

płk dr hab. inż. Jarosław ZIÓŁKOWSKI, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 46

Warszawa, dnia 18.05.2026 r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Artura KĘPCZYŃSKIEGO
pt. "MODEL WSPOMAGANIA PROCESU DECYZYJNEGO NA POTRZEBY ZAPEWNIENIA ENERGII
DLA SIŁ ZBROJNYCH NA PODSTAWIE ZARZĄDZANIA PALIWEM"

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej FRĄCKOWIAK

Promotor pomocniczy: dr inż. Dariusz ŁUKOWSKI

Recenzja została opracowana na podstawie pisma Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej (pismo nr WISIE.63.2025.24 z dnia 23.03.2026 r.; podstawa: Uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Poznańskiej z dnia 17.03.2026 r.).

1. Uwagi ogólne oraz ocena wyboru tematu rozprawy

Współczesne Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej (SZ RP) przechodzą szeroką transformację. Jest ona podyktowana zarówno trwającą piąty rok agresją Federacji Rosyjskiej na Ukrainę, jak również nieustającym zagrożeniem ze strony Rosji dla Wschodniej Flanki NATO obejmującej terytorialnie również obszar naszego kraju. Masowe używanie dronów w konfliktach zbrojnych (w tym również na Bliskim Wschodzie) całkowicie przemodelowało dotychczasowe założenia operacyjno-taktyczne w odniesieniu do konwencjonalnej wojny. Potencjał SZ RP jest postrzegany wieloaspektowo i w węższym znaczeniu rozumiany jako zdolności bojowe wojsk oraz możliwości ich odtwarzania. Jednym z kluczowych rodzajów zaopatrzenia jest zasilanie energetyczne poprzez zapewnienie odpowiedniej energii zawartej w paliwach płynnych. Szeroko rozumiana gospodarka paliwowa ma bowiem wpływ na zdolność do przemieszczania ludzi oraz sprzętu wojskowego (SpW) i tym samym stanowi niezbędny element służący do zapewnienia mobilności. Dostępność oraz terminowe zaopatrywanie w amunicję, paliwo, wodę i żywność stanowią kluczowe elementy zabezpieczenia logistycznego wpływające na zdolności do prowadzenia działań wojskowych. Mając na uwadze powyższe siły zbrojne poszczególnych krajów przykładają coraz większą wagę do doskonalenia narzędzi analitycznych i prognostycznych umożliwiających analizę i ocenę szybkości zużycia zaopatrzenia oraz systemów jego uzupełniania.

Autor w rozprawie doktorskiej podjął problematykę dotyczącą zapewnienia energii dla potrzeb sił zbrojnych na podstawie zarządzania paliwem. Tematyka jest zgodna z zainteresowaniami i ścieżką zawodową doktoranta, który w trakcie służby wojskowej pełnił obowiązki na stanowiskach związanych z logistyką, wsparciem przez państwo-gospodarza

(j. ang. *Host Nation Support*, HNS) oraz zajmował się bezpieczeństwem energetycznym SZ RP w zakresie:

- sposobów zapewnienia ciągłości zasilania jednostek wojskowych i instytucji w energię oraz metodami jej alternatywnego pozyskiwania (j. ang. *energy harvesting*),
- predykcji zużycia energii (w tym paliw) przez systemy wojskowe,
- prognozowania i monitorowania stanów zapasów w gospodarce paliwowej,
- stosowania metod opartych na sztucznej inteligencji i uczeniu maszynowym w zaopatrywaniu SZ RP;
- planowania wykorzystania zasobów, oceny ryzyka i odporności systemów logistycznych.

Reasumując zagadnienia poruszane w rozprawie doktorskiej wpisują się w doświadczenia zawodowe Autora i są ukierunkowane na zasilanie energią odniesione do gospodarki paliwowej w SZ RP.

Jak pokazuje agresja Federacji Rosyjskiej na Ukrainę współczesne działania wojskowe charakteryzują się znacznym rozproszeniem sił opartym na niewielkich i mobilnych zespołach, połączonym z dynamiką rozumianą jako ciągła zmiana dyslokacji. Wpływa to również na organizację logistyki opartej na systemach małych i częstych dostaw z miejsc gromadzenia zapasów, które również charakteryzuje duży stopień rozproszenia. Sytuacja powyższa utrudnia zdolność do antycypacji stanów krytycznych centralnie i komplikuje monitorowanie oraz raportowanie bieżącego stanu zapasów lokalnie. Znaczenia nabiera zatem kryterium czasu przeznaczanego na analizę i ocenę dostępnych zasobów energii (paliw). Zdolności takie umożliwia automatyzacja procesów decyzyjnych stanowiąca wsparcie w procesie podejmowania decyzji logistycznych. W tym kontekście problematyka dysertacji wpisuje się w aktualne problemy badawcze a sformułowane wnioski i rekomendacje mogą zostać wykorzystane do dalszych badań i służyć jako merytoryczne wsparcie decyzji w obszarze logistyki. Zagadnienia zawarte w rozprawie mają z jednej strony badawczy charakter, a z drugiej praktyczny wymiar, ponieważ modele zostały opracowane na danych pochodzących z rzeczywistych systemów ewidencyjnych, a zatem istnieje możliwość ich zastosowania/wykorzystania do celów wdrożeniowych.

2. Ocena redakcyjna i metodyczna

Zapewnienie energii w formie paliwa płynnego (obok amunicji) stanowi warunek niezbędny do utrzymywania zdolności bojowej wojsk w czasie pokoju (do procesu szkolenia i bieżącej realizacji zadań), ale przede wszystkim w czasie kryzysu i wojny (warunkuje bowiem zdolności do prowadzenia działań wojskowych). Doktorant podjął tematykę dotyczącą opracowania modelu wspomagającego proces decyzyjny służący do zapewnienia energii Siłom Zbrojnym RP na podstawie gospodarki paliwowej. Rozprawę doktorską autorstwa Pana mgr. inż. Artura KĘPCZYŃSKIEGO stanowi cykl powiązanych tematycznie 6-ciu publikacji występujących pod wspólnym tytułem „Model wspomagania procesu decyzyjnego na potrzeby zapewnienia energii dla sił zbrojnych na podstawie zarządzania paliwem”.

Cykl publikacji stanowiący podstawę rozprawy doktorskiej tworzą niżej wymienione pozycje:

[1] Kępczyński A., Application of machine learning in the process of commander decision support in the military fuel distribution system, Archives of Thermo-dynamics, Vol. 46(2025), No. 4, 201–214; DOI: 10.24425/ather.2025.156850

[2] Kępczyński A., Model wspomaganie procesu decyzyjnego na potrzeby zapewnienia energii dla Sił Zbrojnych. Zarządzanie zasobami paliw w SZ, Warszawa: Wydawnictwo ITWL 2024, rozdział w monografii

[3] Prokopowicz W., Kępczyński A., Zastosowanie sieci neuronowych do modelowania procesów decyzyjnych w wojskowym systemie dystrybucji paliw, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024, rozdział w monografii

[4] Łukowski D., Kępczyński A., Transformacja energetyczna – wyzwania dla sił zbrojnych, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024, rozdział w monografii

[5] Kępczyński A., Stępień S., Optymalizacja i wspomaganie AI w logistyce wojskowej, Warszawa: Wydawnictwo ITWL, 2024,

[6] Kępczyński A., Lisowski G., Prokopowicz W., Stępień S., Metody adaptacyjne w logistyce energii wojsk. Zmiany w procesie kształcenia specjalistów służby czołgowo-samochodowej oraz wybrane zagadnienia dotyczące służby pp, 20-28. Warszawa: Wydawnictwo AWiR AKCES SUKCES-SPORT 2023

oraz opracowana i złożona z pozycji [2,3,4,5] monografia pt. „Perspektywy logistyki wojskowej i cywilnej w kontekście zapewnienia odporności Siłom Zbrojnym (konferencja Bydgoszcz) 2024, Tom 1”.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest Pan prof. dr hab. inż. Andrzej FRĄCKOWIAK, natomiast promotorem pomocniczym Pan dr inż. Dariusz ŁUKOWSKI.

Cykl publikacji tworzący rozprawę doktorską stanowią dwie prace autorskie [1,2] i cztery współautorskie, przy czym w trzech z nich [3-5] jest po 2 autorów a w jednej [6] 4 autorów. Cykl został opublikowany w latach 2023-2025. Na podstawie oświadczeń współautorów wynika, że Doktorant posiada znaczny udział merytoryczny w ich opracowaniu (w przypadku współautorstwa udział procentowy został określony równomiernie, a zatem 50% dla 2 autorów -publikacje [3-5] i po 25% dla 4 autorów-publikacja [6]) i zajmował się m.in. pracą koncepcyjną nad celem i kształtem manuskryptu, miał udział w analizie bieżącego stanu literatury, opracowaniu pierwotnej wersji artykułu i jego edycji, wykonaniu wykresów i schematów graficznych oraz w ocenie i opracowaniu wniosków końcowych. Powyżej wskazany znaczny merytoryczny udział w procesie opracowania publikacji świadczy o zaangażowaniu i umiejętności rozwiązywania złożonych problemów badawczych oraz o zdolności do prowadzenia badań naukowych.

Integralną częścią rozprawy jest autoreferat stanowiący merytoryczne rozszerzenie i uzupełnienie cyklu prac. Autoreferat liczy 55 stron A4 (z załącznikami łącznie 175 stron A4), stanowi spójną i przemyślaną strukturę, na którą składają się: wykaz skrótów i oznaczeń, dane osobowe w tym dyplomy, tytuły zawodowe i odbyte szkolenia, wykaz osiągnięć naukowych, streszczenie (w j. polskim i j. angielskim), wprowadzenie i uzasadnienie podjętej problematyki, określenie problemu badawczego, głównej tezy i zadań cząstkowych oraz metody badań naukowych zastosowane w dysertacji. Następnie Doktorant zdefiniował obiekt i program

realizacji badań. W części drugiej Autor przedstawił wyniki badań oraz badania i wyniki implementacyjne prototypu LSWD/LDSS (nie opublikowane w cyklu) stanowiące cenne źródło merytoryczne autoreferatu stanowiącego opis Jego osiągnięć naukowych.

Stronę redakcyjną opracowania oceniam jako dość dobrą, chociaż jestem zwolennikiem upraszczania i większej przejrzystości struktury autoreferatu. Doktorant nie uniknął drobnych potknięć związanych z brakiem konsekwencji (np. raz duże innym razem małe litery w tytułach podrozdziałów), błędów stylistycznych, językowych i literówek występujących również w tytułach podrozdziałów (np. patrz p. 19, s. 56).

Analizując stronę metodyczną w pracy wykorzystano ujęcie systemowe, empiryczne z elementami podejścia inżynierskiego. Zgodnie z logiką metodyka prezentująca sposób postępowania została podzielona zatem na trzy części. W pierwszej z nich wykorzystano analizę systemową oraz opracowano model procesu decyzyjnego z identyfikacją poszczególnych etapów oraz z sekwencją działań (nazywanych krokami) w procesie podejmowania decyzji. Zwrócono uwagę na znaczenie informacji oraz zawarto opis interfejsu użytkownika. W drugiej - empirycznej przeprowadzono badania porównawcze modeli uczenia maszynowego dla regresji z wykorzystaniem podstawowych (klasycznych) miar jakości dopasowania z dookreśleniem wielkości błędu. Część trzecia - inżynierska zawierała projekt prototypu LSWD łączący predykcję, scenariusze (warianty), dopuszczalne zakresy MIN/MAX (wraz z komunikatami - alertami) i raporty.

Do modelowania zastosowano algorytm z wyodrębnieniem poszczególnych faz oraz opisem kolejnych kroków w procesie podejmowania decyzji. Zbiór przyjętych założeń oraz zaproponowana koncepcja realizacji badań wynikała moim zdaniem zarówno ze znajomości metodyki pisania prac naukowych, jak również z doświadczeń własnych Autora.

Reasumując strona metodyczna rozprawy jest na właściwym poziomie. Autor wykorzystał zaawansowane metody matematyczne, statystyczne i symulacyjne do osiągnięcia założonych celów szczegółowych. Opracowane modele zostały zweryfikowane na podstawie danych empirycznych, co zwiększa ich wiarygodność i praktyczną przydatność.

3. Merytoryczna wartość rozprawy

Motywnym przewodnikiem do napisania niniejszej rozprawy były mankamenty obecnego systemu podejmowania decyzji w logistyce SZ RP. Doktorant sformułował je na podstawie własnego doświadczenia zawodowego wynikającego z Jego wieloletniej praktyki na różnych stanowiskach. Wykazał, że zasadniczą barierą w logistyce stanowi rozproszenie danych gromadzonych w różnych systemach informatycznych oraz brak ich pełnej integracji. W konsekwencji osoby funkcyjne poświęcają zbyt dużo czasu na proces przygotowania danych (pozyskiwanie, gromadzenie, konsolidacja i weryfikacja), a nie na proces analizy i podjęcia decyzji zapewniającej bezpieczeństwo zasobów energetycznych. Podkreślił, że zjawisko to nasila się w sytuacjach losowych (skokowe zwiększenie popytu, niepewność dostaw itp.). W tym kontekście Jego zdaniem należy zbudować wieloszczeblowy kompatybilny system wspomagania decyzji w logistyce SZ RP, w którym sztuczna inteligencja (AI) stanowić będzie

rdzeń analityczny wspierający prognozowanie, planowanie, realizację i kontrolę działań logistycznych.

Zdaniem Autora głównym problemem badawczym rozprawy jest udzielenie odpowiedzi na następujące pytanie: „W jaki sposób zaprojektować logistyczny system wspomaganie decyzji dla gospodarki paliwowej w oddziale gospodarczym, który – przy ograniczonej dostępności danych i wysokiej zmienności operacyjnej zapewni stabilną predykcję krótkoterminową oraz wygeneruje użyteczne warianty działania (optymistyczny, optymalny, pesymistyczny), umożliwiając kontrolę ryzyka naruszeń progów MIN/MAX?”. Powyżej sformułowany problem generuje następujące zagadnienia szczegółowe: (1) modelowanie procesu i identyfikacja zmiennych, (2) dobór i walidacja metody predykcji o wysokiej zdolności generalizacji, (3) implementacja narzędzia użytecznego dla decydenta. Doktorant określił również główną tezę rozprawy w następującym brzmieniu: „Zastosowanie perceptronu wielowarstwowego (MLP) uczonego metodą regularyzacji bayesowskiej (BR) jako rdzenia predykcyjnego w logistycznym systemie wspomaganie decyzji zapewnia stabilną generalizację i niskie błędy predykcji w zadaniu prognozowania stanu paliwa w oddziale gospodarczym, a połączenie predykcji z analizą scenariuszową i parametryzacją warunków operacyjnych przez decydenta zwiększa użyteczność wyników w procesie decyzyjnym”. Powyższa teza bezpośrednio nawiązuje do zasadniczej publikacji [1] w całym cyklu, zawierającej model sieci neuronowej służącej do opracowania prognoz. W pracy tej wykazano, że regularyzacja bayesowska posiada przewagę jakościową w całym zakresie liczby neuronów, a w szczególności dla większej złożoności modelu (50 neuronów). Autor podkreślił również kluczowe znaczenie danych statystycznych (jakość statystycznej bazy danych), która bezpośrednio wpływa na efektywność opracowanego prototypu LSWD. Dane empiryczne reprezentowały szereg czasowy, którego poszczególne obserwacje oznaczały poziom paliwa w magazynie Oddziału Gospodarczego (OG). Zestawiono je w 5-letnim przedziale obejmującym lata 2019-2023, zawierającym 260 tygodni (obejmujących blisko 14 tys. rekordów), przy czym obserwacje rejestrowane były w układzie tygodniowym, który wynikał ze sposobu rejestracji zmian w systemie ewidencji, planowania i raportowania. Dane zestawione były w formie arkuszy MS Excel - nadal podstawowego narzędzia analitycznego wykorzystywanego powszechnie w sektorze małych i średnich spółek (MSP). W celu zapewnienia realności badanego procesu dane źródłowe zostały zweryfikowane jakościowo pod kątem ich zgodności z pojemnością magazynu i ustalonym zakresem poziomu paliwa oznaczonym MIN/MAX. Następnie należało uzupełnić luki w bazach (brakujące dane), bez których nie byłaby możliwa predykcja. Brakujące dane uzupełniano różnymi metodami: dla pojedynczych i incydentalnych braków zastosowano metodę polegającą na przeniesieniu ostatniej wartości; przy brakach o charakterze długofalowym (którego nie doprecyzowano) wyłączano dany segment z procesu uczenia modelu. Wartości skrajne (j. ang. *outliers*) redukowano lub przeprowadzano weryfikację źródłową (zależnie od danych wejściowych). Autor ponadto dostrzegł, że na opracowany prototyp LSWD wpływ ma również otoczenie (środowisko), które tworzą: temperatura i zmienność popytu, występująca skokowo szczególnie w warunkach dużej niepewności. Program badawczy był realizowany sekwencyjnie i obejmował 4 fazy:

- 1) Modelowanie koncepcyjne procesu decyzyjnego w systemie dystrybucji paliw z określeniem informacji krytycznych z uwagi na jakość podejmowanych decyzji;
- 2) Przygotowanie danych (spójność, obsługa braków i normalizacja) i badania porównujące modele sieci neuronowych (obejmujące eksperymenty uczenia MLP dla różnych konfiguracji neuronów i algorytmów uczenia. Na podstawie miar jakości wybrano konfigurację referencyjną (MLP-BR);
- 3) Projekt i implementacja modułów (wczytywanie danych, predykcja wielokrokowa, logika scenariuszowa, interfejs użytkownika, alertowanie, raportowanie oraz zapis iteracji) prototypu LSWD w środowisku MATLAB;
- 4) Przeprowadzenie walidacji funkcjonalnej i sporządzenie analizy wrażliwości. Walidacja funkcjonalna obejmowała testy scenariuszowe, których celem była weryfikacja zgodności zachowania systemu z logiką (operacyjną) z uwzględnieniem rozróżnialności wariantów, poprawności alertów oraz spójności mechanizmu zapisu iteracji. W walidacji uwzględniono również kryterium czasu (szybkość uzyskania wyniku wraz z merytoryczną jego interpretacją).

Na uwagę zasługuje fakt, że Autor nie ograniczył zastosowania sieci neuronowej wyłącznie do prognozowania ilościowego poziomu paliwa, lecz powiązał ją z problemem przewidywania możliwego działania decydenta logistycznego. W modelu uwzględniono trzy zasadnicze klasy działań: wydanie paliwa, wstrzymanie wydania oraz przyjęcie paliwa, co nadaje analizie bardziej operacyjny charakter. Istotnym elementem jest również przyjęcie wektora wejściowego obejmującego 21 zmiennych, opisujących uwarunkowania środowiskowe, operacyjne i infrastrukturalne procesu dystrybucji paliwa. Takie ujęcie wskazuje, że Autor dostrzega wieloczynnikowy charakter gospodarki paliwowej, w której decyzja nie zależy wyłącznie od aktualnego stanu magazynu, lecz również od warunków otoczenia, dostępności zasobów, pojemności magazynowych oraz zdolności dystrybucyjnych. Pozytywnie należy ocenić także próbę powiązania modelu predykcyjnego z horyzontem planowania kolejnych tygodni, co odpowiada praktycznym potrzebom planistycznym oddziału gospodarczego. Z merytorycznego punktu widzenia publikacja [1] stanowi najważniejszy element cyklu, ponieważ przechodzi od ogólnej koncepcji wspomagania decyzji do konkretnego, możliwego do zaimplementowania modelu obliczeniowego.

Jednocześnie w odniesieniu do omawianego modelu można sformułować dwie drobne uwagi. Po pierwsze, Autor mógłby szerzej uzasadnić dobór liczby neuronów w warstwie ukrytej, w szczególności w kontekście relacji pomiędzy złożonością sieci a liczebnością dostępnego zbioru danych. Po drugie, wskazane byłoby konsekwentne stosowanie oznaczeń przy miarach jakości modelu, zwłaszcza w odniesieniu do współczynnika R/R^2 oraz błędów MSE i RMSE, aby uniknąć niejednoznaczności interpretacyjnych.

Pomimo wymienionych w recenzji uwag, z merytorycznego punktu widzenia rozprawa zasługuje na ocenę pozytywną.

Podczas publicznej obrony Recenzent wnosi o udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Jakość statystycznych/jej baz/y danych zawsze wpływa na opracowany model oraz na skuteczność predykcji jak w przypadku opracowanego w pracy [1] modelu. Proszę

dokładnie omówić na czym polegało uzupełnienie baz danych, ich formalna i merytoryczna kontrola oraz w jaki sposób eliminowano błędy (w tym *outliers*)?

2. Dane do uczenia maszynowego zostały podzielone na trzy podzbiory: treningowy, walidacyjny i testowy w proporcjach 70/15/15. Jaka jest merytoryczna zasadność takiego podejścia i na podstawie jakich przesłanek dokonano wyboru takich proporcji.
3. Jaką rolę pełni warstwa ukryta w perceptronie wielowarstwowym i dlaczego liczba neuronów w tej warstwie może wpływać na jakość predykcji?
4. Proszę przedstawić merytoryczną interpretację współczynnika determinacji R^2 .

4. Podsumowanie i wniosek końcowy

Recenzowana dysertacja Pana mgr. inż. Artura KĘPCZYŃSKIEGO spełnia ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zarówno pod względem merytorycznym, jak i formalnym. Autor wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Dysertację charakteryzuje oryginalność problemu naukowego, cenne walory naukowe, pragmatyczne oraz poznawcze. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mająca aplikacyjny charakter, wnosi znaczący wkład teoretyczny oraz praktyczny w rozwój *nauk inżynieryjno-technicznych* w dyscyplinie *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.