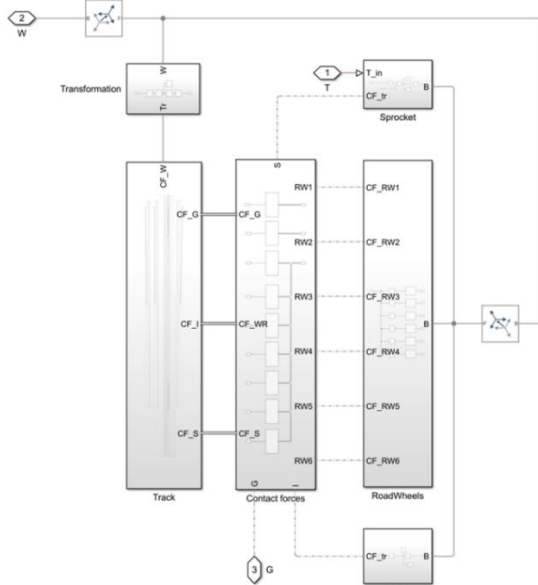
#### 2. Model numeryczny

Na rys. 1 przedstawiono widok pojazdu WDSz wygenerowanego w programie Matlab przy użyciu pakietu SimScape Multibody. Jest to środowisko modelowania trójwymiarowych systemów mechanicznych za pomocą brył sztywnych.



Rys. 1. Model pojazdu gąsienicowego

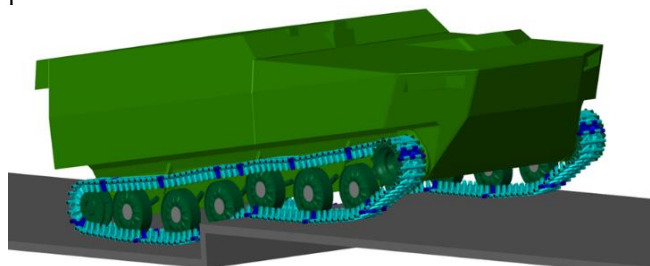
Należy podkreślić, że zastosowana metoda modelowania, w odróżnieniu od modeli MES lub CAD, odbywa się za pomocą łączenia predefiniowanych bloków, dla których określone są wartości charakterystycznych wielkości. Przykład bloku definiującego gąsienicę oraz jej interakcji z podłożem przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy układu gąsienicowego

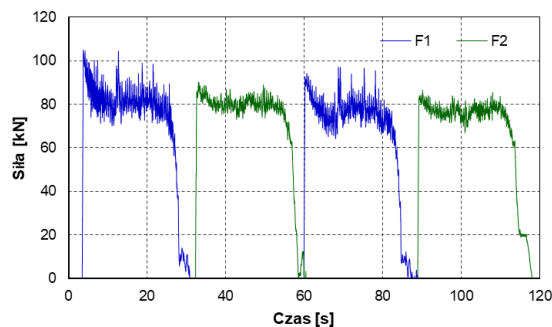
### 3. Wyniki badań

Celem badań numerycznych było określenie wartości sił w taśmie gąsienicy w trakcie pokonywania przeszkód i określenie obciążeń dynamicznych działających na konstrukcję pojazdu. Dodatkowo określono wpływ zmiany współczynnika przyczepności na możliwości pokonywania przeszkód terenowych. Badania numeryczne przeprowadzono dla następujących wariantów: wariant 1 – skręt z promieniem  $B/2$ , wariant 2 – skręt z promieniem  $B$ , wariant 3 – gwałtowne rozpędzanie do prędkości 32 km/h, wariant 4 – pokonywanie skarpy o wysokości 0,4 m, wariant 5 – przejazd przez rów o szerokości 2 m, wariant 6 – podjazd pod wzniesienie o kącie 15 i 30°. We wszystkich wariantach założono, że pojazd porusza się po nieodkształcalnym podłożu.



Rys. 3. Przejazd pojazdu przez skarpy o wysokości

Największe wartości sił zarejestrowano podczas realizacji skrętu z  $R = B/2$  na betonowym podłożu. Na rys. 4 przedstawiono ich przebieg występujący na odcinku napędowym (górnym odcinku taśmy). Wyniki wyprowadzono dla dwóch ogniw przesuniętych o połowę długości taśmy gąsienicy. Pojazd wykonał 2 pełne obroty z prędkością około 7°/s. Gąsienice były przewijane z prędkością około 0,24 m/s. Średnia wartość siły wynosi około 80 kN.



Rys. 4. Zmiany sił w taśmie gąsienicy – skręt z  $R=B/2$

### 4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z modelowaniem gąsienicowych układów jezdnych. Wykazano przydatność pakietu Simulink SimScape Multibody w symulacjach tego typu zagadnień.

Jako obiekt badań wybrano pojazd WDSz, ze względu na dostęp do wyników badań eksperymentalnych służących do walidacji modelu.

Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały, że największe wartości sił w gąsienicach występują podczas realizacji skrętu z promieniem  $B/2$ . Spośród rozważanych wariantów najmniejsze obciążenia wystąpiły podczas przejazdu ze stałą prędkością przez rów.

Nowatorskim elementem pracy jest zastosowanie oprogramowania SimScape Multibody w modelowaniu dynamiki szybkobieżnych pojazdów gąsienicowych. Dzięki integracji z elementami układu przeniesienia napędu i różnego typów silników (również elektrycznych) możliwe jest prowadzenie sprzężonych symulacji ruchu pojazdów – w tym z napędem hybrydowym.

*Praca została sfinansowana przez Wojskową Akademię Techniczną w ramach projektu nr UGB 22-710/2024.*

### Literatura

- [1] Balamurugan S., Srinivasan R., *Tracked Vehicle Performance Evaluation using Multi Body Dynamics*, Defence Science Journal, Vol. 67, No. 4, pp. 476-480, 2017.
- [2] Dhir A., Sankar S., *Ride Dynamics of High-Speed Tracked Vehicles: Simulation with Field Validation*, Vehicle System Dynamics, Vol. 23, No. 1, pp. 379-409, 1994.
- [3] Ryu H. S., Bae D. S., Choi J. H., Shabana A. A., *A compliant track link model for high-speed, high-mobility tracked vehicles*, International Journal for Numerical Methods In Engineering, Vol. 48, No.10, pp. 1481-1502, 2000.
- [4] Assanis D. N. et al., *Modeling and Simulation of an M1 Abrams Tank with Advanced Track Dynamics and Integrated Virtual Diesel Engine*, Journal of Structural Mechanics, Vol. 27, No 4, pp. 453-505, 1999.
- [5] Stanco M., Kosobudzki M., *The Analysis of Suspension Performance of High Speed Tracked Vehicle*. In: Rusiński E., Pietrusiak D, (eds) Proceedings of the 13th International Scientific Conference. RESRB 2016. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, pp. 543-550, 2017.
- [6] Gniłka J., Mężyk A., *Experimental identification and selection of dynamic properties of a high-speed tracked vehicle suspension system*, Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol. 19, No. 1, pp. 108-113, 2017.
- [7] Kciuk S., Mężyk A., *Modelling of tracked vehicle dynamics*. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 17, No. 1, pp. 223-232, 2010.
- [8] Nabaglo T., Kowal J., Jurkiewicz A., *Construction of a Parametrized Tracked Vehicle Model and its Simulation in MSC.ADAMS Program*, Journal of Low Frequency Noise, Vibration And Active Control, Vol. 32, No. 1, pp. 167 – 174, 2013.
- [9] Jothi S., Balamurugan V., Mohan K. M., *Ride Dynamics of a Tracked Vehicle with a Finite Element Vehicle Model*, Defence Science Journal, Vol. 66, No. 1, pp. 19-25, 2016.