

Załącznik nr 3

do wniosku o przeprowadzenie postępowania  
w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego

# Autoreferat

*Dr inż. Jarosław Szrek*

*Politechnika Wroclawska*

*Wydział Mechaniczny*

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych*

*ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław*

Wrocław 2023

## Spis treści

<b>1. Imię i Nazwisko .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....</b>	<b>2</b>
<b>4. Omówienie osiągnięć naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....</b>	<b>3</b>
<b>4.1. Tytuł osiągnięć naukowych .....</b>	<b>3</b>
<b>4.2. Wykaz publikacji składających się na osiągnięcia naukowe .....</b>	<b>3</b>
<b>4.3. Merytoryczne ujęcie przedmiotowych osiągnięć .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.</b>	<b>22</b>
<b>6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę ....</b>	<b>24</b>
<b>6.1. Osiągnięcia dydaktyczne .....</b>	<b>24</b>
<b>6.2. Osiągnięcia organizacyjne .....</b>	<b>26</b>
<b>6.3. Działalność popularyzująca naukę .....</b>	<b>27</b>
<b>7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej .....</b>	<b>27</b>
<b>7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych .....</b>	<b>27</b>
<b>7.2. Nagrody i stypendia zdobyte przez uzyskaniem stopnia doktora .....</b>	<b>30</b>
<b>7.3. Nagrody i stypendia zdobyte po uzyskaniu stopnia doktora .....</b>	<b>30</b>

## **1. Imię i Nazwisko**

Jarosław Szrek

## **2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne**

- 2009 – doktor nauk technicznych, Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, dyscyplina: Budowa i Eksploatacja Maszyn. Praca doktorska pt.: „Synteza układu kinematycznego i sterowania czworonożnego robota kołowo-kroczącego”, promotor: prof. dr hab. inż. Antoni Gronowicz. Praca doktorska została wyróżniona przez Radę Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn.
- 2004 – magister inżynier, Politechnika Wroclawska, Wydział Elektroniki, kierunek Automatyka i Robotyka, specjalność Robotyka. Praca magisterska pt.: „Algorytmy sterowania manipulatorów mobilnych”, promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Tchoń. Praca zdobyła I miejsce w konkursie SEP na najlepszą pracę magisterską na Wydziale Elektroniki.

## **3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

- od 1.03.2010 - Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Układów Mechatronicznych – adiunkt,
- 2.11.2021 – 30.09-2022 – Akademia Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Innowacyjnymi Projektami – adiunkt,
- 1.03.2009 – 1.03.2010 - Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Zakład Teorii Maszyn i Układów Mechatronicznych – asystent.

**4. Omówienie osiągnięć naukowych, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)**

**4.1. Tytuł osiągnięć naukowych**

Jako osiągnięcia naukowe, stanowiące podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. prawo o szkolnictwie wyższym wskazuję:

**Metody i algorytmy w syntezie oraz sterowaniu robotów mobilnych**

zawarte w monografii naukowej oraz dziesięciu artykułach opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych.

**4.2. Wykaz publikacji składających się na osiągnięcia naukowe**

**Monografia naukowa:**

[M1] Inspekcyjne roboty mobilne. Synteza, algorytmy, aplikacje.

Autor: Jarosław Szrek.

Oficina Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2023.

Recenzenci monografii:

Prof. dr hab. inż. Antoni Gronowicz, Dr hab. inż. Grzegorz Tora, prof. uczelni.

**Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych:**

[A1] Przemysław G. Sperzyński, **Jarosław J. Szrek**, Antoni Gronowicz: Synteza geometryczna mechanizmu realizującego trajektorie prostoliniowa odcelowana - Synthesis of a mechanism for generating straight line indexing trajectory. Acta Mechanica et Automatica. 2010, vol. 4, nr 2, s. 124-129. ISSN: 1898-4088.

[A2] Mateusz K. Malarczyk, Marcin Kamiński, **Jarosław J. Szrek**: Metaheuristic approach to synthesis of suspension system of mobile robot for mining infrastructure inspection. Sensors. 2022, vol. 22, nr 22, art. 8839, s. 1-22. ISSN: 1424-8220.

- [A3] Przemysław G. Sperzyński, **Jarosław J. Szrek**: Control of constrained dynamic system of leg of wheel-legged mobile robot. W: New advances in mechanisms, transmissions and applications: proceedings of the second conference MeTrApp 2013 / eds. Victor Petuya, Charles Pinto, Erwin-Christian Lovasz. Dordrecht : Springer, cop. 2014. s. 199-206. ISBN: 978-94-007-7484-1.
- [A4] Antoni Gronowicz, **Jarosław J. Szrek**, Sławomir Wudarczyk: A rig for testing the leg of a wheel-legged robot. *Acta Mechanica et Automatica*. 2012, vol. 6, nr 2, s. 48-52. ISSN: 1898-4088.
- [A5] **Jarosław J. Szrek**, Artur M. Muraszkowski, Przemysław G. Sperzyński: Type synthesis, modelling and analysis of the manipulator for wheel-legged robot. *Acta Mechanica et Automatica*. 2016, vol. 10, nr 2, s. 87-91. ISSN: 1898-4088
- [A6] **Jarosław J. Szrek**, Paweł M. Trybała, Mateusz Góralczyk, Anna E. Michalak, Bartłomiej Ziętek, Radosław Zimroz: Accuracy evaluation of selected mobile inspection robot localization techniques in a GNSS-denied environment. *Sensors*. 2021, vol. 21, nr 1, art. 141, s. 1-23. ISSN: 1424-8220.
- [A7] **Jarosław J. Szrek**, Janusz Jakubiak, Radosław Zimroz: A mobile robot-based system for automatic inspection of belt conveyors in mining industry. *Energies*. 2022, vol. 15, nr 1, art. 327, s. 1-16. ISSN: 1996-1073.
- [A8] **Jarosław J. Szrek**, Jacek Wodecki, Ryszard Błażej, Radosław Zimroz: An inspection robot for belt conveyor maintenance in underground mine - infrared thermography for overheated idlers detection. *Applied Sciences*. 2020, vol. 10, nr 14, art. 4984, s. 1-17. ISSN: 2076-3417.
- [A9] **Jarosław J. Szrek**, Radosław Zimroz, Jacek Wodecki, Anna E. Michalak, Mateusz Góralczyk, Magdalena Worsa-Kozak: Application of the infrared thermography and unmanned ground vehicle for rescue action support in underground mine - the AMICOS Project. *Remote Sensing*. 2021, vol. 13, nr 1, art. 69, s. 1-20. ISSN: 2072-4292.
- [A10] Przemysław P. Dąbek, **Jarosław J. Szrek**, Radosław Zimroz, Jacek Wodecki: An automatic procedure for overheated idler detection in belt conveyors using fusion of infrared and RGB images acquired during UGV robot inspection. *Energies*. 2022, vol. 15, nr 2, art. 601, s. 1-20. ISSN: 1996- 1073.

Informacje zawierające indywidualny wkład autorski zostały zamieszczone w treści artykułów, a w przypadku jej braku załączono stosowne oświadczenie (załącznik 7).

### 4.3. Merytoryczne ujęcie przedmiotowych osiągnięć

#### Wprowadzenie

Roboty mobilne dobrze ulokowały się w świecie techniki. Znajdują zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, wyręczając człowieka między innymi w monotonnych i powtarzalnych pracach.

Robotyka (mechatronika) jest dziedziną bardzo obszerną, wymagająca interdyscyplinarnego podejścia integrującego wiedzę, metody, algorytmy i narzędzia stosowane w różnych dziedzinach nauki. Na podstawie przeglądu literatury stwierdziłem, że niewiele jest publikacji podejmujących tematykę całościowej syntezy robotów mobilnych do specjalnych zastosowań, które można zakwalifikować do grupy trudnych zadań badawczych.

Tematyka moich wieloletnich prac badawczych przedstawionych w monografii [M1] oraz w artykułach naukowych dotyczy robotów mobilnych posiadających specjalne wyposażenie i funkcje (np. poziomowanie platformy, pokonywanie przeszkód, rekonfiguracja układu jezdnego, manipulacja, dedykowane układy sensoryczne wraz z algorytmami analizy i interpretacji danych), pozwalające na ich zastosowanie między innymi do zadań inspekcji w trudnych warunkach otoczenia.

W części mechanicznej, prowadzone przeze mnie badania dotyczą między innymi zagadnień syntezy układów kinematycznych, w tym układów jezdnych robotów, aby uzyskać pożądane charakterystyki ruchu układu zawieszenia. W części dotyczącej układów elektronicznych i oprogramowania zajmowałem się opracowaniem dedykowanych układów sterowania, metod pozyskiwania i analizy danych sensorycznych na potrzeby mapowania oraz działania robotów bez udziału człowieka.

Trudne warunki otoczenia, w których roboty mobilne muszą działać, charakteryzują się nierównym i grząskim podłożem, zapyleniem, dużą wilgotnością, obecnością przeszkód, w tym takich których nie można ominąć oraz ograniczonym dostępem do danych o lokalizacji (np. brak dostępu do systemów lokalizacji satelitarnej w podziemnych korytarzach itp.).

W dostępnej literaturze, której analizę zawarłem między innymi w pierwszym rozdziale monografii, przedstawiono wiele przykładów procesu projektowania mechatronicznego. Niestety, poziom szczegółowości procesu nie jest wystarczający, aby na jego podstawie projektować roboty mobilne, w szczególności przeznaczone do konkretnych zadań, mające działać w trudnych warunkach otoczenia.

Problem projektowania staje się jeszcze bardziej skomplikowany, gdy roboty mobilne mają działać autonomicznie przy inspekcji lub eksploracji trudno dostępnych obszarów, w nierównym terenie z przeszkodami.

Z tego powodu dostrzegłem potrzebę opracowania kompleksowej metody projektowania, która z jednej strony na poziomie ogólnym będzie spójna z istniejącym podejściem do projektowania mechatronicznego, z drugiej jednak będzie na tyle szczegółowa, aby zobrazować proces projektowania, przepływ informacji pomiędzy etapami oraz pozwolić na pozyskanie informacji o metodach, komponentach, algorytmach i narzędziach niezbędnych na etapie projektowania i budowy prototypu robota mobilnego.

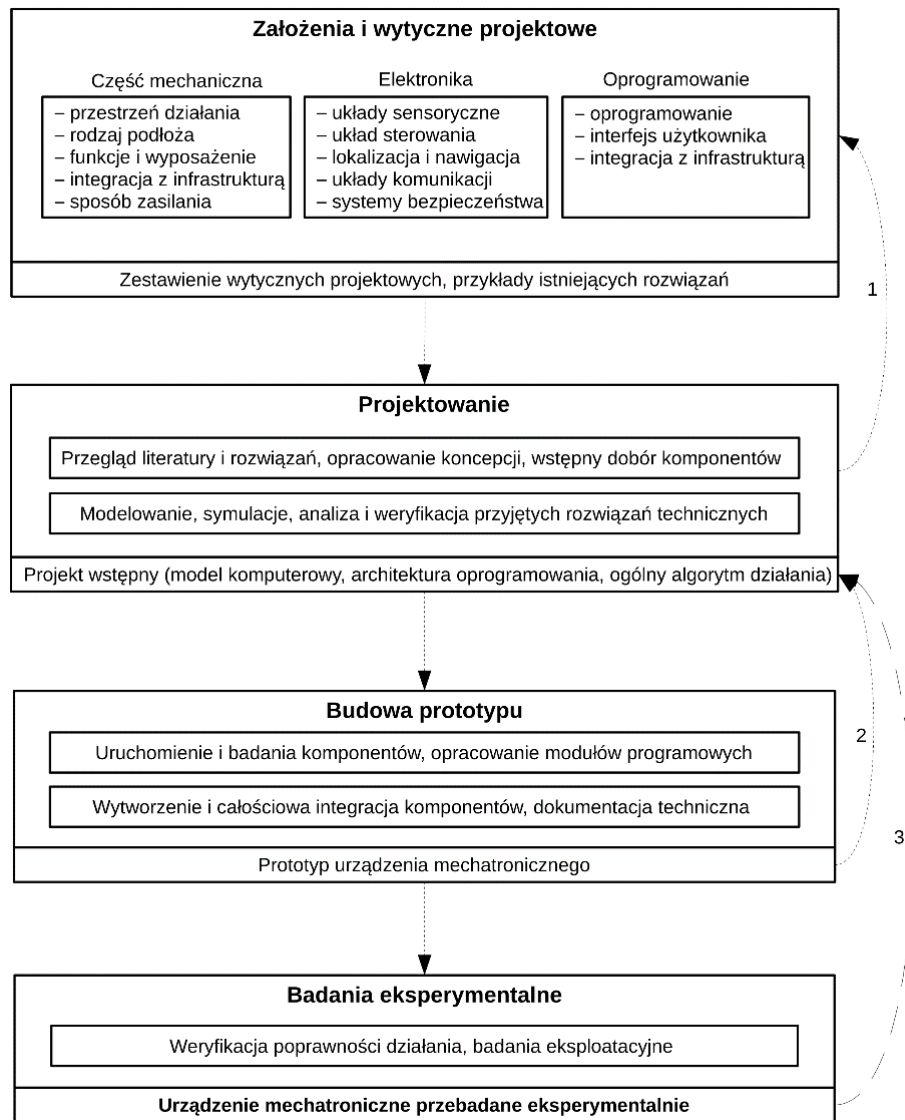
### **Synteza robotów mobilnych**

Opis opracowanej metody, zawarłem w trzecim rozdziale monografii [M1]. Istotą metody jest wyodrębnienie poszczególnych zadań badawczych z uwzględnieniem pętli sprzężenia zwrotnego, opisujących przepływ aktywności aktualizujących wiedzę i niosących informacje o konkretnych zmianach projektowych. Podczas prac następuje ciągły przepływ informacji pomiędzy poszczególnymi etapami oraz zespołami projektowymi, które w zaproponowanym podejściu pracują równolegle. Istotnym elementem opracowanej metody projektowania jest szczegółowy opis w zakresie metod syntezy, narzędzi wykorzystywanych przy doborze i optymalizacji istotnych elementów robota, architektury układu sensorycznego i sterowania oraz algorytmów sterowania i analizy danych tworząc kompleksowe podejście w zakresie syntezy robotów mobilnych.

Z perspektywy trzech głównych obszarów mechatroniki w pracy badawczej podjęto następujące zagadnienia:

- część mechaniczna – opracowanie układu jezdnych robotów, dobór napędów i elementów przeniesienia ruchu, w tym dedykowanych mechanizmów zawieszenia kół realizujących określone prawo ruchu;
- układ sensoryczny i sterowania – układy elektroniczne, sterowniki, układy i algorytmy regulacji, moduły wykonawcze dla napędów, układy komunikacji oraz indywidualne oprogramowanie systemów pomiarowych;
- oprogramowanie – oprogramowanie zarządzające pracą robota, pozyskania, przetwarzania i analizy danych sensorycznych oraz oprogramowanie interfejsu użytkownika.

Przedstawiona metoda jest wynikiem wieloletniego doświadczenia zdobytego w pracy badawczej nad robotami mobilnymi i ich zastosowaniach. Zaproponowany proces projektowy urządzenia w ujęciu mechatronicznym, zawierający wszystkie istotne elementy, przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Proces projektowania robotów mobilnych w ujęciu mechatronicznym

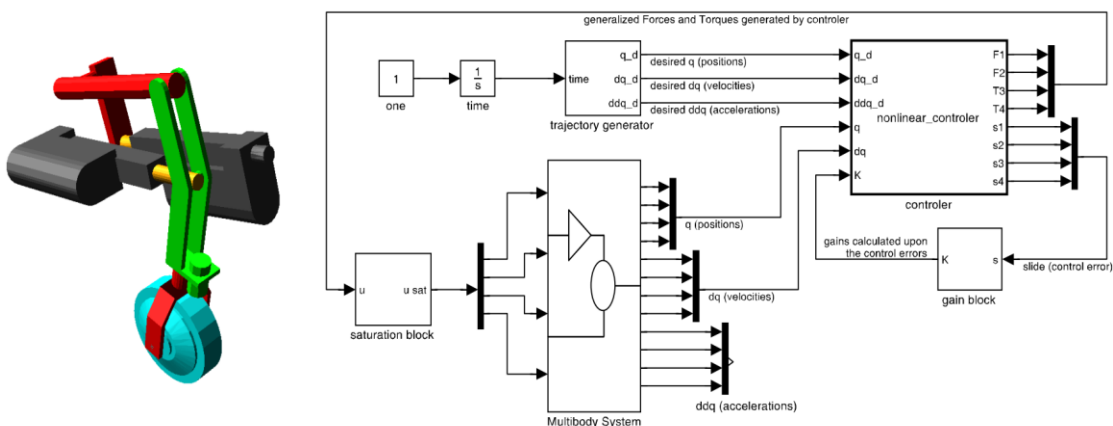
Następnie zgodnie z przedstawioną metodą opracowałem i wykonałem prototypy robotów mobilnych, które posiadają specjalne funkcje i wyposażenie. Dwa wykonane roboty posiadają dedykowane układy jezdne przydatne podczas eksploatacji w trudnych warunkach terenowych z przeszkodami. Trzeci robot został wyposażony w układ sensoryczny, sterowania i algorytmy umożliwiające działanie autonomiczne.

Projektując robota mobilnego w **części mechanicznej**, zmierzyłem się między innymi z problemem doboru układu jezdnego, rodzaju napędu i mechanizmu



zawieszenia. W układzie zawieszenia robota działającego w terenie z przeszkodami istotne jest uzyskanie dużego przemieszczenia koła, aby umożliwić mu np. pokonanie przeszkody lub aktywne reagowanie na nierówne podłoże (utrzymywać poziom platformy lub efektora). Z tego powodu podczas projektowania układu jezdnego dobierane są unikatowe struktury kinematyczne, które dzięki swoim indywidualnym wymiarom realizują określone prawo ruchu.

W zakresie projektowania mechanizmów zawieszenia kół robota, poza doбором układu kinematycznego z użyciem metod syntezy strukturalnej, pozwalającej na wyselekcjonowanie struktur o wymaganej ruchliwości, opracowałem autorskie metody syntezy geometrycznej wykorzystujące zarówno metodę przeglądu zupełnego z użyciem klasycznych metod obliczeniowych, jak również algorytmy metaheurystyczne. W wyniku zastosowań opracowanych metod i algorytmów zostały uzyskane indywidualne wymiary mechanizmów, pozwalające na realizację określonej trajektorii przy jednym napędzie. Opracowane metody są uniwersalne i mogą być do zastosowane do poszukiwania wymiarów dowolnych mechanizmów o danej strukturze kinematycznej. Dobre wyniki metod zostały uzyskane poprzez integrację klasycznych równań kinematyki z modułem optymalizacji wykorzystującym algorytm genetyczny [A1] oraz nowatorskie podejście – zastosowanie algorytmu inspirowanego naturą – Algorytm Roju Kameleonów (*Chameleon Swarm Algorithm*) [A2] lub Grey Wolf Optimizer<sup>1</sup>. W prezentowanych metodach skutecznie został rozwiązany problem wielokryterialnej optymalizacji układu kinematycznego charakteryzującego się nieliniowymi zależnościami opisującymi ruch.



Rys. 2. Widok modelu dynamiki oraz struktura układu sterowania

<sup>1</sup> Mateusz K. Malarczyk, Radosław G. Stanisławski, Mateusz Żychlewicz, Jarosław J. Szrek, Marcin Kamiński. Optymalizacja systemu sterowania napędami elektrycznymi oraz układu zawieszenia robota kołowo-kroczącego z wykorzystaniem algorytmu Grey Wolf Optimizer. Przegląd Elektrotechniczny. 2023, vol. 99, nr 5, s. 149-155.



w opracowanym algorytmie utrzymywania stałej siły nacisku kończyn na podłoże<sup>2</sup> [M1].

Układ kinematyczny zoptymalizowany pod kątem uzyskania odpowiedniej trajektorii ruchu, z dobranymi układami wykonawczymi, przebadany symulacyjnie<sup>3</sup> i eksperymentalnie, został następnie wykorzystany do budowy końcowej postaci stanowiska badawczego – prototypu robota mobilnego posiadającego funkcję poziomowania oraz pokonywania przeszkód, przez odpowiednią rekonfigurację mechanizmu zawieszenia koła (rys. 4).

Synteza robota mobilnego, w której zostały wyeksponowane istotne etapy, narzędzia i metody (w tym autorskie) została przedstawiona w podrozdziale 4.1 monografii [M1], stanowiąc jeden z przykładów urządzenia posiadającego dedykowane funkcje.



Rys. 4. Prototyp robota z funkcją poziomowania i pokonywania przeszkód

Z wykorzystaniem stanowiska badawczego, zostały również przeprowadzone badania eksperymentalne układu sensorycznego, algorytmów i układu sterowania oraz metod interpretacji danych sensorycznych otoczenia z wykorzystaniem kamery głębi. Opracowany algorytm pozwalał między innymi na detekcję przeszkód, określenie ich rodzaju (progi, schody), włączając wyznaczenie ich geometrycznych parametrów<sup>4</sup>. Na podstawie analizy wymiarów przeszkód robot otrzymywał informacje czy napotkane przeszkody można pokonać przez uniesienie korpusu platformy (przejechanie nad

---

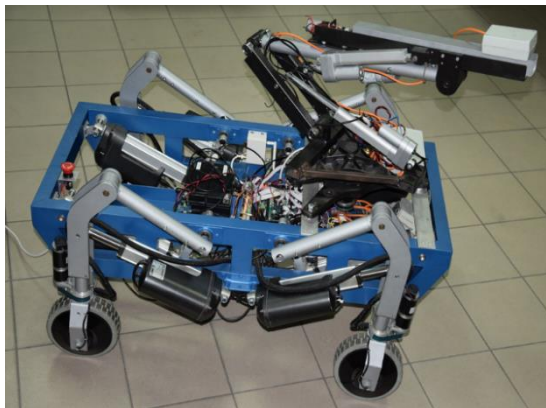
<sup>2</sup> Antoni Gronowicz, Jarosław J. Szrek, Sławomir Wudarczyk. The force reaction control of the wheel-legged robot's limb prototype. *Advances in mechanisms design: proceedings of TMM 2012*. Dordrecht: Springer, cop. 2012. s. 303-308. *Mechanisms and Machine Science*, ISSN 2211-0984; vol. 8.

<sup>3</sup> Przemysław G. Sperzyński, Jarosław J. Szrek, Artur M. Muraszkowski: Badania symulacyjne robota mobilnego kroczącego po schodach / Simulation researches of the mobile robot walking up the stairs. *Modelowanie Inżynierskie / Modelling in Engineering*. 2018, t. 36, nr 67, s. 58-66. ISSN: 1896-771X.

<sup>4</sup> Antoni Gronowicz, Przemysław Sperzyński, Jarosław J. Szrek, Janusz Jakubiak. Wheel-legged robot - construction and obstacle detection sensors. *Conference on Mechanisms, Transmissions and Applications --- MeTrApp 2013*, Bilbao, Hiszpania.

przeszkodą) lub jest wymagane uruchomienie trybu pokonywania przeszkód przez kroczenie [M1].

Zwiększenie możliwości działania robota mobilnego może być zrealizowane przez wyposażenie go w dodatkowe urządzenia, takie jak manipulator. W wyniku połączenia robota mobilnego z układem manipulacji otrzymuje się manipulator mobilny. Uzyskane w ten sposób urządzenie posiada możliwość przemieszczania się oraz manipulacji, zwiększając tym samym zakres możliwych prac. W ramach własnych prac badawczych opracowałem manipulator (rys. 5), który następnie został zintegrowany z wcześniej opracowanym robotem [A5].



Rys. 5. Manipulator z systemem wizyjnym zamontowany na robocie mobilnym z funkcją poziomowania i pokonywania przeszkód

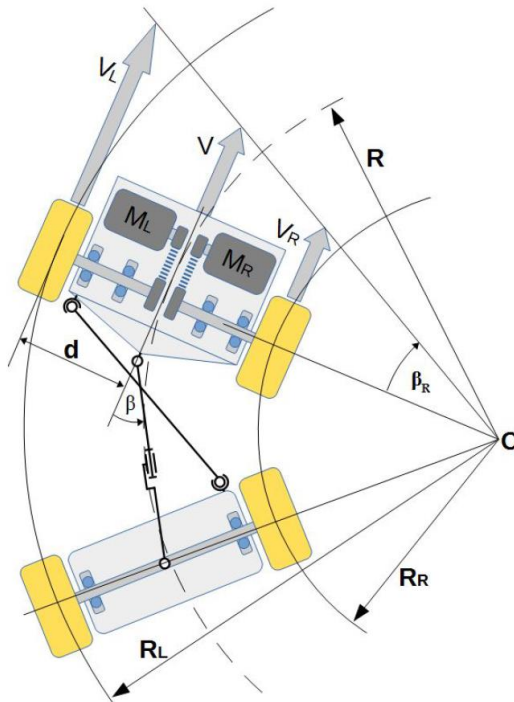
W systemie wizyjnym manipulatora został zaimplementowany algorytm wykrywania obiektów o określonej barwie, który został wykorzystany do podążania manipulatorem za wykrytym obiektem<sup>5</sup>.

W obszarze mechaniki również opracowałem i wykonałem prototyp platformy mobilnej posiadającej układ jezdny z dobrymi właściwościami manewrowymi w wąskich korytarzach [M1]. Pozytywne cechy urządzenie uzyskało przez zastosowanie układu lokomocji opartego o dwa wózki połączone mechanizmem dźwigniowym (rys. 6). Dobranie indywidualnych wymiarów w strukturze kinematycznej mechanizmu zapewniło podążanie kół tylnego wózka za śladem określonym przez koła wózka przedniego. Dzięki temu przy czterokołowym układzie jezdny uzyskałem układ o lepszych właściwościach stateczności w porównaniu

---

<sup>5</sup> Jarosław J. Szrek, Krzysztof J. Bałchanowski, Artur Muraszkowski, Sławomir Wudarczyk. The manipulator with vision feedback control loop. 22nd International Scientific Conference. Kaunas: Kaunas University of Technology, Kowno, 2017.

z układem jezdny klasy (2,0), jednocześnie zapewniając ciągły kontakt kół z nierównym podłożem (czego brak w układzie jezdny typu skid steering).



Rys. 6. Układ jezdny platformy mobilnej z mechanizmem zapewniającym brak zachodzenia kół tylnych przy skręcaniu

Zastosowanie mechanizmu dźwigniowego w platformie pozwala również na zmniejszenie oporów podczas manewrowania i tym samym zmniejsza ingerencję w podłoże, w porównaniu z układem jezdny o sterowaniu poślizgowym. Mniejsze opory ruchu przekładają się na mniejsze zużycie energii, w tym czas działania, co jest bardzo istotne w przypadku robotów mobilnych.

Dzięki swoim cechom robot został z powodzeniem użyty przy badaniach eksperymentalnych układów lokalizacji [A6] i algorytmów inspekcji, przeprowadzanych w warunkach laboratoryjnych i trudnych warunkach terenowych [M1, A8, A9].

Kolejny aspekt, który poruszałem w pracy badawczej to **opracowanie elektronicznych układów sensorycznych i sterowania**, odpowiednich do kontrolowania różnymi rodzajami robotów mobilnych, w tym o znacznej liczbie napędów DC i BLDC. Dla wszystkich robotów mobilnych opracowałem dedykowaną architekturę układu sensorycznego i sterowania, w której zostały wyeksponowane wszystkie niezbędne warstwy – począwszy od programowej warstwy planowania zadania, następnie jego realizacji oraz warstwy sprzętowej. Dobrane moduły

sterowników zostały indywidualnie zaprogramowane, zgodnie z opracowanym algorytmem sterowania i regulacji (położenia, prędkości). Do komunikacji z innymi modułami wykorzystywałem między innymi autorski protokół komunikacji, pozwalający na synchroniczną pracę wielu napędów poprzez podział struktury sterowników na moduły funkcjonalne. Autorski protokół komunikacji został wyposażony o dodatkowe dwuetapowe komendy umożliwiające przygotowanie i realizację synchronicznego procesu sterowania dla danej grupy lub wszystkich napędów robota.

W innym przypadku – do obsługi układu sensorycznego podczas inspekcji – został użyty protokół MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*), wykorzystywany w systemach IoT (*Internet of Things*), co pozwoliło również zintegrować układ sensoryczny z interfejsem użytkownika opartym na aplikacji mobilnej.

Warstwa sprzętowa układu sterowania robota z funkcją poziomowania i pokonywania przeszkód została oparta między innymi o indywidualnie opracowany moduł RbC-4242<sup>6</sup>, który wraz z modułami peryferyjnymi i oprogramowaniem stworzył dedykowany sterownik napędów. Moduł sterujący, wraz z układami komunikacji sieciowej posłużył jako główny komponent układu sterowania, opracowany do robota posiadającego szesnaście napędów. Cechą szczególną oprogramowania jest możliwość przełączania pomiędzy trybami regulacji położenia i prędkości.

Uniwersalność modułu pozwoliła również na zastosowanie go w innych urządzeniach robotycznych, np. jako układ sterowania robota podwodnego<sup>7</sup> lub wózka inwalidzkiego z funkcją automatycznego pokonywania przeszkód<sup>8</sup>.

Istotnym elementem w autonomicznym działaniu robotów jest posiadanie odpowiedniej informacji o jego położeniu i orientacji. Część zadań jakie przewidziano dla robotów to działania w przestrzeni kopalni, gdzie nie są dostępne systemy lokalizacji satelitarnej. Z tego powodu badania, jakie prowadziłem, dotyczyły opracowania układów sensorycznych, które dostarczą niezbędnych informacji o położeniu w tak trudnej przestrzeni. Badaniom zostały poddane sensory oparte na technice, radiowej UWB (*Ultra Wideband*), odometrii oraz systemach wizyjnych [M1, A6].

---

<sup>6</sup> Uniwersalny moduł sterowania napędami RbC-4242 - [www.progresja-org.com/?pl\\_rbc-hardware,36](http://www.progresja-org.com/?pl_rbc-hardware,36)

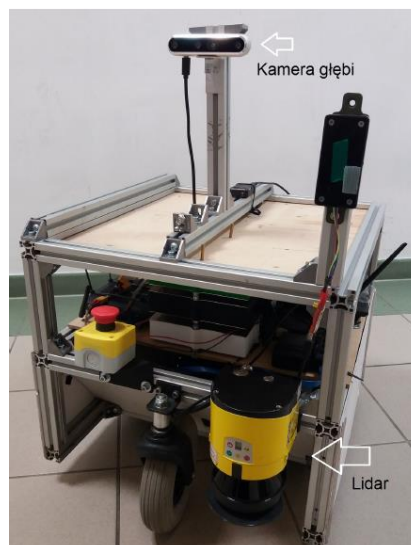
<sup>7</sup> Układ sterowania robota podwodnego – projekt wstępny. Projekt realizowany w ramach programu Dolnośląski Bon na Innowacje (2014 r.), [http://www.progresja-org.com/?4,pl\\_uklad-sterowania-rov](http://www.progresja-org.com/?4,pl_uklad-sterowania-rov).

<sup>8</sup> Jarosław J. Szrek, Artur M. Muraszkowski: Synthesis of an automatic obstacle overcoming control module, dedicated for manual wheelchairs. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2018, vol. 15, nr 4, s. 45-57. ISSN: 1785-8860.

Odpowiednio dobrane i skonfigurowane układy sensoryczne pozwalają na niezakłóconą pracę w określonej przestrzeni. Opracowane sensory, oprogramowanie i algorytmy odczytu danych sensorycznych zostały przebadane zarówno w warunkach laboratoryjnych, na otwartej przestrzeni oraz w podziemnych korytarzach [M1, A6, A7, A9]. Dane o lokalizacji zostały wykorzystane w opracowanych algorytmach sterowania oraz analizy danych sensorycznych, w których istotne są informacje o położeniu np. w lokalizacji uszkodzenia elementów przenośnika taśmowego [A8].

Na potrzeby pozyskania danych o otoczeniu zostały opracowane i przebadane układy sensoryczne oparte na sensorach wizyjnych głębi oraz lidarach 2D i 3D. Dane sensoryczne z jednej strony są wykorzystywane do wytworzenia modelu przestrzeni lub mapy na podstawie której robot porusza się autonomicznie [M1].

Aby robot mobilny działał bez udziału człowieka musi posiadać odpowiedni układ sensoryczny i sterowania oraz algorytmy nawigacji. Ten ważny aspekt z punktu widzenia autonomicznej inspekcji również poruszyłem w swojej pracy badawczej. Jeden z opisanych w monografii robotów mobilnych (podrozdział 4.3) został wyposażony w dedykowane układy sensoryczne (lidar 2D, sensor głębi) oraz oprogramowanie i algorytmy pozwalające na wykonywanie działań bez udziału człowieka (rys. 7). Zaimplementowany w robocie układ sterowania oparty na środowisku ROS (*Robot Operating System*) umożliwia między innymi autonomiczne podążanie po wyznaczonej ścieżce i realizację konkretnych akcji w określonych lokalizacjach, w szczególności rejestrację danych na potrzeby diagnostyki.



Rys. 7. Prototyp autonomicznego robota mobilnego

W strukturze układu sterowania robota umieszczono moduły pozwalające na przesyłanie danych z wykorzystaniem protokołu MQTT. Wybrany sposób komunikacji, oparty o protokół IoT wykorzystano między innymi na potrzeby definicji akcji w danych punktach, przesyłania danych pomiędzy odrębnymi urządzeniami (sterownik robota – układ sensoryczny) lub inicjowania działań i wizualizację procesu z poziomu aplikacji mobilnej. Oprogramowanie wraz z algorytmem inspekcji bez udziału człowieka zostało uruchomione i przetestowane w warunkach laboratoryjnych [A7]. Badania eksperymentalne, obejmujące układ sterowania, dokładność i powtarzalność algorytmów nawigacji oraz metody rejestracji danych potwierdziły poprawność przyjętych rozwiązań i skuteczne działanie przy postawionym zadaniu [M1].

Eksperymenty wykonano dla różnych prędkości przejazdu, podczas których były rejestrowane wszystkie dane z czujników w celu dalszej analizy różnych aspektów testowanego systemu. Wyznaczono między innymi dokładność określenia pozycji robota w przestrzeni i względem śledzonej ścieżki, wykazano skuteczność działania lokalizacji z użyciem algorytmów SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*), która została skonfrontowana z technikami lokalizacji bazujących na odometrii.

### **Algorytmy i analiza danych sensorycznych**

Inspekcja infrastruktury technicznej jest jednym z wielu procesów, które mogą być zrealizowane z wykorzystaniem robotów mobilnych. Częsty monitoring stanu technicznego urządzeń pozwala na wcześniejsze zdiagnozowanie usterki, zanim awaria doprowadzi do nieplanowanego przestoju lub będzie powodem poważniejszych zniszczeń. Inspekcja wykonana z użyciem robotów mobilnych charakteryzuje się wysokim poziomem powtarzalności. Gromadząc i analizując dane historyczne można również obserwować proces zużycia lub degradacji urządzeń technicznych.

Przykładem infrastruktury, która może być kontrolowana z wykorzystaniem robota mobilnego jest system przenośników taśmowych. Systemy przenośników zwykle działają w trudnych warunkach środowiskowych, zwłaszcza w kopalniach podziemnych, gdzie podlegają szybszym procesom degradacji i muszą być często sprawdzane. Niektóre wrażliwe punkty posiadają ciągły monitoring, ale rozległość oraz duża liczba elementów ruchomych (krążników) prowadzących taśmę musi być kontrolowana przez personel konserwacyjny. Wymaga to wizualnej oceny wszystkich elementów wzdłuż przenośnika w celu wyszukania anomalii, co w praktyce oznacza, że inspektorzy muszą pokonywać wiele kilometrów w trudnych warunkach.



Na potrzeby inspekcji przenośników taśmowych kopalni zostały opracowane odpowiednie układy sensoryczne i algorytmy pozwalające na automatyczne wnioskowanie w celu wykrycia potencjalnego uszkodzenia. Algorytmy zostały zweryfikowane podczas badań eksperymentalnych [M1, A7].

Zaproponowany scenariusz dostosowany do automatycznej inspekcji bez udziału człowieka, na przykładzie przenośnika taśmowego obejmuje następujące etapy:

- określenie zadania inspekcji i punktu startowego,
- przejazd testowy, wykonanie mapy obszaru,
- określenie na mapie istotnych punktów procesu,
- przekazanie mapy wraz z zadaniem do robota,
- weryfikacja poprawności działania.

Aplikacja systemu w pierwszej kolejności wymaga pozyskania szczegółowej mapy obszaru, którą należy przygotować podczas pierwszego przejazdu (na bazie danych z lidar 2D). Następnie należy wskazać na mapie kluczowe punkty (start/stop misji, start/stop rejestracji danych, konkretne i charakterystyczne punkty na ścieżce, w których robot powinien zwolnić, zachować szczególną ostrożność, zawrócić itp.). Na podstawie punktów wskazanych na mapie tworzona jest ścieżka, po której robot się przemieszcza, realizując zadanie. Z punktu widzenia eksploatacji instalacji przemysłowych istotne jest porównywanie danych bieżących z danymi historycznymi. Aby umożliwić takie porównanie, rejestracja pomiarów jest uruchamiana i zatrzymywana w tych samych punktach.

Podczas inspekcji ważne jest, aby dokładnie zlokalizować miejsce wystąpienia ewentualnej usterki. Jednym z wystarczająco precyzyjnych systemów lokalizacji jest GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). Z powodzeniem może być stosowany do pozycjonowania w otwartej przestrzeni z dużą niezawodnością i łatwym w obsłudze interfejsem. Jednak w przypadku podziemnych kopalni nie ma możliwości użycia systemów satelitarnych, dlatego w takim przypadku opracowałem system lokalizacji bazujący na technice UWB, przebadany i opisany w podrozdziale 5.2 monografii. Innym sposobem uzyskania informacji o położeniu jest wykonanie mapy podczas inspekcji i na jej podstawie, przy udziale sensorów analizujących otoczenie, uzyskanie niezbędnych parametrów. Badania układów sensorycznych i technik mapowania wykorzystujących sensory głębi zostały przedstawione w podrozdziale 5.1 monografii.

Końcowym efektem misji diagnostycznej jest przekazanie zespołowi utrzymania ruchu informacji o uszkodzeniu i jego lokalizacji. Podczas przejazdu robot wyposażony w dodatkowe układy sensoryczne na potrzeby diagnostyki rejestruje dane opatrzone parametrami lokalizacji, które następnie muszą zostać poddane analizie, w celu wykrycia ewentualnej usterki.

Algorytmy analizy i interpretacji danych sensorycznych, które zostały opracowane w ramach prac badawczych na potrzeby automatycznej diagnostyki przenośników taśmowych, zostały uruchomione w trybie offline, a ich celem jest wykrycie obszaru o podwyższonej temperaturze, np. w wyniku zwiększonego tarcia, które może być wykorzystane jako źródło informacji o uszkodzeniu.

Sensorem skutecznie wykrywającym gorące obszary jest kamera termowizyjna (IR), która umieszczona na robocie mobilnym wyposażonym w układ lokalizacji i nawigacji tworzy skuteczny autonomiczny system diagnostyczny przenośnika taśmowego.

Podczas inspekcji do rejestracji danych wykorzystywano pracujące w parze kamery RGB oraz IR. Analiza danych obrazowych miała na celu wykrycie gorących obszarów na podstawie obrazu z kamery termowizyjnej.

Algorytm detekcji uszkodzenia działa następująco: w pierwszej kolejności pobierany jest obraz, a następnie wykonywana jest detekcja gorącego obszaru. Gdy wykryty obszar ma wystarczająco dużą powierzchnię, generowany jest komunikat o zdarzeniu. Ponadto widok zdarzenia wraz z lokalizacją jest zapisywany na pozyskanym obrazie i przekazywany do weryfikacji przez zespół odpowiedzialny za konserwację.

Algorytm został zaimplementowany z wykorzystaniem biblioteki OpenCV. Akwizycja i transmisja danych odbywają się równolegle kilkoma kanałami. Obrazy termiczne i RGB są rejestrowane lokalnie w komputerze pokładowym. Dodatkowo wraz z wizją rejestrowana jest pozycja robota uzyskana z systemu lokalizacyjnego UWB oraz informacja o aktualnym czasie, co pozwala zsynchronizować dwa niezależne kanały z kamer, a także zidentyfikować czas wykrycia usterki. Możliwy jest też podgląd obrazu z kamery drogą bezprzewodową (na przykład za pomocą zdalnego pulpitu). Pobieranie danych pomiarowych następuje po zakończeniu misji inspekcji.

Weryfikację eksperymentalną opracowanego robotycznego systemu diagnostyczno-pomiarowego przeprowadzono przy wykorzystaniu laboratoryjnego stanowiska przenośnika taśmowego. Podczas eksperymentów został sprawdzony moduł

sensoryczny i rejestracji danych o lokalizacji oraz algorytm wykrywania uszkodzenia na podstawie zwiększonej temperatury krążnika. Zwiększoną emisję ciepła w jednym z krążników wywołano jego wcześniejszym nagraniem gorącym powietrzem, a następnie przeprowadzono eksperyment [A7]. Rezultat działania algorytmu, przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Wynik działania algorytmu detekcji uszkodzonego krążnika przenośnika taśmowego

Na trasie wzdłuż przenośnika taśmowego można wykryć wiele gorących miejsc. Aby sprawdzić, czy wykryte gorące obszary zostały zlokalizowane prawidłowo, zaproponowano metodę analizy dwóch obrazów – z kamery RGB i IR. Jeśli wykryte obszary na podstawie danych z dwóch źródeł będą podobne, to można wnioskować, że wykryty gorący obszar jest w rzeczywistości tym poszukiwanym [A8].

Po testach układu sensorycznego w warunkach laboratoryjnych przeprowadzono kolejny eksperyment rejestracji danych z wykorzystaniem robota mobilnego w warunkach przemysłowych.

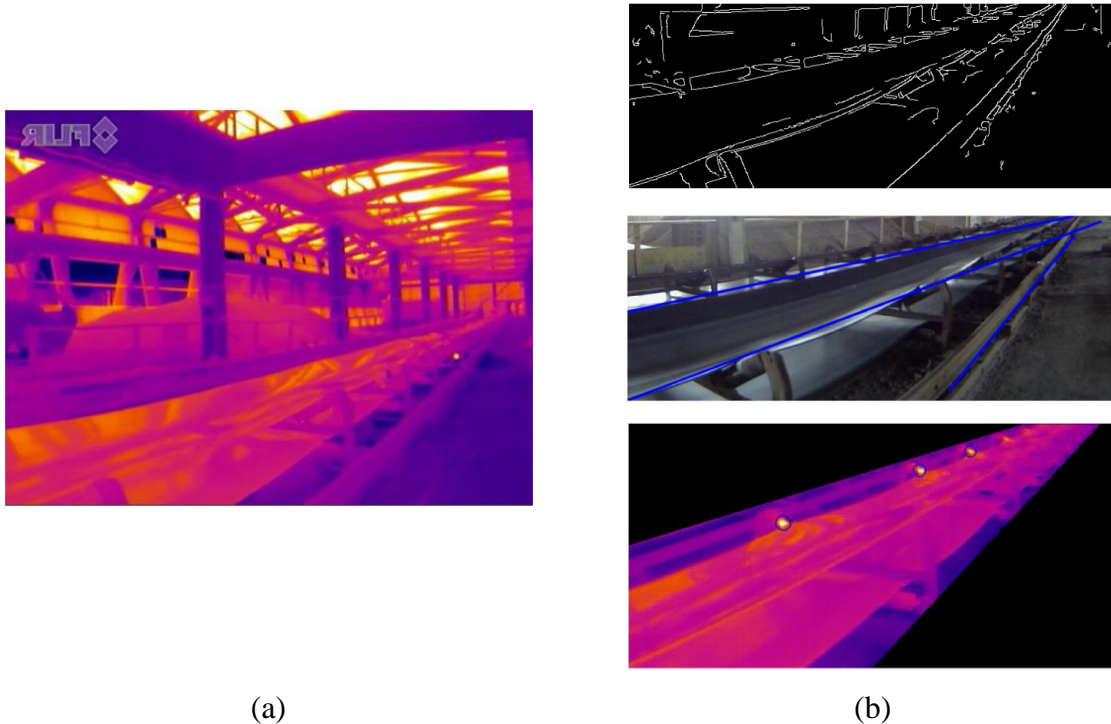
Eksperyment został przeprowadzony w jednej z dolnośląskich kopalń odkrywkowych, w której transport urobku był zrealizowany z wykorzystaniem przenośnika taśmowego<sup>9</sup>.

Aby uzyskać skuteczną procedurę diagnostyczną wykrywania rozgrzanych krążników, zostało zaproponowane szczegółowe podejście do wstępnego przetwarzania i analizy obrazów z kamer RGB i IR [A10].

Składa się ono z kilku następujących po sobie kroków, których istotą jest odseparowanie z obrazu nadmiernie rozgrzanych obszarów (rys. 9a), nieistotnych z punktu widzenia zadania inspekcji. W rozpatrywanym przypadku z obrazu należy odseparować zakłócający obszar, zawierający widok przeszklonej ściany i sufitu (należy zaznaczyć, że w przypadku innych misji z innymi warunkami etap

<sup>9</sup> Część prac wykonano w ramach projektu „AMICOS” - Autonomous Monitoring and Control System for Mining Plants, finansowanym z funduszy europejskich EiT Raw Materials [A10]

przygotowania danych musi być odpowiednio dostosowany). Zmniejszenie obszaru zainteresowania pozwala na poprawę wydajności algorytmu (eliminacja fałszywych trafień w nierealistycznych obszarach) oraz wydajności obliczeń (mniejszy obszar do przeszukania).



(a)

(b)

Rys. 9. Widok obrazu pozyskanego z układu sensorycznego przed zastosowaniem algorytmu (a) oraz wynik jego działania (b)

Wstępny etap przetwarzania polega na wyodrębnieniu konturu obszaru przenośnika taśmowego na podstawie obrazu RGB. W wyniku zastosowania procedury uzyskuje się maskę, która w ostatnim etapie, po nałożeniu na obraz z kamery IR, spowoduje odrzucenie niepożądanego tła, pozostawiając na nim jedynie taśmę przenośnika i krążniki (rys. 9b). Następnie wcześniej opracowany algorytm wykrywania gorących obszarów bazujący na informacji o kolorze może być zastosowany do wykrywania rozgrzanego krążnika, przeszukując zawężony zakres obrazu z kamery termowizyjnej.

Na potrzeby właściwego działania robota w otoczeniu przemysłowym, w szczególności współpracy robota mobilnego z inną infrastrukturą umożliwiającą np. automatyczny wjazd do stacji dokującej (ładowanie akumulatorów) lub uchwycenie wózka transportowego opracowałem również niezbędne systemy sensoryczne oraz algorytmy nawigacji wykorzystujące informacje z otoczenia.

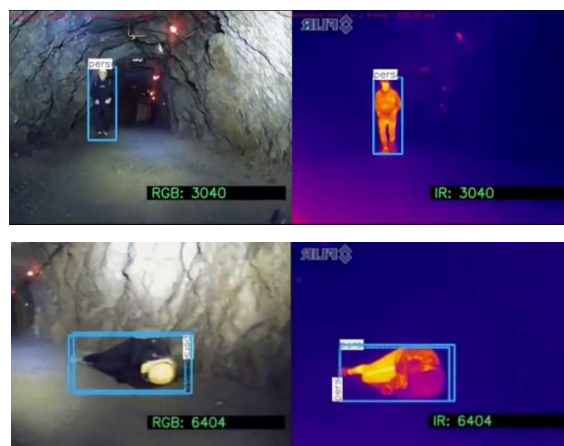
Bazując na danych sensorycznych z lidarów zaproponowany algorytm analizy danych sensorycznych skutecznie określał pozycję wózka transportowego i generował punkty nawigacyjne, aby z ich wykorzystaniem pod niego wjechać w celu uchwycenia i dalszego transportu [M1].

Inny opracowany algorytm lokalizacji wykorzystywał system wizyjny, aby na pozyskanym obrazie wyszukać znacznik o unikalnym kodzie. Na jego podstawie zostało określone miejsce wózka transportowego oraz jego unikalny numer.

Dzięki użyciu dodatkowych markerów możliwe jest rozbudowanie systemu transportowego o moduł poszukiwania wózka, wśród wielu innych zaparkowanych obok siebie i wjazd pod konkretny o danym numerze lub pozyskanie z przestrzeni dodatkowej informacji o lokalizacji w przestrzeni z użyciem dwuwymiarowego markera.

Podczas eksperymentów potwierdzono prawidłowe działanie lokalizacji opartej zarówno na danych z lidarów oraz systemie wizyjnym i dodatkowych znacznikach. Przebadano działanie algorytmu dla różnych warunków, aby sprawdzić wrażliwość na zakłócenia. Znacznik znajdujący się na środku wózka powinien posiadać odpowiednie wymiary, aby był widoczny z zakładanej odległości. Metoda oparta na systemach wizyjnych wymaga zapewnienia dobrego oświetlenia obszaru obserwowanego przez kamerę. W przypadku, gdy przestrzeń działania nie posiada odpowiedniego oświetlenia, robota można wyposażyć w dodatkowe źródło światła umieszczone z przodu [M1].

Roboty mobilne mogą również skutecznie być wykorzystane podczas akcji ratowniczych. Wyposażenie robota w system wizyjny złożony z kamery RGB oraz IR pozwala na skuteczne wykrywanie ludzi nawet w trudnych warunkach oświetleniowych.



Rys. 10. Wynik działania algorytmów klasyfikacji w robotycznym systemie poszukiwania ludzi

Opracowany algorytm bierze pod uwagę dane z kamery termowizyjnej oraz RGB i został dodatkowo wyposażony o szczegółową procedurę analizy, pozwalającej na wykrycie ludzi w różnych posturach, szczególnie leżąc (rys. 10). Opracowany układ sensoryczny wraz z algorytmami wykrywania i klasyfikacji obiegów został przetestowany eksperymentalnie na danych pozyskanych w podziemnych korytarzach kopalni z wykorzystaniem jednego z prototypowych robotów mobilnych [A9].

Użycie kilku rodzajów klasyfikatorów, w tym opartych o sztuczne sieci neuronowe uruchomionych z danymi pozyskanymi z różnych przetworników obrazowych zwiększa pewność klasyfikacji znalezionej obiektu [A9].

## **Podsumowanie**

Zagadnienia podjęte w mojej pracy badawczej – przedstawionej w monografii i innych publikacjach – wypełniają lukę w obszarze całościowego projektowania i zastosowań robotów mobilnych do złożonych zadań inspekcji w trudnych warunkach otoczenia. Zagadnienie syntezy zostało przedstawione całościowo i obejmuje wszystkie obszary mechatroniki (mechanika, elektronika, oprogramowanie). Tematyka podjęta w monografii i artykułach jest aktualna, szczególnie w zakresie opracowania metod syntezy układu kinematycznego, algorytmów przetwarzania i analizy danych sensorycznych oraz systemów pozwalających na działanie bez udziału człowieka, co wpisuje się w priorytety określone w wykazie Krajowych Inteligentnych Specjalizacji.

Wyniki uzyskane podczas prac badawczych dodatkowo zostały udokumentowane w postaci publikacji naukowych oraz opracowanych i wykonanych prototypów robotów mobilnych, wykorzystywanych w badaniach.

Część artykułów powstała przy współpracy autorów zagranicznych, potwierdzając międzynarodowy charakter prowadzonych badań<sup>9</sup>.

Do głównych osiągnięć autora, szczególnie przedstawionych w monografii oraz artykułach można zaliczyć:

- opracowanie kompleksowego interdyscyplinarnego podejścia do syntezy robotów mobilnych posiadających specjalne wyposażenie oraz funkcje pozwalające na działanie w trudnych warunkach [M1];
- opracowanie, integracja i badania eksperymentalne układów sensorycznych i sterowania robotów mobilnych umożliwiającym autonomiczne działanie [M1, A7];

- opracowanie algorytmów i badania eksperymentalne pozwalające na lokalizację bez dostępności systemów satelitarnych, autonomiczną integrację robota z urządzeniami współpracującymi (wózek transportowy/stacja ładowania) [M1, A6];
- całościowe zaprojektowanie i wykonanie prototypów robotów mobilnych, w szczególności posiadających unikatowe własności ruchowe w układzie zawieszenia realizującego określone prawo ruchu w zakresie położenia i profilu prędkości, układu jezdnego o wysokich własnościach manewrowych w wąskich przestrzeniach, układu sterowania i algorytmów umożliwiające działanie robota bez udziału człowieka [M1, A1, A2, A3, A4, A5];
- opracowanie i weryfikację algorytmów analizy danych sensorycznych na potrzeby sterowania i inspekcji infrastruktury technicznej. Weryfikacja działania odbyła się w warunkach laboratoryjnych oraz w trudnych warunkach przemysłowych – w kopalni [A7, A8, A9, A10];
- współdziałał w opracowaniu metody kalibracji systemu pomiarowego, wyposażonego w grupę sensorów przestrzeni przeznaczonego do skanowania z wykorzystaniem robota mobilnego<sup>10</sup>.

##### **5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej**

W ramach aktywności w innej jednostce badawczej podjąłem 11-miesięczne (11.2021–09.2022) zatrudnienie w Akademii Wojsk Lądowych im. Tadeusza Kościuszki, w Katedrze Zarządzania Innowacyjnymi Projektami Wydziału Zarządzania. Podczas prac w Laboratorium Zarządzania Dronami w Działaniach Taktycznych wykonałem bezzałogowy statek powietrzny (dron), z przeznaczeniem do autonomicznych zadań inspekcyjnych. W ramach stażu odbyłem ponadto intensywny kurs pilotażu statku powietrznego oraz zdobyłem stosowne uprawnienia pozwalające na użytkowanie dronów.

---

<sup>10</sup> Paweł M. Trybała, Jarosław J. Szrek, Fabio Remondino\*, Jacek Wodecki, Radosław Zimroz: Calibration of a multi-sensor wheeled robot for the 3D mapping of underground mining tunnels. W: Optical 3D Metrology (O3DM), 15–16 December 2022, Würzburg, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2022]. s. 135-142.

Dodatkowo zaangażowałem się w budowę terenowego robota mobilnego posiadającego układy sensoryczne i sterowania pozwalające na podążanie wzdłuż określonej ścieżki bez udziału człowieka. Badania eksperymentalne przeprowadzone w warunkach terenowych pozwoliły określić wymagania i funkcjonalności dla platform mobilnych do zastosowań militarnych i tym samym nakreślić dalsze możliwe kierunki rozwoju.

Ponadto prowadziłem zajęcia dydaktyczne dla studentów kierunków cywilnych oraz wojskowych.

Za swoje zaangażowanie i aktywność zostałem wyróżniony przez Dziekana Wydziału Zarządzania AWL.

Ponadto nawiązałem współpracę z Katedrą Wzornictwa, Wydziału Architektury Wnętrz, Wzornictwa i Scenografii, Akademii Sztuk Pięknych im. Eugeniusza Gepperta we Wrocławiu. W ramach współpracy byłem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej, prowadzonej przez prof. Piotra Jędrzejewskiego pt. „Autonomiczne urządzenie wspierające pracę człowieka. Robot z funkcją transportową”, autorstwa mgr Ady Brożyny, która została obroniona z wyróżnieniem w październiku 2022 r. Obecnie współpracuję w ramach pracy magisterskiej, której celem jest opracowanie roweru z przestrzenią transportową dla osób z niepełnosprawnością – praca została obroniona.

Inna moja aktywność naukowa o zasięgu międzynarodowym to udział w międzynarodowym projekcie finansowanym ze środków UE w ramach EiT Raw Materials (2020–2022 r.) AMICOS (Autonomous Monitoring and Control System for Mining Plants), w ramach którego między innymi wizytowałem siedziby konsorcjantów:

- Fondazione Bruno Kessler: FBK, Trento, Włochy (2020 r.),
- Worldsensing, Barcelona, Hiszpania (2022 r.).

Udział w europejskim projekcie i międzynarodowa współpraca zaowocowały między innymi opublikowaniem artykułów na temat zastosowań robotów mobilnych do zadań inspekcji oraz wspólnego artykułu z partnerem zagranicznym dotyczącego kalibracji układu sensorycznego na potrzeby mapowania przestrzeni z wykorzystaniem robota mobilnego<sup>11</sup>. Po kalibracji układu sensorycznego i wykonaniu badań układu

---

<sup>11</sup> Paweł M. Trybała, Jarosław J. Szrek, Fabio Remondino\*, Jacek Wodecki, Radosław Zimroz: Calibration of a multi-sensor wheeled robot for the 3D mapping of underground mining tunnels. W: Optical 3D Metrology (O3DM), 15–16 December 2022, Würzburg, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 2022]. s. 135-142.



sensorycznego<sup>12</sup> został również wykonany skan sztolni w Walimu, stanowiący dane referencyjne do opracowywania algorytmów SLAM w podziemnych tunelach. Dane zostaną udostępnione między innymi w otwartych zasobach Politechniki Wrocławskiej, a uzyskane wyniki opublikowane w artykule naukowym.

W ramach działalności w IFToMM nawiązałem współpracę z zagranicznymi ośrodkami, które wizytowałem w ramach programu Erasmus + staff teaching mobility:

- Laboratorio di Robotica e Meccatronica (Robotics and Mechatronics Laboratory) w Department of Industrial Engineering w University of Rome Tor Vergata, prowadzone przez Prof Marco Ceccarelli, Rzym 23 – 26.03.2020 r.,
- Kaunas University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Design, – prowadzenie wykładów w ramach szkoły letniej MDAMS 2022 IFToMM Summer School on Mechanism Design for Applications in Mechatronic Systems Kowno 4 – 9 lipiec 2022.

## **6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę**

### **6.1. Osiągnięcia dydaktyczne**

- promotor 54 prac dyplomowych, w tym 43 inżynierskich, 9 magisterskich na Wydziale Mechanicznym,
- promotor jednej pracy inżynierskiej na Wydziale Elektrycznym,
- promotor jednej pracy magisterskiej na Wydziale Elektroniki, która zdobyła II miejsce w konkursie Oddziału Wrocławskiego SEP na najlepszą pracę dyplomową w roku akademickim 2020/2021 na Wydziale Elektroniki,
- opracowanie i prowadzenie kursów dla kierunków prowadzonych na różnych Wydziałach Politechniki Wrocławskiej:

#### **- Wydział Mechaniczny**

Sterowanie podzespołami robotów i manipulatorów – 30h W,

Wprowadzenie do robotyki i automatyzacji – 15h W,

Projektowanie układów mechatronicznych – 15h W,

---

<sup>12</sup> Paweł M. Trybała, Jarosław J. Szrek, Bartłomiej Ziętek, Błażej Dębogórski, Jan Blachowski, Jacek Wodecki, Radosław Zimroz: Analysis of lidar actuator system influence on the quality of dense 3d point cloud obtained with SLAM. Sensors. 2023, vol. 23, nr 2, art. 721, s. 1-19. ISSN: 1424-8220.

Projektowanie układów mechatronicznych – 30h P,  
Podstawy mechatroniki - 15h L.

**- Wydział Podstawowych Problemów Techniki**

Technika mikroprocesorowa 20h/15h W,  
Technika mikroprocesorowa 15h L.

**- Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki**

Roboty transportowe – 5h W,  
Roboty transportowe – 15h P.

• **promotorstwo pomocnicze w przewodach doktorskich**

- mgr Ada Brożyna, tytuł pracy: „Autonomiczne urządzenie wspierające pracę człowieka. Robot z funkcją transportową”.

**Promotor:** prof. Piotr Jędrzejewski.

**Promotor pomocniczy:** dr Patrycja Rudnicka.

**Promotor pomocniczy:** Dr inż. Jarosław Szrek.

Praca została obroniona z wyróżnieniem w październiku 2022 r.

- mgr inż. Mateusz Malarczyk, tytuł pracy: „Inteligentne algorytmy w projektowaniu oraz sterowaniu układów mechanicznych o wielu stopniach swobody”.

**Promotor:** dr hab. inż. Marcin Kamiński, prof. uczelni.

**Promotor pomocniczy:** Dr inż. Jarosław Szrek.

Doktorant kończy trzeci rok Szkoły Doktorskiej.

- mgr inż. Mateusz Fiedień, tytuł pracy: „Metoda syntezy mobilnego robota do zadań inspekcyjnych z uwzględnieniem systemów wizyjnych”.

**Promotor:** dr hab. inż. Jacek Bałchanowski, prof. uczelni.

**Promotor pomocniczy:** Dr inż. Jarosław Szrek.

Doktorant kończy czwarty rok Szkoły Doktorskiej.

## 6.2. Osiągnięcia organizacyjne

### **przed uzyskaniem stopnia doktora**

- inicjator i założyciel Koła Naukowego Mechatroniki i Robotyki „Synergia”, obecnie opiekun naukowy koła,
- działalność w Radzie Doktorantów Politechniki Wrocławskiej – dwie kadencje, pełnienie funkcji sekretarza rady.

### **po uzyskaniu stopnia doktora**

- od 2013 Członek IFToMM (International Federation for the Promotion of Mechanism and Machine Science) sekcji TC Linkages and Mechanical Control. W ramach działalności między innymi redakcja krajowej strony internetowej dot. IFToMM, prowadzenie wykładów podczas szkoły letniej w Kownie (2022 r.), podjęcie się organizacji szkoły letniej we Wrocławiu w 2024 r.,
- działalność w Stowarzyszeniu Polski Komitet Teorii Maszyn i Mechanizmów „PK TMM”, pełnienie roli sekretarza od początku działalności stowarzyszenia, która miała miejsce w 2018 r., obecnie pełnienie funkcji sekretarza na kolejną kadencję.
- redaktor strony internetowej Sekcji Teorii Maszyn i Mechanizmów przy Komitecie Budowy Maszyn Polskiej Akademii Nauk,
- inicjator współpracy międzynarodowej, przygotowanie wniosku oraz prowadzenie międzynarodowego projektu w partnerstwie z Department of Control and Instrumentation, Brno University of Technology, CZ oraz National Center of Robotics, Bratislava, SK. Projekt finansowany z funduszy Wyszehradzkich (2018/2019 r.),
- inicjator i założyciel w 2013 r. czasopisma Interdisciplinary Journal of Engineering Sciences, pełnienie funkcji redaktora naczelnego, a od 2018 r. przewodniczącego rady naukowej. Wydawca czasopisma: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej,
- inicjator Interdyscyplinarnej Konferencji Młodych Naukowców „Ko-oper field”, przewodniczący komitetu organizacyjnego i naukowego 10 konferencji w latach 2009 – 2018,
- opiekun Laboratorium Mechatroniki i Robotyki,

- członkostwo w Radzie Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej w kadencji 2021–2024,
- członkostwo w Komisji Programowej kształcenia dla kierunku Mechatronika, w kadencji 2021–2024.

### **6.3. Działalność popularyzująca naukę**

- inicjator założyciel i prezes Stowarzyszenia na Rzecz Rozwoju Nauki i Kultury „Progresja”, organizacji mającej na celu propagowanie nauki poprzez organizowanie pikników naukowych, prezentacji w ramach „Wakacji z Progresją” i zawodów robotycznych,
- inicjator i pomysłodawca zawodów robotycznych dla społeczności akademickiej RoboDRIFT organizowanych w ramach Koła Naukowego Mechatroniki i Robotyki „Synergia”,
- udział w wydarzeniach promujących Uczelnie takich jak Dolnośląski Festiwal Nauki, Dni Otwarte Wydziału Mechanicznego itp.

## **7. Inne informacje dotyczące kariery zawodowej**

### **7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych**

Moja aktywność badawcza, poza wcześniej przedstawionym obszarem dotyczyła również innych systemów robotycznych i urządzeń mechatronicznych.

Na potrzeby wspomagania osób poruszających się na wózkach inwalidzkich prowadziłem szereg działań polegających na opracowaniu układu dedykowanego do pokonywania przeszkód. W ramach prac badawczych powstały prototypy modułów (przedni, tylny, uniwersalny) pokonywania progów przez wózek inwalidzki, które między innymi zostały opatentowane<sup>13, 14, 15</sup>. Prace naukowe dotyczyły urządzeń (część mechaniczna i sterowanie) wspomagających

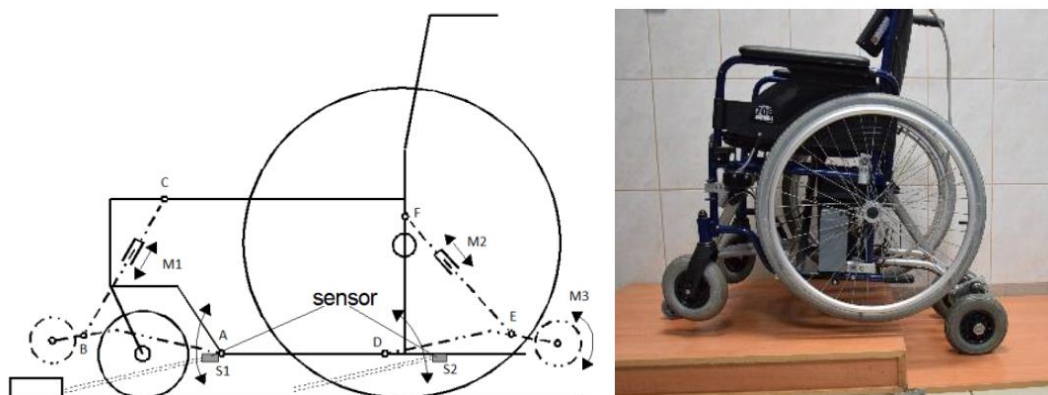
---

<sup>13</sup> A. Bagiński, A. Gronowicz, M. Prucnal-Wiesztort, P. G. Sperzyński, J. Szrek. Patent. Polska, nr PL 224265, opubl. 30.12.2016. Zgłosz. nr 404097 z 27.05.2013. Napęd do urządzenia przystawnego dla wózków inwalidzkich, zwłaszcza dla standardowych wózków inwalidzkich.

<sup>14</sup> A. Bagiński, A. Gronowicz, J. Szrek. Patent. Polska, nr PL 210669, opubl. 29.02.2012. Zgłosz. nr 381587 z 23.01.2007. Urządzenie przystawne dla wózków inwalidzkich, zwłaszcza dla standardowych wózków składanych.

<sup>15</sup> A. Bagiński, A. Gronowicz, J. Szrek. Patent. Polska, nr PL 210670, opubl. 29.02.2012. Zgłosz. nr 381586 z 23.01.2007. Urządzenie przystawne dla wózków inwalidzkich, zwłaszcza dla standardowych wózków składanych.

pokonywanie przeszkód z manualnym układem sterowania<sup>16</sup>, modułu załadunku wózka do samochodu<sup>17</sup> jak również mechatronicznego modułu pozwalającego na automatyczne pokonywanie progów<sup>18</sup>.



Rys. 11. Mechatroniczny moduł pokonywania przeszkód zintegrowany z wózkiem inwalidzkim

Odpowiedni układ sterowania zintegrowany z sensorami (rys. 11) pozwolił wyręczyć użytkownika od sterowania procesem przejazdu przez krawężniki. Operator jedynie inicjował rozpoczęcie procesu automatycznego pokonywania przeszkód.

Kolejne wykonywane prace badawcze dotyczyły opracowania mechatronicznych kijów Nordic Walking [11, k9, k13, k14]. Kije zostały wyposażone w zestaw czujników monitorujących wybrane wielkości kinematyczne i dynamiczne oraz moduł sygnalizacji użytkownika. Dodatkowo opracowany układ pomiarowy monitorował jakość wykonywanych ruchów. Informacje o nieprawidłowościach były na bieżąco przekazywane użytkownikowi za pośrednictwem odpowiednich komunikatów przy wykorzystaniu aplikacji mobilnej<sup>19</sup>. W ramach prac zostały opracowane dedykowane układy pomiarowe

<sup>16</sup> Krzysztof J. Bałchanowski, Jarosław J. Szrek, Sławomir Wudarczyk: Wheelchair mechanism for negotiating obstacles = Mechanizm wózka inwalidzkiego do pokonywania przeszkód. *Archive of Mechanical Engineering*. 2009, vol. 56, nr 3, s. 251-261. ISSN: 0004-0738

<sup>17</sup> Jarosław J. Szrek, Sławomir Wudarczyk: Mechanizm do załadunku wózka inwalidzkiego do samochodu. W: *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna. XV Krajowa konferencja naukowa*, Wrocław, [12-15] września 2007. [Wrocław: Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP, 2007. 5] s. ISBN: 978-83-87982-52-2.

<sup>18</sup> Jarosław J. Szrek, Artur M. Muraszkowski: Synthesis of an automatic obstacle overcoming control module, dedicated for manual wheelchairs. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2018, vol. 15, nr 4, s. 45-57. ISSN: 1785-8860.

<sup>19</sup> Sławomir Wudarczyk, Bogusz Lewandowski, Tadeusz Niebudek\*, Jarosław J. Szrek Sebastian F. Mróz, Marek Woźniowski\*, Krzysztof J. Bałchanowski, Ryszard Jasiński\*: Research on the mechatronic gait monitoring system with Nordic Walking poles. W: *15th International Conference Mechatronic Systems and Materials, MSM'2020*, July 1-3, 2020, Białystok, Poland, Piscataway, NJ: IEEE, cop. 2020. s. 1-6. ISBN: 978-1-7281-6956-9.

[k10], protokoły komunikacji oraz metody wnioskowania na podstawie danych sensorycznych pozyskanych podczas marszu z kijami Nordic Walking [k7, k8].

Inne zagadnienia podejmowane w mojej pracy badawczej to układy pomiarowe aktualnych parametrów robotów mobilnych na potrzeby ich właściwego sterowania. Przykładem układu pomiarowego jest moduł pomiaru sił normalnych i stycznych wykorzystany w robocie mobilnym Rex z układem jezdnyim typu skid steering (sterowanie burtowe) [k21]. Pozyskane dane o siłach reakcji kół z podłożem podczas manewrowania dostarczały informacji na potrzeby sterownia robotem przy obecności poślizgów.

W ostatnim czasie bardzo popularne stały się układy pomiarowe przenoszone z wykorzystaniem dronów. Zdobytą wiedzę i doświadczenie w zakresie budowy i użytkowania bezzałogowych statków powietrznych (między innymi podczas stażu i pracach w Laboratorium Zarządzania Dronami w Działaniach Taktycznych) wykorzystuję obecnie w celu opracowania automatycznych systemów inspekcyjnych i pomiarowych. Drony podczas misji mogą przenosić przetworniki obrazowe (kamery RGB, termowizyjne IR, multispektralne RGB-NIR), jak również inne rodzaje sensorów.

Przykładem układu pomiarowego dla drona, w którego powstanie jestem zaangażowany to „Elektroniczny nos”<sup>20</sup> – urządzenie przeznaczone do wykrywania źródeł uciążliwych zapachów. Prace są wykonywane w ramach międzynarodowego projektu, w którym jako jeden z wykonawców odpowiadam za opracowanie modułu pomiarowego i rejestracji danych z matrycy czujników<sup>21</sup> umieszczonych w specjalnej komorze pomiarowej. Obecnie badaniom eksperymentalnym poddawany jest moduł w wersji laboratoryjnej, który w dalszych etapach będzie optymalizowany, aby pomiary zapachów zrealizować z użyciem drona.

---

<sup>20</sup> Justyna E. Jońca, Pierre Fau\*, Katia Fajerweg\*, Myrtil Kahn\*, Philippe Menini\*, Marcin J.Pawnuk, Yaroslav Bezyk, Jarosław J. Szrek, Izabela Sówka: Application of nanotechnology in air pollution measurements. W: XIth International Scientific Conference Air Protection in Theory and Practice : Zakopane, 18-21 October 2022: Institute of Environmental Engineering Polish Academy of Sciences, cop. 2022. s. 33-34. ISBN: 978-83-60877-23-4.

<sup>21</sup> Monitoring networks and autonomous platforms for odor impact assessment using electronic noses - An e-nose that sniffs unpleasant odours (SENSODOR). Projekt międzynarodowy finansowany ze środków UE w ramach EXCELLENT SCIENCE Marie Skłodowska-Curie Actions , (2021 – 2024). Wykonawca.

## **7.2. Nagrody i stypendia zdobyte przez uzyskaniem stopnia doktora**

- uczestnik programu stypendialnego dla najlepszych doktorantów Politechniki Wrocławskiej „Pierwszy Program stypendialny ZPORR dla doktorantów Politechniki Wrocławskiej”,
- laureat I miejsca w konkursie SEP na Najlepszą Pracę Dyplomową na Wydziale Elektroniki w roku akademickim 2003/2004, czerwiec 2004.

## **7.3. Nagrody i stypendia zdobyte po uzyskaniu stopnia doktora**

- Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej w roku 2013, 2014, 2015, 2018, 2021,
- Nagroda Dziekana Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, 2022,
- laureat 11 miejsca w konkursie Primus – 2, Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej dla najlepiej publikujących osób w roku 2022,
- laureat I miejsca w konkursie „Boost your Research Impact 2020” organizowanym przez Politechnikę Wrocławską, w ramach którego wyłoniono 20 osób z dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, które najbardziej powiększyły swój dorobek naukowy w odniesieniu do roku poprzedniego, 12.2020 r.,
- otrzymanie dyplomu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego za projekt pod nazwą: „Mechatroniczny układ wspomagającego pokonywanie progów i krawężników przez wózek inwalidzki”, marzec 2012,
- zdobycie złotego medalu na Międzynarodowych Targach Innowacji w Brukseli za wynalazek „Mechatroniczny układ wspomagającego pokonywanie progów i krawężników przez wózek inwalidzki”, listopad 2011,
- wyróżnienie przez Radę Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn rozprawy doktorskiej pt. „Synteza układu kinematycznego i sterowania czworonożnego robota kołowo-kroczącego”, 6 stycznia 2009.

.....  
(podpis wnioskodawcy)