

Warszawa, 4 września 2023 r.

dr hab. inż. Paweł Malczyk
profesor uczelni

Zakład Teorii Maszyn i Robotów
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Wydział Mechaniczny, Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska

Ocena osiągnięć naukowych, dydaktycznych, popularyzatorskich i współpracy międzynarodowej
dra inż. Mariana Janusza Łopatki w postępowaniu habilitacyjnym w dziedzinie nauk
inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna na podstawie osiągnięcia naukowego
pt.: **Poprawa mobilności terenowej lekkich i średnich robotów inżynieryjnych.**

Podstawa wykonania recenzji: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej *Inżynieria Mechaniczna* Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) prof. dra hab. inż. Jerzego Małachowskiego z dnia 13 lipca 2023 r. o powołaniu mnie na recenzenta w składzie komisji habilitacyjnej (zgodnie z pismem nr DRKN.Z2.400.72.2023 Przewodniczącego Rady Doskonałości Naukowej prof. dra hab. Grzegorza Węgrzyna), w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego drowi inż. Marianowi Łopatce z Wydziału Inżynierii Mechanicznej WAT w Warszawie.

1. Osiągnięcia naukowe

Osiągnięciem naukowym Habilitanta stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria mechaniczna jest monografia naukowa:

M. J. Łopatka. *Problemy mobilności robotów inżynieryjnych*
Wydawnictwo WAT, Warszawa 2023, ISBN: 978-83-7938-386-3

Monografia naukowa przeszła recenzje wydawnicze (recenzenci: prof. dr. hab. inż. Jan Szlagowski – Politechnika Warszawska, prof. dr. hab. inż. Wiesław Trąbczyński – Politechnika Świętokrzyska) i posiada 80 pkt wg. punktacji MEiN w 2023 r. Wydawnictwo WAT jest ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a. Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*.

* * *

Część transportu pasażerów i różnego typu dóbr zarówno w zastosowaniach cywilnych jak i wojskowych odbywa się wciąż drogą lądową za pomocą różnego typu pojazdów – ogólnie – (mobilnych) robotów inżynieryjnych. Obiekty takie posiadają różnorodne mechanizmy lokomocji (np. roboty kołowe, gąsienicowe, hybrydowe, itd.) i mogą być wyposażone w manipulatory posiadające strukturę otwartych bądź zamkniętych łańcuchów kinematycznych o wielu stopniach swobody. Często roboty inżynieryjne poruszają się w trudnych, statycznych lub dynamicznych, warunkach terenowych, charakteryzujących się łagodną bądź ekstremalną topografią mającą swoje źródła w naturze bądź stworzoną przez człowieka. Problemy mobilności pojazdów robotycznych w nieustrukturyzowanym, obciążonym niepewnościami, terenie stanowią przedmiot zainteresowania i badań wielu ośrodków naukowych, agencji rządowych i militarnych oraz firm komercyjnych na świecie. Wiedza na temat

mobilności platform lądowych jest szczególnie cenna przy zapewnianiu robotom mobilnym różnych poziomów autonomii od klasycznej teleoperacji do w pełni bezzałogowych platform lądowych, które wykorzystują percepcję otoczenia, lokalizację oraz planowanie trajektorii w celu automatycznego sterowania ruchem obiektu w warunkach niepewności. Podobne problemy rozwiązuje się także w robotyce kosmicznej i eksploracyjnej. W ten obszar wiedzy wpisuje się osiągnięcie naukowe Habilitanta, które szczegółowo dotyczy tematu syntezy lekkich i średnich robotów inżynierskich w zakresie poprawy ich mobilności oraz zwiększania możliwości roboczych.

Monografia M. J. Łopatka. *Problemy mobilności robotów inżynierskich* dokumentuje oryginalne osiągnięcia naukowe Autora i jest tematycznie związana z robotyką. Jej osiągnięcia należy usytuować w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Dzieło jest napisane w języku polskim i liczy 272 strony. Rozpoczyna się od krótkiego wstępu oraz postawienia celów i zakresu pracy. W dalszej kolejności monografia została podzielona na pięć rozdziałów: 1. Przeznaczenie i koncepcja wykorzystania robotów inżynierskich; 2. Mobilność terenowa robotów; 3. Budowa i kształtowanie potencjału użytkowego platform bazowych robotów inżynierskich. Badania zwrotności i manewrowości; 4. Teleoperacja robotów inżynierskich – efektywność zobrazowania otoczenia; 5. Podsumowanie. Ponadto każdy z rozdziałów 1-4 został opatrzony stosownym spisem piśmiennictwa.

① W rozdziale pierwszym monografii zawarto syntetyczny i systematyczny przegląd stanu wiedzy dobrze dopasowany do tematyki monografii. Fragment ten świadczy o bardzo dobrej znajomości rzeczy i wiedzy w zakresie najważniejszych dokonań w obszarze podjętych przez Autora badań. Zaproponowano oryginalną klasyfikację robotów, ułatwiającą określenie ich przydatności do realizacji poszczególnych zadań. Autorska analiza piśmiennictwa posłużyła Habilitantowi do opracowania koncepcji wykorzystania robotów do realizacji zróżnicowanych zadań inżynierskich oraz opracowania propozycji ich doboru do poszczególnych zadań. Cały rozdział zamykają komentarze uzasadniające konieczność badań własnych w zakresie mobilności, stabilności czy zdolności do pokonywania przeszkód przez platformy lądowe.

② W rozdziale drugim przedstawiono ciekawe wyniki eksperymentalnej identyfikacji oporów toczenia systemów gaśnicowych lekkich i średnich robotów z elastomerowymi pasami gaśnicowymi oraz oporów toczenia opon typu ATV przeznaczonych do lekkich i średnich robotów poruszających się po zróżnicowanych podłożach. Habilitant wytypował pięć alternatywnych struktur platform kołowych (cztery-, sześćo- i ośmio-kołowych) oraz sześć konfiguracji platform wyposażonych w cztery gaśnice, które były zróżnicowane pod względem kinematyki układów jezdnych, wymiarów charakterystycznych oraz rozkładu mas. Struktury platform zostały zanalizowane w komercyjnym pakiecie do obliczeń układów wieloczołowych (MSC.ADAMS), w którym uwzględniono modele kół oraz gaśnicowego układu jezdnego. Na drodze analiz numerycznych opracowano wymagania w zakresie zdolności pokonywania przeszkód przez roboty inżynierskie oraz przeprowadzono badania stateczności alternatywnych rozwiązań platform bazowych lekkich robotów inżynierskich.

③ Rozdział trzeci prezentuje autorskie metodyki badań manewrowości pod kątem zdolności badanych robotów w wykonywaniu typowych zadań inżynierskich. Habilitant wykazuje różnice w zakresie percepcji systemów skrętu, systemów sterowania oraz pola widzenia i wskazuje na uwarunkowania doboru najkorzystniejszych rozwiązań. W dalszej części proponuje się system oceny potencjału użytkowego robotów inżynierskich metodą zdolności krytycznych, która umożliwia kształtowanie robotów i dobór rozwiązań konstrukcyjnych ze względu na oczekiwane cechy użytkowe. Metodyka nie wymaga doświadczenia w użytkowaniu analizowanych rozwiązań, co stanowi jej zaletę.

④ W rozdziale czwartym przedstawiono problematykę wpływu świadomości sytuacyjnej na mobilność robotów, rozwijane prędkości jazdy i efektywność manewrowania. Pokazano wyniki badań, których celem było określenie wpływu konfiguracji kamer na efektywność realizacji zadań w systemie teleoperacji. Jednocześnie opracowano zalecenia do projektowania systemów zobrazowania otoczenia robotów i platform bezzałogowych. Rozdział zakończono proponowaną procedurą selekcji właściwego doboru kamer oraz wnioskami.

⑤ Ostatni, krótki rozdział, przedstawia podsumowanie wyników badań Habilitanta. Jest to również miejsce, w którym Autor dokonuje krytycznej dyskusji trudności, które napotkał w trakcie realizacji badań.

Uwagi. Synteza lekkich i średnich robotów inżynierskich w zakresie poprawy ich mobilności oraz zwiększania możliwości roboczych jest zagadnieniem złożonym. Habilitant przedstawia w monografii szeroką gamę rezultatów eksperymentalnych dla różnych platform kołowych i gąsienicowych. Podejście eksperymentalne oraz wynikające z niego empiryczne relacje posiadają swoje ograniczenia przy badaniu tak złożonych układów wieloczołowych (UW) oraz istniejących interakcji koła/gąsienicy z podłożem. Na ogół zidentyfikowane formuły dla miar mobilności robotów nie mogą być łatwo ekstrapolowane do estymacji mobilności obiektów poza warunkami, w których został przeprowadzony test. W związku z rozwojem mechaniki obliczeniowej i postępie w metodach modelowania fizyki sztywnych i odkształcalnych UW skrępowanych więzami powszechnie stosuje się analizy numeryczne uwzględniające kinematykę i dynamikę badanych obiektów. Podejście symulacyjne, stosowane z powodzeniem również w rodzimych ośrodkach do analiz dynamiki i syntezy mechanizmów czy projektowania układów sterowania robotami, znacznie skraca czas i redukuje koszty powstania nowych prototypów w porównaniu do metod eksperymentalnych, jak wzmiankuje sam Autor w monografii. Względnie skromnie potraktowano metody modelowania platform kołowych i gąsienicowych, które w zasadzie ograniczyły się do analiz układów planarnych. Wierne modele zjawisk, uwzględniające modele gruntu, modele opony, kwestie interakcji opony/gąsienicy z podłożem oraz dynamikę zawieszenia służą do wyznaczenia metryk dla robotów mobilnych następnych generacji. Umożliwiają przeprowadzenie badań wrażliwości (*design sensitivity*) zachowań obiektu względem wybranych zmiennych decyzyjnych. W konsekwencji są stosowane do syntezy konstrukcji (nierazko optymalnej względem przyjętych wskaźników), analiz mobilności robotów, do planowania misji i projektowania układów sterowania. Takie podejścia są stosowane w NASA JPL (The DARTS Simulation Laboratory) czy w wielodomenowym silniku do analiz dynamiki układów, m.in. pojazdów militarnych poruszających się po grząskim gruncie (<https://projectchrono.org/>). W praktycznych zastosowaniach roboty mobilne muszą przemierzać teren, dla którego parametry są obarczone niepewnościami lub są nieznane. Na ogół są one określane na pokładzie pojazdu autonomicznego poprzez proprio- i eksteroceptywne sensory i fuzję danych z czujników (np. na bazie filtrów Kalmana i ich rozszerzeń). Ostatni trend w tym zakresie dotyczy zastosowań metod uczenia maszynowego i algorytmów predykcyjnych do przewidywania mobilności robotów.

Podsumowanie. W mojej opinii przedstawione osiągnięcie naukowe przedstawia spójny i dojrzały zestaw wyników badań związanych z problematyką mobilności robotów inżynierskich. Habilitant opanował szeroki zakres wiedzy oraz zaproponował szereg oryginalnych koncepcji oraz metodologii związanych z badaniem własności mechanicznych robotów inżynierskich oraz ich zdolności do realizacji zadań inżynierskich z wysoką efektywnością. Monografia naukowa M. J. Łopatka. *Problemy mobilności robotów inżynierskich*, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2023, ISBN: 978-83-7938-386-3 spełnia wymagania ustawowe dotyczące ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria mechaniczna.

2. Sylwetka Habilitanta

Pan dr inż. Marian Janusz Łopatka, dalej zwany Habilitantem, uzyskał stopień doktora nauk technicznych w roku 1994, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Mechanicznym Wojskowej Akademii Technicznej na podstawie rozprawy doktorskiej *Nadążność hydraulicznych układów napędowych maszyn roboczych* przygotowanej pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Tadeusza Przychodzień. Od roku 1988 był zatrudniony na macierzystym Wydziale Mechanicznym Wojskowej Akademii Technicznej (WM WAT), w Katedrze Maszyn Roboczych na stanowisku starszego inżyniera, asystenta oraz adiunkta naukowo-dydaktycznego. Od roku 1999, Habilitant jest także Kierownikiem Zakładu Maszyn Inżynierskich i Robotów w Instytucie Budowy Maszyn na WM WAT, zaś od roku 2022 kierownikiem Centrum Robotów Mobilnych i Platform Bezzałogowych WAT.

3. Aktywność naukowa

3.1. Wskaźniki bibliometryczne

Habilitant jest autorem lub współautorem

- 16 publikacji w czasopismach międzynarodowych (5 prac w czasopismach MDPI, 1 punktowana praca w Archive of Mechanical Engineering oraz 10 prac niepunktowanych - głównie Journal of KONES).
- 19 artykułów w formie rozdziałów w monografiach (w tym 1 indeksowana w WoS).
- 80 prac w czasopismach krajowych (w tym dwie anglojęzyczne).
- 29 prac w czasopismach popularno-naukowych (w jęz. polskim).

Liczba cytowań prac Habilitanta wynosi odpowiednio: 95 (w tym 85 bez autocytowań) w WoS, 163 w Scopus oraz 232 w Google Scholar, zaś indeks Hirscha, w zależności od bazy sięga $h = 7$ (WoS) oraz $h = 8$ (Scopus, Google Scholar). Łączny Impact Factor wynosi 15,423 i dotyczy pięciu prac opublikowanych w MDPI Energies i MDPI Applied Sciences w latach 2020-2022. Rozpoznawalność prac jest na umiarkowanym poziomie. Ich cytowalność powinna stopniowo rosnąć. Wydaje się, że wzrost znaczenia prac można byłoby osiągnąć poprzez publikowanie ich w wiodących czasopismach typu *Journal of Terramechanics*, *Vehicle System Dynamics*, *Multibody System Dynamics* czy też wielu dostępnych czasopismach robotycznych (np. klasy IEEE czy Springer). Prezentowany dorobek publikacyjny ma bardzo często charakter wieloautorski. W dokumentacji nie podano szacunków dot. wkładu procentowego Habilitanta w opublikowanych artykułach, choć wzmiankuje się o współautorskich opracowaniach w samej monografii.

3.2. Projekty badawcze, komitety i towarzystwa naukowe

W latach 1997-2023 Pan dr inż. Marian Łopatka brał udział w 23 krajowych projektach badawczych (w tym 1 w realizacji) i zdobył bogate doświadczenie pełniąc role zarówno kierownika projektu, jak i wykonawcy. Tematyka projektów dotyczyła dziedzin oscylujących wokół głównych zainteresowań wiodących i była finansowana przez NCBiR, MON, a wcześniej przez KBN. Warto docenić osiągnięcia projektowe Habilitanta, który był głównym konstruktorem specjalizowanych średnich i ciężkich robotów inżynieryjnych zaimplementowanych w praktyce i charakteryzujących się wysoką stabilnością podczas pracy i jazdy z dużymi prędkościami oraz lepszymi własnościami dynamicznymi w porównaniu do istniejących rozwiązań.

Habilitant jest także zaangażowany (jako wykonawca?) w realizację aż trzech projektów europejskich (EDF, EDA) zaplanowanych na lata 2023-2026 (wraz z realizowanym w tym samym czasie projektem MON), co wydaje się znacznym obciążeniem. Wcześniejsze, zrealizowane przez Habilitanta projekty międzynarodowe były finansowane m.in. przez European Defence Agency. Większość informacji o rezultatach prac wynikających z projektów została utajniona.

Pan dr inż. Marian Łopatka był wielokrotnie przewodniczącym komitetu organizacyjnego sympozjów i konferencji naukowych organizowanych w macierzystej uczelni i dotyczących tematyki robotów inżynieryjnych i platform bezzałogowych i ich militarnych zastosowań (w tym pierwszej edycji konferencji Bezzałogowe Systemy Autonomiczne – Unmanned Autonomous Systems 2022). Od 1999 r. jest członkiem International Society for Terrain-Vehicle Systems (ISTVS) i pracuje w Polskim Komitecie Normalizacyjnym (Komitet Techniczny KT-13, Maszyn do Robót Ziemnych i Drogowych oraz Żurawi Samojezdnych).

Habilitant był także edytorem zeszytu specjalnego w czasopiśmie MDPI Energies (a nie Elsevier Energy, IF=9, jak wzmiankuje Autor), a także recenzentem artykułów w czasopismach dot. zainteresowań naukowych.

3.3. Nagrody i wyróżnienia

Habilitant otrzymał wiele nagród i wyróżnień: w tym Nagrodę MNiSW, nagrody rektorskie/dziekańskie (w sumie 3) oraz szereg medali i nagród honorowych z zakresu innowacyjności.

3.4. Staże

Habilitant odbył krótkoterminowe staże (maksymalnie do dwóch tygodni) w University of Oulu, Finlandia (2018 r.), University of Ljubljana, Ljubljana Słowenia (2016 r.) oraz University of Maribor, Maribor Słowenia (2013 r.). Brakuje stażu o charakterze długoterminowym, który mógłby poskutkować dodatkowymi pracami naukowymi i wzbogacić, i tak dość obszerny projektowy, dorobek Habilitanta.

4. Współpraca z otoczeniem gospodarczym

Pan dr inż. Marian Łopatka był kierownikiem i wykonawcą wielu projektów badawczych i rozwojowych, które były związane ze współpracą z sektorem gospodarczym (m.in.: Hydromega, OBRUM, PIAP, AZM Kutno, Wojskowe Zakłady Inżynieryjne, WB Electronics). Bardzo dobrze wygląda także działalność w zakresie ochrony własności intelektualnej. Habilitant jest współautorem 6 patentów oraz 2 wniosków patentowych, które przeszły wstępną ocenę. Ponadto wyniki niektórych badań naukowych autorstwa dra inż. Mariana Łopatki zostały wdrożone w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych (Poznań).

5. Osiągnięcia dydaktyczne i popularyzatorskie

Przez 33 lata pracy akademickiej Habilitant prowadzi/prowodził wszelkie formy zajęć dydaktycznych (wykłady, ćwiczenia, laboratoria), w tym dla studentów Szkoły Doktorskiej, ściśle związane z Jego działalnością naukowo-badawczą. Sprawował opiekę nad 111 pracami dyplomowymi (w tym 49 magisterskich oraz 62 inżynierskich). Jest także współautorem podręcznika akademickiego z zakresu podstaw konstrukcji maszyn. Habilitant był zaangażowany w opracowanie nowego programu specjalności: maszyny inżynieryjno-budowlane i drogowe oraz maszyny inżynieryjne, a także współinicjował i aktywnie kształtował nowy kierunek studiów: inżynieria systemów bezzałogowych.

Pan dr inż. Marian Łopatka jest także zaangażowany w kształcenie kadry. Był promotorem pomocniczym trzech obronionych doktoratów. Sprawuje opiekę (jako promotor pomocniczy) w trzech obecnie otwartych przewodach doktorskich, co dobrze rokuje na przyszłość jednostki macierzystej w tym zakresie.

Wysoko należy także ocenić aktywność Pana dra inż. Mariana Łopatki jako kierownika Zakładu Maszyn Inżynieryjnych, Zakładu Taktyki i Techniki Wojsk Inżynieryjnych oraz Zakładu Maszyn Inżynieryjnych i Robotów. Habilitant przeprowadził modernizację wielu pracowni dydaktycznych a także nadzorował aktywności związane z pozyskaniem nowego wyposażenia dydaktycznego. Jednocześnie Habilitant jest aktywny na forum uczelnianym. Jest bowiem kierownikiem Centrum Robotów Mobilnych i Platform Bezzałogowych WAT, w którym koordynuje się badania w WAT w zakresie platform bezzałogowych. Jedną z ostatnich aktywności centrum była organizacja pierwszej edycji konferencji Bezzałogowe Systemy Autonomiczne – Unmanned Autonomous Systems.

Pan dr inż. Marian Łopatka opublikował 29 prac w czasopismach popularno-naukowych (w jęz. polskim). Jest wysoce aktywny w popularyzowaniu tematyki robotów mobilnych na różnych forach, m.in. na Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego.

Warto docenić także prace Habilitanta, wspierające działalność środowiska, w gremiach międzynarodowych. Pan dr inż. Marian Łopatka pełni rolę eksperta wspierającego w radzie ds. Nauki i Technologii NATO STO oraz w Europejskiej Agencji Obrony, w panelu Captech Ground Systems (Land).

6. Podsumowanie i konkluzja

Jak wynika ze szczegółowej analizy przeprowadzonej w niniejszej opinii, Pan dr inż. Marian Łopatka ma oryginalne osiągnięcia w zakresie badań mobilności robotów inżynierskich, ich własności mechanicznych oraz zdolności do realizacji zadań inżynierskich z wysoką efektywnością. Osiągnięcia Habilitanta w przedstawionej monografii naukowej, jak również w publikacjach naukowych, wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynierskiej mechanicznej.

Dorobek naukowy Habilitanta zdobył uznanie zarówno w środowisku naukowym, jak i w otoczeniu społeczno-gospodarczym. Został potwierdzony oryginalną monografią naukową, praktycznymi wdrożeniami konstrukcji robotów inżynierskich oraz udziałem w licznych projektach krajowych i międzynarodowych. Habilitant posiada także bogate osiągnięcia w zakresie dydaktyki i innych rodzajów działalności akademickiej. W mojej opinii Pan dr inż. Marian Łopatka spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego określone przez Ustawę o stopniach i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r.

W konkluzji, wnoszę o nadanie drowi inż. Marianowi Łopatce stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie inżynierskiej mechanicznej.



Paweł Malczyk