

# XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

# TKI2024

## TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15-18 października 2024

### Ocena wpływu rodzaju paliwa na osiągi pojazdu gąsienicowego z napędem hybrydowym

Mirosław Karczewski<sup>1</sup>, Filip Polak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zakład Silników i Inżynierii Eksploatacji, Wojskowa Akademia Techniczna  
email: miroslaw.karczewski@wat.edu.pl

**STRESZCZENIE:** W obecnym czasie w rozwoju wojskowej techniki pancernej i samochodowej można wydzielić dwa zasadnicze problemy techniczno-logistyczne. Pierwszym z nich są problemy związane ze wzrostem zapotrzebowania na paliwo do pojazdów wojskowych. Drugim problemem jest coraz szersze zastosowanie napędów hybrydowych. Problemy te wzajemnie się przenikają co może prowadzić do powstawania w jednoznaczny i jednoczesny spełnieniu wymagań stawianym pojazdom wojskowym w zakresie mobilności i ekonomiczności. Celem prezentowanych badań było określenie na drodze badań eksperymentalnych oraz badań symulacyjnych wpływu mieszanin paliwa lotniczego z paliwami pochodzenia roślinnego na parametry użyteczne silnika o zapłonie samoczynnym zastosowanego w zespole napędowym hybrydowego układu gąsienicowego, który został opracowany w WAT jako rozwiązanie do napędu gąsienicowych wozów bojowych, pojazdów towarzyszących oraz maszyn inżynieryjnych wykorzystujących trakcję gąsienicową. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono istotny wpływ zastosowanego paliwa na osiągi pojazdu z hybrydowy układem napędowym.

**SŁOWA KLUCZOWE:** napęd hybrydowy, silnik spalinowy, zasilanie alternatywne, pojazd gąsienicowy

#### 1. Wprowadzenie

Paliwa płynne pochodzenia kopalnego na dzień dzisiejszy w dalszym ciągu najważniejszym źródłem energii do zasilania silników spalinowych. Paliwa te są również stosowane do środków walki na współczesnym polu walki [1]. W celu zagwarantowania bezpieczeństwa dostaw i złagodzenia efektów globalnego ocieplenia alternatywne źródła energii są coraz częściej wykorzystywane [2]. Doprowadziło to do działań mających na celu opracowywania alternatywy paliw lotniczych, które ciągle się nasilają, w 2018 Komisja Europejska podjęła działania mające na celu przyspieszenie komercjalizacji biopaliw lotniczych [3].

Z punktu widzenia współczesnych konfliktów zbrojnych dostępność paliw w odpowiedniej ilości oraz jakości ma decydujący wpływ na osiągnięcie sukcesu militarnego, który w zasadniczy sposób zależy od ruchliwości wojsk, nasycenia pola walki uzbrojeniem zasadniczym i sprzętem pomocniczym. Zaspokojenie zapotrzebowania walczących wojsk w materiał pędny jest jednym z najistotniejszych współczesnych problemów obecnego pola walki [4]. Kalkuluje się, że średniodobowe potrzeby materiałów pędnych i smarów liczone na jednego żołnierza mogą sięgać od 80 do 150 kg/dobę [5]. Dostarczenie tak dużych ilości paliwa na linię frontu jest problemem niezmiernie skomplikowanym. Na współczesnym polu walki ataki na infrastrukturę krytyczną, w tym paliwową są codziennością, co potwierdza konflikt toczący się na Ukrainie. Dlatego dąży się do ujednolicenia asortymentu paliwa w wojsku, przykładem tego jest wprowadzanie w NATO jednolitego paliwa pola walki F-34 [6]. Pod koniec XX podjęto działania mające na celu ujednolicenie paliwa do silników tłokowych i turbinowych pojazdów mechanicznych oraz samolotów stacjonujących na lądzie. Wprowadzono w życie doktrynę tzw „jednolitego paliwa pola walki”, które oznaczono symbolem F34/35. Paliwa te mają identyczną bazę jak paliwo lotnicze JET-A1, a jego ostateczne właściwości są wynikiem zastosowanych dodatków

wprowadzanych na drodze dystrybucji paliwa - przed dystrybucją paliwa na do zbiornika pojazdu czy samolotu. Upraszcza to logistykę dystrybucji produktów naftowych w wojsku w sposób kluczowy.

Wymagania stawiane układom napędu hybrydowego dedykowanym dla pojazdów wojskowych znacznie różnią się od wymagań cywilnych. Wymagania cywilne skupiają się głównie na spełnieniu obowiązujących norm emisji spalin, zmniejszeniu kosztów eksploatacji, czy na zmniejszaniu opłat i umożliwieniu wjazdu do niektórych stref, np. SCT. Wymagania wojskowe koncentrują się na poprawie właściwości dynamicznych pojazdu poprzez wydajniejsze sterowanie charakterystyką momentu napędowego, co prowadzi do zwiększenia możliwości trakcyjnych pojazdu (jego mobilności a także dzielności terenowej), redukcji zużycia paliwa (w szczególności pod kątem zaopatrzenia logistycznego), większej wytrzymałości czy też możliwości redukcji masy i objętości układu napędowego. Innymi, często nie mniej ważnymi aspektami, są takie czynniki jak redukcja hałasu, ze względu na mniejszą jego emisję przez silniki elektryczne, a także mniejsza emisja promieniowania podczerwonego, która towarzyszy pracy silnika spalinowego.

#### 2. Obiekt badań

Analizując możliwość zastosowania w pojeździe wojskowym hybrydowego układu napędowego, należy uwzględnić jego strukturę, która w głównej mierze będzie bazować na rozwiązaniach spotykanych w pojazdach cywilnych (hybryda szeregową, równoległą, mieszaną) jednak zarówno złożoność konstrukcji (pojazdy 6x6, 8x8 oraz gąsienicowe) oraz inny rodzaj podejścia w zastosowaniu wojskowym, będą charakteryzowały się nieco odmiennymi rozwiązaniami.

W przyjętym do badań rozwiązaniu konstrukcyjnym tłokowy silnik spalinowy wspólnie z generatorem prądu elektrycznego tworzy zespół prądotwórczy/generatorowy, którego zadaniem jest dostarczenie energii elektrycznej do napędu pojazdu i układów zabudowanych w pojeździe – odbiorników energii elektrycznej

oraz do ładowania baterii akumulatorów. Energia elektryczna wytworzona przez generator gromadzona jest w akumulatorze, skąd zasila silniki trakcyjne sterowane falownikami. Zastosowano po jednym silniku elektrycznym na koło napędowe – na stronę pojazdu, co w łatwy sposób umożliwia realizację skrętu burtowego. Każdy silnik elektryczny współpracuje z własnym zespołem przekładniowym

### 3. Wyniki badań

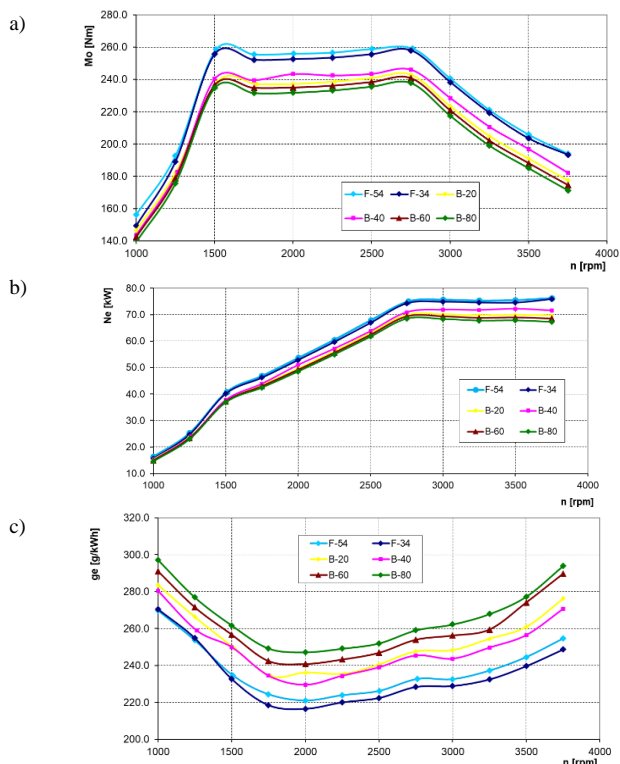
Badania eksperymentalne i modelowe przeprowadzono przy zasilaniu silnika generatora elektrycznego następującymi rodzajami paliwa:

- olejem napędowym F-54,
- paliwem F-34,
- mieszaninami paliwa F-34 i RME.

Mieszaniny oznaczone odpowiednio jako B-20, B-40, B-60 i B-80 gdzie cyfra po literze B oznacza masowy udział RME w mieszaninie.

Ze względu na charakter badań pomiary przeprowadzono metodą eksperymentu biernego. Z praktycznego punktu widzenia, uznano, że najodpowiedniejsze będzie wyznaczenie charakterystyki pełnej mocy – maksymalne położenie organu odpowiedzialnego za sterowanie pracą silnika. Wyznaczone charakterystyki zewnętrzne posłużyły do wykonania badań symulacyjnych hybrydowego układu napędowego

Wyniki badań silnika zasilanego poszczególnymi paliwami przedstawiono w postaci charakterystyk zewnętrznych prędkościowych  $N_e = f(n)$ ,  $M_o = f(n)$ ,  $g_e = f(n)$  i obciążeniowych ze względu na specyficzną pracę tego zestawu.



Rys. 1. Charakterystyki zewnętrzne silnika: a) moment obrotowy, b) moc użyteczna, d) jednostkowe zużycie paliwa dla poszczególnych paliw.

Zastosowanie paliwa F-34 spowodowało nieznaczny spadek  $N_e$  o około 1-2%. Dodanie RME do paliwa F-34 wywołało dalszy spadek mocy o około 7-8%, w zależności od składu mieszaniny (udziału procentowego RME). Przyczyną tego jest zwiększenie gęstości mieszanin paliwa F-34 z RME oraz zmniejszenie jego wartości opałowej proporcjonalnie do zawartości RME. Wtryskiwacze w systemach CR są sterowane (otwierane i zamykane) z wykorzystaniem zjawisk hydraulicznych. Na

przebieg tych zjawisk bardzo silnie wpływają parametry fizyczne paliwa – lepkość, gęstość [7]. Zwiększenie lepkości powoduje zmniejszenie dawki paliwa w wyniku wzrastających oporów przepływu we wtryskiwaczu. Zmniejszenie maksymalnej mocy użytecznej dla paliwa F-34 wynosi około 1%, natomiast zastosowanie mieszaniny paliwa lotniczego z RME powoduje już znaczące zmniejszenie mocy i momentu obrotowego. Zmiany te są wprost proporcjonalne do zawartości RME w paliwie. Dla mieszaniny B-20 wynoszą średnio około 5% natomiast dla B-80 jest to już około 10%. Zjawisko to jest bardzo negatywne ze względu na parametry zespołu prądowórczego – GenSEt, odpowiedzialnego za generowanie odpowiednich ilości energii po zmianie paliwa i możliwości szybkiego doładowania akumulatorów. Wraz ze spadkiem momentu obrotowego czy mocy maksymalnej w pojeździe w z napędem konwencjonalnym pogorszą się wtedy właściwości trakcyjne pojazdu, a w szczególności: zdolność pokonywania wzniesienia na poszczególnych biegach, zmiana wartości prędkości maksymalnej w zależności od kąta pochylenia drogi oraz czas i droga rozpędzania pojazdu [8]. W omawianym rozwiązaniu mamy do czynienia ze zmniejszeniem mocy elektrycznej do zasilania urządzeń elektrycznych pojazdu lub doładowania baterii akumulatorów.

### 4. Podsumowanie

- Przeprowadzone badania wykazały istotny wpływ zastosowanego paliwa na osiągi pojazdu gąsienicowego z hybrydowym układem napędowym.
- Przy zasilaniu czystym paliwem lotniczym odnotowano spadek mocy o około 3%, w przypadku zasilania silnika mieszaninami paliwa lotniczego F-34 z RME spadek ten wynosi 5-10% w zależności od składu mieszaniny.
- W zawiązku ze zmniejszeniem mocy maksymalnej silnika zwiększył się czas pracy generatora, czas niezbędny do naładowania baterii ogniw elektrochemicznych oraz wzrósł czas rozpędzania do pojazdu do poszczególnych prędkości w przypadku rozładowanego akumulatora trakcyjnego, co wykazano na podstawie badań symulacyjnych.
- Jednostkowe zużycie paliwa jest wyższe dla paliwa z dodatkiem estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych, wzrost jest proporcjonalny do zawartości RME w mieszaninie.
- Celowe jest prowadzenie dalszych badań nad zastosowaniem paliw z udziałem RME, gdyż jak obrazują otrzymane wyniki, właściwości takich mieszanin zmieniają się w sposób korzystny.

### Literatura

- [1] Worldwide Fuel Charter. Gasoline and diesel fuel, sixth edition, Worldwide Fuel Charter Committee, 2019.
- [2] U.S. Energy Information Administration | International Energy Outlook 2016 International Energy Outlook: 2016 with Projections To 2040, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>
- [3] Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources.
- [4] Kurasinski Z., supply service support of troops on the tactical level, Systemy Logistyczne Wojsk nr 44/2016
- [5] Petroleum Committee vision on future fuels, NATO Fuels And Lubricants Working Group, 2020.
- [6] Dfcv, Qiren Zhu, Yichen Zong, Wenbin Yu, Wenming Yang, Markus Kraft, Understanding the particulate formation process in the engine fuelled with diesel/Jet A-1 blends, Fuel, Volume 313, 2022, 122675, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122675>.
- [7] Dziubak, T.; Karczewski, M., Experimental Studies of the Effect of Air Filter Pressure Drop on the Composition and Emission Changes of a Compression Ignition Internal Combustion Engine. Energies 2022,15, 4815. <https://doi.org/10.3390/en15134815>
- [8] Karczewski, M.; Wieczorek, M. Assessment of the Impact of Applying a Non-Factory Dual-Fuel (Diesel/Natural Gas) Installation on the Traction Properties