

dr hab. inż. Andrzej Typiak, prof. WAT
Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Instytut Robotów i Konstrukcji Maszyn
ul. gen S. Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
andrzej.typiak@wat.edu.pl

Warszawa 22 maj 2025 r.

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
Autor: mgr. inż. Rafał Więckowski

**Temat rozprawy „Ocena przejezdności trasy w systemach autonomicznej jazdy
lądowych platform mobilnych pracujących w terenach przygodnych”**

Promotor: dr. hab. Barbara SIEMIĄTKOWSKA, prof. uczelni

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Rafała Więckowskiego była uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej nr 47/III/2025 z dnia 18.03.2025 r.

1. Ocena rozpatrywanego zagadnienia, oraz celu i tezy rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy rozwoju technologii ukierunkowanej na zwiększeniu zdolności poruszania się w terenach nieustrukturyzowanych, gdzie brakuje infrastruktury drogowej, a warunki drogowe są nieprzewidywalne i zmienne. Dlatego bezzałogowe platformy lądowe muszą być wyposażone w zaawansowane systemy sensoryczne (kamery, lidary, radary) oraz jednostki obliczeniowe wykorzystujące sztuczną inteligencję i uczenie maszynowe, umożliwiające analizę otoczenia, planowanie trasy, wykrywanie zagrożeń i podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym.

Praca została realizowana w ramach programu „Doktorat Wdrożeniowy” i powiązana jest bezpośrednio z potrzebami rozwojowymi platform bezzałogowych w Łukasiewicz-PIAP. Rozwój metodyki oceny przejezdności terenu, w oparciu o dane z kamer hiperspektralnych i lidarów, ma umożliwić tym platformom efektywniejsze poruszanie się po zróżnicowanym terenie, zwiększając ich funkcjonalność w działaniach wojskowych, ratowniczych i patrolowych.

W ocenianej rozprawie Doktorant podjął się bardzo ważkiego zagadnienia związanego z wprowadzaniem sterowania autonomicznego do lądowych platform mobilnym jakim jest ocena przejezdności trasy w terenach przygodnych. Jednak sposób przedstawienia „Celu pracy, opis wdrożenia i tezy” wydaje się być wysoce nieuporządkowany. Na stronie 17 rozprawy podano, że: „Celem mojej pracy doktorskiej jest rozwinięcie tej części systemu



autonomii robota mobilnego, która odpowiada za interakcję z otoczeniem.” W rozprawie nigdzie nie określono na czym polega interakcja robota z otoczeniem i jaka część systemu autonomii robota będzie rozwijana. Uszczegółowieniem celu jest zdanie: „Skupiam się na algorytmie, który tworzy mapę przejezdności na podstawie danych o otoczeniu, dostosowaną do zdolności terenowych danej platformy.” Z zaprezentowanych w rozprawie rozważań teoretycznych i przeprowadzonych badań eksperymentalnych wynika dążenia Doktoranta ukierunkowane są na budowę mapy otoczenia bezzałogowej platformy lądowej umożliwiającej poprawę jakościową przejezdności wyznaczonej na jej podstawie trasy, a nie na budowie trasy dostosowanej do zdolności terenowych platformy. Co więcej na str. 169 podano, że: „Jednym z pozytywnych oddziaływań prac prowadzonych ramach doktoratu są również wprowadzone modyfikacje w zakresie planowanych zmian w zawieszeniu pojazdu PIAP HUNTeR w celu zwiększenia jego zdolności terenowych.”

Nie zrozumiałe jest pojawiające się w kolejnym zdaniu stwierdzenia, że: „W ramach niniejszej pracy doktorskiej stworzyłem nowatorskie rozwiązanie, które dotychczas nie było dostępne na rynku ani szeroko analizowane w literaturze naukowej. Proponuję użycie kamery hiperspektralnej do określenia rodzaju materiałów w otoczeniu bezzałogowego pojazdu lądowego, co umożliwi bardziej precyzyjne dopasowanie modelu przejezdności terenu.” W dalszej części uzasadnienia celu pracy podano: „Dzięki temu opracowaniu roboty te będą w stanie lepiej nawigować w zróżnicowanym terenie oraz omijać przeszkody,..” z opisu wyników przeprowadzonych prac badawczych (str. 168) „Ścieżka zaplanowana dla pojazdu PIAP ATENA została zoptymalizowana pod kątem przejazdu przez bardziej stabilne i nośne nawierzchnie, umożliwiając zachowanie wyższej prędkości jazdy dla pojazdu o masie ponad 2000kg.” wynika odwrotny wniosek, a mianowicie wyznaczona trasa przebiega przez teren o jak najmniejszej liczbie przeszkód, aby nie było potrzeby ich omijania.

Przedstawiony cel pracy w sposób mało oczywisty powiązany jest z zawartymi w pracy rozważaniami natomiast przedstawiona teza: „Teza pracy brzmi: uwzględnienie informacji semantycznej o elementach otoczenia w modelu przejezdności terenu — pozyskanych za pomocą kamery hiperspektralnej — oraz ich integracja z danymi geometrycznymi umożliwiają znaczącą poprawę jakości planowania trasy i zwiększenie zdolności operacyjnych autonomicznych i zdalnie sterowanych bezzałogowych platform lądowych (BPL) w środowiskach nieustrukturyzowanych.” choć za nie jest poprzedzona analizą zagadnienia (ta przedstawiona jest w następnym rozdziale rozprawy), ani nie jest w sposób bezpośredni powiązana z celem pracy - to w mojej ocenie, jest poprawna i czytelna.

2. Ocena analizy źródeł literaturowych, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle

Przytaczane w rozprawie źródła literaturowe to 119 pozycji obejmujących materiały pisane i strony literaturowe. Wykaz bibliograficzny sporządzony jest poprawnie, strony internetowe mają podane daty dostępu a dla większości pozycji w wersji papierowej jest podane wydawnictwo i rok wydania.

Jednak w rozprawie nie przedstawiono krytycznej analizy cytowanych źródeł. Czytelnik otrzymuje tylko informacje jakie zagadnienie było poruszane przez autora/autorów

w przytaczanej pozycji literaturowej. Doktorant nie dokonywał krytycznej analizy zastosowanego w cytowanym artykule sposobu rozwiązania problemu, ani osiągniętych rezultatów, oraz w jakim stopniu odnoszą się one do zagadnień zawartych w dysertacji. Wyjątek stanowi omówienie literatury cytowanej w rozdziale 3.5. „Przegląd zbliżonych rozwiązań”.

Ponadto część cytowanej literatury to nie są źródła naukowe tylko strony internetowe redakcji na których przedstawiono opisy popularyzujące osiągnięcia PIAP (pozycje 102 – 112 i 117 – 119).

W przeglądzie stanu wiedzy przedstawiono w sposób bardzo ogólnikowy opis sensorów takich jak różnego rodzaju lidary, kamery, wizyjne i termowizyjne, czujniki IMU stosowanych do budowy mapy otoczenia. Podany wniosek, że „Dzięki fuzji danych z różnych typów kamer możliwe jest tworzenie bardziej kompleksowych i dokładnych modeli otoczenia, co wspiera bezpieczną i efektywną nawigację pojazdów autonomicznych.” Nie został poparty analizą żadnej pozycji literaturowej. Zastosowanie kamer hiperspektralnych ogranicza się do opisu możliwości ich zastosowania w różnych obszarach zastosowań od medycyny po obronność, ale jest to w głównej mierze użycie kamer statycznych. Dlatego zaskakujący jest wniosek, że: „Kamery hiperspektralne stanowią zaawansowane narzędzie analizy spektralnej, które znajduje szerokie zastosowanie w projektach realizowanych przez Łukasiewicz-PIAP, zwłaszcza w kontekście badania autonomii pojazdów lądowych i oceny przejezdności terenu.” oraz pojęcia takie jak mobilność, przejezdność i zdolność terenowa. Zaprezentowano także istniejące rozwiązania w zakresie systemów SLAM oraz budowania map 3D w środowiskach off-road.

W analizie zagadnienia Doktorant powołuje się na wyniki badań ETH Zurich oraz badań z 2022 roku prowadzonych w Wielkiej Brytanii.

Niewątpliwą wartością dodaną byłoby odniesienie się do prac polskich naukowców, np. zespołu prof. Krzysztofa Pokoniecznego członka grupy natowskiej grupy Additional Military Layers Cross Country Mobilities, czy też odwołanie się do Normy Obronnej NO-06-A015:2012, Teren–Zasady klasyfikacji–Ocena terenu na szczeblu operacyjnym.

3. Ocena opracowanego rozwiązania, użytej metody badawczej, oraz przyjętych założeń

W wyniku realizacji pracy opracowano metodę oceny przejezdności terenu, która uwzględnia zarówno geometrię podłoża, jak i jego charakterystykę materiałową. Kluczowym elementem tej metody jest zastosowanie kamer hiperspektralnych do analizy nawierzchni oraz integracja mapy 2,5D w celu otrzymania mapy przejezdności. Ponadto Doktorant podaje, że „Przeprowadzono analizę rozwinięcia metody o możliwość planowania trasy z uwzględnieniem dynamiki autonomicznych bezzałogowych pojazdów lądowych, co umożliwiło optymalizację planowania trasy do zdolności terenowych pojazdu.” W pracy nie zamieszczono żadnych kryteriów według których przebiegała optymalizacja wyznaczonej trasy. Dodaje także, że: „Wyniki eksperymentów wykazały, że opracowana metoda poprawia dokładność oceny przejezdności i zwiększa efektywność nawigacji autonomicznych pojazdów w trudnych warunkach terenowych.” bez przytoczenia na jakie wyniki się powołuje i w jakim zakresie jest zwiększona efektywność nawigacji.

Czynnikiem utrudniającym ocenę otrzymanych rezultatów jest brak przyjęcia w rozprawie wskaźników, według których można ocenić osiągnięte rezultaty pracy. Takimi wskaźnikami mogły by być czas przejazdu po trasie wyznaczonej na mapie bez kamery i mapie z kamerą, amplituda lub częstotliwość wstrząsów pojazdu itp.

4. Ocena oryginalności rozprawy, dorobku Doktoranta, oraz zaproponowanego rozwiązania w aspekcie stanu wiedzy i techniki

Zdaniem Recenzenta w rozprawie zawarte są rozwiązania, które stanowią wkład w rozwój systemów autonomicznej jazdy bezzałogowych platform lądowych przeznaczonych do pracy w terenie nieustrukturyzowanym. Można do nich zaliczyć metodę łączenia danych geometrycznych z danymi materiałowymi, co umożliwia bardziej kompleksowe modelowanie otoczenia. Dzięki tej integracji możliwe jest uwzględnienie zarówno parametrów geometrycznych, takie jak pochylenie terenu, chropowatość czy różnice wysokości z jego wilgotnościami np. rozróżnienie kępy trawy od kamienia. W rozprawie nie wykazano na ile wielowymiarowa analiza pozwala na bardziej precyzyjne planowanie trasy i jak można ocenić możliwość przejazdu w trudnym terenie.

W części badawczej swojej rozprawy Doktorant opisuje rozwiązanie, które jak sam podkreślał nie jest nowatorskie, jednak w swoich rozważaniach nie dokonał porównania zaproponowanego rozwiązania z rozwiązaniami istniejącymi. Trudno jest też ocenić jaki jest udział Doktoranta w przedstawionym rozwiązaniu skoro na str. 162 rozprawy podaje, że: „Badania zastosowania kamery hiperspektralnej zostały zawarte w mojej i współautorów publikacjach [14] i [15].”

Przetwarzanie danych z kamery hiperspektralnej realizowane jest w post-procesingu, co nie umniejsza znaczenia badań dlatego, że zgodnie z założoną tezą uwzględniana jest informacja semantycznej o elementach otoczenia w modelu przejezdności terenu — pozyskanych za pomocą kamery hiperspektralnej.

Dziwi natomiast często przytaczanie stwierdzenia, że operatorzy pojazdów otrzymywali wsparcie przy sterowaniu pojazdami w czasie rzeczywistym „Mapa przejezdności dostarcza kluczowych danych dla systemu autonomii lokalnej, wspomagając pojazd w podejmowaniu decyzji o omijaniu przeszkód i wyborze optymalnej ścieżki, w zależności od możliwości technicznych pojazdu oraz właściwości terenu, takich jak nośność i nachylenie.

Zamieszczony w rozprawie rozdział szósty nie dotyczy rozwiązania opracowanego w ramach projektu. Na str. 172 podano „Na powyższych ujęciach z kamer i lidarów można zaobserwować różnice w dokładności rozpoznawania obiektów na danych z lidarów oraz na danych z kamery RGB (analiza obiektów na kamerach RGB osiąga większą dokładność).”

W tym opisie nie ma żadnego odniesienia do kamer hiperspektralnych.

5. Ocena przydatności rozprawy dla nauk inżyniersko-technicznych

Recenzowana rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr inż. Rafała Więckowskiego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i technologie Kosmiczne. Doktorant przedstawił do oceny rozprawę, zatytułowaną: „Ocena przejezdności

trasy w systemach autonomicznej jazdy lądowych platform mobilnych pracujących w terenach przygodnych” napisaną w języku polskim. Część wstępna rozprawy, zawarta na 10 stronach maszynopisu, obejmuje streszczenia w języku polskim i angielskim, oraz spis treści. Zasadnicza część rozprawy zawarta jest na 172 stronach maszynopisu i podzielona jest na siedem numerowanych rozdziałów.

Wnikliwy czytelnik dostrzeże niewątpliwą przydatność osiągniętych wyników dla rozwoju nauk inżynierjno-technicznych, choć Doktorant w treści rozprawy podkreśla wyjątkową przydatność rezultatów swej pracy podając na str. 182, że: „Wyniki badań potwierdzają, że wprowadzenie informacji materiałowych do analizy przejezdności stanowi kluczowy krok w rozwoju autonomii jazdy w terenach nieustrukturyzowanych. Proponowana metoda charakteryzuje się wysoką uniwersalnością, dokładnością i potencjałem wdrożeniowym, szczególnie w sektorze militarnym i ratowniczym. Dalsze badania skupione na implementacji w czasie rzeczywistym i redukcji kosztów sprzętowych mogą uczynić to rozwiązanie jeszcze bardziej praktycznym i szeroko stosowanym.” Powyższe wnioski brzmią bardzo optymistycznie ale na ich potwierdzenia nie zamieszczono w pracy żadnych dowodów.

Lektura rozprawy była znacząco utrudniona przez użycie przez Doktoranta wielu nieprecyzyjnych potocznych sformułowań. Do najczęściej powtarzających się należą: „promień zakreśu”, „źródła informacji” „stopień” (zamiast próg), „teren złożony”.

6. Końcowa ocena pracy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Rafała Więckowskiego mieści się w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Praca zawiera szereg nowych interdyscyplinarnych wyników poznawczych, jednak ze względu na chaotyczny sposób jej przedstawienia, brak krytycznej analizy literaturowej, spójności pomiędzy celem rozprawy a postawioną tezą, nie precyzyjne przedstawienie opracowanej metody badawczej wymaga ona przeredagowania i uzupełnienia.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Rafała Więckowskiego wymaga wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania by mogła spełniać warunki określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 poz. 742). Wnoszę zatem do Rady Naukowej Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej o skierowanie rozprawy do przeredagowania.

