



Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej

Dr hab. inż.  
Sławomir Duda, prof. PŚ

Kierownik Katedry

Gliwice, 08.08.2024 r.

## Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Karola Miądlickiego

pod tytułem:

**„Wielosensorowy system lokalizacji operatora oraz rozpoznawania jego gestów w zastosowaniu do sterowania żurawiem przeładunkowym”**

podstawa opracowania: pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny  
Inżynieria Mechaniczna

Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie

dr hab. inż. Krzysztofa Danileckiego,

prof. ZUT nr WIMiM/198/2024 z dnia 04.07.2024 r.,

do którego dołączono egzemplarz pracy doktorskiej.

Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Mirosław Pajor,

natomiast promotorem pomocniczym dr inż. Marek Grudziński.

Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej

ul. Konarskiego 18a, pok. 161, 44-100 Gliwice  
+48 32 237 13 86  
[slawomir.duda@polsl.pl](mailto:slawomir.duda@polsl.pl)

NIP 631 020 07 36  
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



## 1. Ocena aktualności wybranego tematu

Aktualnie mamy do czynienia z kolejną generacją przemysłu tzw. Przemysłem 4.0. Koncepcja Przemysłu 4.0 obiecuje większą elastyczność produkcji, a także masową personalizację, lepszą jakość i lepszą produktywność. W ten sposób umożliwia firmom sprostanie wyzwaniom związanym z wytwarzaniem coraz bardziej zindywidualizowanych produktów o krótkim czasie wprowadzania na rynek i wyższej jakości. Inteligentna produkcja odgrywa ważną rolę w Przemysle 4.0. Typowe zasoby są przekształcane w inteligentne obiekty, dzięki czemu są w stanie wyczuwać, działać i zachowywać się w inteligentnym środowisku.

Urządzenia dźwigowe to maszyny, które wykorzystywane są na całym świecie i odgrywają kluczową rolę w przemyśle. Wykonują swoje działania na placach budowy, statkach transportowych, w portach, magazynach i wszędzie tam, gdzie konieczne jest wspomoczenie człowieka w przenoszeniu ciężkich obiektów lub materiałów masowych. Na przestrzeni lat i te maszyny przeszły wiele modernizacji i ulepszeń. Wydaje się, że na dzień dzisiejszy konstrukcja wsporcza jak i zastosowane napędy żurawi przeładunkowych osiągnęły swoje optimum. Polem do poszukiwania coraz to nowszych ich rozwiązań jest sposób komunikowania się z maszyną, zapewniając bezpieczniejszą, dostosowaną do konkretnych warunków pracę operatorowi. Operator do sterowania urządzeniem dźwigowym używa najczęściej dźwigni lub pulpitu sterowniczych. Interfejs sterowniczy, powinien być jak najbardziej intuicyjny, efektywny oraz ergonomiczny. Ponadto od sposobu działania i intuicyjności interfejsu zależy wydajność pracy urządzeń dźwigowych oraz bezpieczeństwo w miejscach ich stosowania.

Jak sam Autor zauważa, tematyka zawarta w pracy jest zbieżna z realizowaną w przemyśle ideą „Przemysłu 4.0”. Jedną z form realizacji tej koncepcji jest opracowanie wirtualnych systemów służących do zdalnego sterowania urządzeniami dźwigowymi w tym między innymi poprzez wykorzystywanie gestów i zmysłów człowieka.

Biorąc powyższe pod uwagę, wybrany temat pracy doktorskiej uważam za aktualny, zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem zastosowania wyników badań w praktyce. Tematyka pracy mieści się w zakresie dyscypliny naukowej „Inżynieria mechaniczna”.

## 2. Przegląd treści pracy

Rozprawę doktorską podzielono na sześć rozdziałów zakończonych rozdziałem zatytułowanym „Podsumowanie”, uzupełnionych spisem literatury, ilustracji i tabel, streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz wykazem ważniejszych skrótów i oznaczeń. Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń zawiera skróty pochodzące od nazw anglojęzycznych, niestety Autor nie przedstawił ich tłumaczenia. Rozprawa została napisana na 188 stronach maszynopisu formatu A4.

Pierwszy rozdział nazwany „Przegląd literatury i stanu techniki”, jak stanowi tytuł zawiera wprowadzenie do treści zasadniczych analizowanych w ramach recenzowanej dysertacji. W rozdziale tym Autor przedstawił szeroki przegląd literatury, co zasługuje na szczególne wyróżnienie, zawierający informacje na temat budowy i typów żurawi przeładunkowych. W kolejnych podrozdziałach przedstawił także komercyjne i prototypowe metody sterowania żurawiem przeładunkowym oraz systemy wspomaganie operatora. W przeglądzie uwzględnione zostały normy, raporty rynkowe oraz publikacje naukowe.

W rozdziale drugim Autor przedstawił cel i tezę pracy. Za cel prowadzonych badań Doktorant uznał „opracowanie inteligentnego systemu wielosensorowego w zastosowaniu do sterowania żurawiem przeładunkowym, pozwalającego na jego interaktywne sterowanie poprzez śledzenie pozycji oraz rozpoznawanie gestów operatora”. Tak więc Autor dysertacji postawił sobie ambitny cel zbudowania układu mechatronicznego w sprzężeniu człowiek - maszyna, tak aby na podstawie rozpoznawania przez system informatyczny gestów operatora sterować pracą żurawiem przeładunkowym przy ciągłej kontroli położenia operatora względem pracującej maszyny.

W kolejnym, trzecim rozdziale, Doktorant zawarł opis architektury wielosensorowego systemu lokalizacji operatora oraz rozpoznawania jego gestów w zastosowaniu do sterowania żurawiem przeładunkowym. W rozdziale zawarto też uzasadnienie wyboru platformy programistycznej oraz opis opracowanej symulacji i interfejsu użytkownika.

Rozdział czwarty recenzowanej dysertacji zatytułowany „System śledzenia operatora” dotyczył przedstawienia dwóch kluczowych podsystemów służących do śledzenia pozycji operatora żurawia przeładunkowego: pierwszy bazujący na skanerze LiDAR, drugi w oparciu o opracowany inteligentny kask. W tej części pracy przedstawiono ponadto budowę podsystemów, zastosowane sensory oraz opisano algorytmy i sposoby przygotowania danych do uczenia się sieci neuronowych.

Kolejny rozdział - piąty, poświęcono przedstawieniu opisu czterech opracowanych i zaimplementowanych w systemie sposobów sterowania pozycją punktu końcowego chwytaka żurawia przeładunkowego, chociaż Autor na str. 134 informuje, że zostało zaimplementowanych pięć metod. W dalszej części rozdziału Autor przedstawia zestaw dziesięciu gestów oraz ich interpretację zadaniową dla systemu sterowania żurawiem.

W rozdziale szóstym zatytułowanym „Testy na stanowisku badawczym” przedstawiono badania eksperymentalne. Badania były prowadzone dla dwóch przypadków. W pierwszym sprawdzono poprawność działania systemu śledzenia operatora. Przeprowadzone badania wykazały, że wszystkie zaproponowane rozwiązania spełniają zakładaną funkcjonalność. Badania były prowadzone zarówno w pomieszczeniu jak i na zewnątrz. Kolejnym opisanym doświadczeniem było wykonanie typowych zadań przez żuraw przeładunkowy. Badania były przeprowadzone z użyciem trzech metod sterowania: dźwigni hydraulicznych, joystica oraz gestów. W przeprowadzonym badaniu porównywano czas jaki jest potrzebny operatorowi na realizację zadań wg zadanego scenariusza.

Rozprawa kończy się podsumowaniem, które to wydaje się bardzo ubogie w odniesieniu do ilości i zakresu badań przeprowadzonych w trakcie realizacji pracy.

### 3. Ocena merytoryczna, wyniki pracy i ich ocena

Praca opisuje innowacyjne podejście do sterowania żurawiem przeładunkowym, wykorzystując analizę sygnałów z wielu sensorów i rozpoznawanie gestów, co jest nowoczesnym kierunkiem w komunikacji człowieka z maszyną. W pracy przedstawiono dokładną analizę metod sterowania urządzeniami dźwigowymi, a w szczególności żurawiami przeładunkowymi. Przegląd literaturowy uwzględnia normy, publikacje naukowe oraz porównanie systemów oferowanych przez producentów żurawi przeładunkowych.

Recenzowana rozprawa posiada przejrzysty układ treści. W większości jej treść napisana jest poprawną polszczyzną chociaż zdarzają się nieliczne błędy stylistyczne. Doktorant stopniowo wprowadza czytelnika w problematykę, od zagadnień podstawowych do zagadnień ściśle związanych z realizacją postawionego celu pracy. Niestety w części redakcyjnej praca zawiera wiele usterek. Do najważniejszych zaliczyłbym nieczytelne rysunki (np. rys. 29, 41) i ich anglojęzyczny opis (np. rys 28, 47).

W warstwie merytorycznej pracy można ją podzielić na trzy etapy. W pierwszym zawarto rozważania dotyczące dokładności określania pozycji operatora wewnątrz pomieszczeń jak i na zewnątrz, stosując różne sensory (Lidar, GPS z poprawkami RTN, kamery RGBD). Jako referencję przyjęto pomiar z systemu rejestracji ruchu Motion Capture. W drugim opracowano autorskie rozwiązanie jakim jest inteligentny kask monitorujący. Jest to kask ochronny ze zintegrowanymi czujnikami komunikującymi się bezprzewodowo z głównym komputerem opracowanego systemu. System pozwala na określenie pozycji operatora oraz rozpoznanie jego gestów. Natomiast trzeci etap dotyczył przeprowadzenia testów funkcjonalności opracowanego systemu. Przeprowadzono testy opracowanego systemu na stanowisku badawczym z wykorzystaniem rzeczywistego żurawia HIAB XS111 Duo. W trakcie prowadzonych badań porównano 3 metody sterowania: sterowanie gestami, sterowania joystickiem bezprzewodowym oraz sterowanie dźwigniami hydraulicznymi. Testy przeprowadzono na grupie 5 osobowej i potwierdziły poprawność działania zaproponowanego systemu.

Największą wartością pracy jest to, że Autor podjął się trudnego zadania: opracowania i zintegrowania z rzeczywistą maszyną złożonego systemu zarówno w warstwie softwarowej jak i hardwarej. To różnego rodzaju sensory jak: Lidar, GPS z poprawkami RTN, kamery RGBD, komputer główny z opracowanymi algorytmami służącymi do analizy obrazu.

Autor zaproponował i zweryfikował algorytm lokalizacji i identyfikacji operatora korzystający z sensora LiDAR. Algorytm bazuje zarówno na geometrycznych cechach skanu 3D operatora jak i zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji (model PointPillars). Ponadto w pracy zaproponowano algorytm pozwalający na fuzję danych dotyczących pozycji operatora z różnych sensorów oraz pokazano jego działanie w przypadku awarii lub borku odczytu z jednego z sensorów.

Osiągnięcie postawionego celu wymagało również od Autora w ramach przygotowań do trenowania modelu sieci bazującej na modelu PointPillars, przygotowanie zbioru danych chmur punktów. Przeprowadzono to dla dwóch skanerów LiDAR o różnej rozdzielczości z oznaczonymi sylwetkami operatorów dla 12 osób.

Recenzowana praca wskazuje, że Doktorant wykazał się umiejętnością łączenia wiedzy teoretycznej i praktycznej pochodzącej z wielu dyscyplin nauki: mechaniki, automatyki i informatyki.

Przedstawiony w pracy problem badawczy jest interesujący poznawczo i ważny ze względu na zastosowanie praktyczne, dotyczy bowiem istotnych zagadnień sterowania maszyn roboczych w tym sterowania gestami z jednoczesną kontrolą położenia operatora w polu roboczym maszyny. Opracowany system może być adaptowany do innych maszyn wymagających ciągłego nadzoru, co zwiększa jego wartość praktyczną i możliwość szerokiego zastosowania.

Lektura dysertacji nasuwa jednak pewne komentarze i uwagi krytyczne, częściowo dyskusyjne, takie jak:

- większą uwagę należało poświęcić przetestowaniu metody sterowania gestami, w grupie badanej można było uwzględnić osoby mające już doświadczenie w pracy z żurawiami przeładunkowymi (operatorów żurawi),
- pomimo zastosowania dużej ilości sensorów, nie wszystkie dane, które one generują są używane w zaproponowanym algorytmie fuzji danych, np. nie ma informacji o zastosowaniu odczytów z sensorów przyspieszeń czy żyroskopów,
- jako algorytm fuzji danych zastosowano prosty filtr Kalmana, pytanie - czy planowane jest zastosowanie bardziej zaawansowanego algorytmu?,
- w pracy przetwarzana jest duża ilość danych, czy w zastosowaniu końcowym konieczne też będzie stosowanie wydajnego komputera stacjonarnego?,
- w pracy brakuje testów dotyczących wykrywania osób postronnych wchodzących do strefy pracy żurawia załadunkowego, pytanie, czy zostaną one odróżnione od operatora?,
- system opiera się na wielu sensorach, co zwiększa ryzyko awarii jednego z komponentów i może wpływać na niezawodność całego systemu. Czy Doktorant przewidział taką sytuację?,
- złożoność technologiczna systemu może wiązać się z wysokimi kosztami wdrożenia, co może ograniczać możliwość jego praktycznego zastosowania w mniejszych firmach,
- w pracy opracowano tylko jeden zestaw gestów, czy rozważane były testy z innym zestawem gestów?,
- zastosowana metoda bazująca na sieci neuronowej wymaga wytrenowania sieci dla pojedynczego operatora. Co się stanie gdy operatorem żurawia będzie inna osoba?

Przedstawione uwagi i komentarze zostaną zapewne wyjaśnione, bądź skomentowane w trakcie publicznej obrony.

Mimo przedstawionych uwag krytycznych, realizację postawionego zadania należy ocenić pozytywnie ze względu na:

- prawidłowe zdefiniowanie przedmiotu badań,
- wykazane przez Autora dobre rozeznanie w wielu dziedzinach wiedzy, w tym umiejętności praktyczne budowy modeli matematycznych i ich numerycznych odpowiedników, integrację różnych środowisk programistycznych i sprzętowych,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

#### 4. Ocena końcowa

Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny, nie pomniejszają jednak osiągnięć Doktoranta w uzyskiwaniu wartościowych wyników naukowych i poznawczych. Mają zwrócić uwagę na dalszą pracę i uczulić na staranność w przygotowaniu samodzielnych opracowań naukowych, wnikliwą analizę oraz zgłębianie realizowanych przez Autora problemów badawczych.

Oceniając ogólnie przedstawioną rozprawę doktorską, należy podkreślić aktualność jej tematyki i potrzebę wynikającą z implementacji nowoczesnych rozwiązań technicznych, jak np. systemu opartego na rejestracji i analizie obrazów gestów służących do sterowania pracą żurawia przeładunkowego.

Praca wnosi ważny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna, gdyż dotyczy zagadnień inżynierii obliczeniowej oraz projektowania i integracji sprzętowej struktur mechatronicznych.

Opiniowana praca pana mgr. inż. Karola Miądlickiego cechuje się interdyscyplinarnym podejściem do badań symulacyjnych oraz doświadczalnych. Zawiera oryginalne rozwiązanie sformułowanego problemu naukowego i ma olbrzymi potencjał aplikacyjny. Opracowane podczas realizacji niniejszej dysertacji nowoczesne wielosensorowe systemy lokalizacji operatora oraz rozpoznawania jego gestów świadczą o odpowiednim przygotowaniu Doktoranta do prowadzenia samodzielnej działalności naukowo – badawczej. Potwierdza to również zgromadzony dorobek publikacyjny.

Recenzowana praca spełnia wymogi odnośnie do przewodu doktorskiego, określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami) oraz Ustawy o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z 2018 roku.

Biorąc powyższe pod uwagę, wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta mgr inż. Karola Miądlickiego do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Człowiek nieustannie dążył i nadal dąży do poprawy komfortu swojego życia. Integralną częścią tego procesu jest rozwój nauki, technologii, a tym samym przemysłu. Dziś mechanika jest w synergii połączona z elektrotechniką, systemami czujników, sztuczną inteligencją, zaawansowanymi systemami sterowania i interdyscyplinarnym myśleniem systemowym w projektowaniu produktów i procesów produkcyjnych. Można powiedzieć, że „czysta” mechanika była jednym z elementów, który warunkował powstanie i sukces naszego nowoczesnego etapu rozwoju przemysłowego.

W związku z niewielkim postępem w rozwoju interfejsów do sterowania urządzeniami dźwigowymi, a w szczególności żurawiami przeładunkowymi treści przedstawione w recenzowanej pracy stają się przyczynkiem do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań w tej dziedzinie. Wnoszę za tym, że w przypadku pozytywnej obrony pracy doktorskiej, o jej wyróżnienie. W uzasadnieniu przedstawionego wniosku chciałbym zwrócić uwagę na wyjątkowość przedstawionego w niniejszej dysertacji rozwiązania. Opracowywany system ma umożliwić operatorowi intuicyjne sterowanie żurawiem załadunkowym z zastosowaniem gestów. Ponadto zaimplementowane śledzenie pozycji operatora oraz monitorowanie strefy pracy żurawia załadunkowego zapewnia zwiększenie bezpieczeństwa zarówno samego operatora jaki i osób przebywających w pobliżu strefy jego pracy. Dodatkowym argumentem dla prezentowanego przez mnie stanowiska jest fakt, że znaczna część treści przedstawianych w niniejszej dysertacji została opublikowana w renomowanych recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym i materiałach renomowanych konferencji o zasięgu międzynarodowym.



---

**UCZELNIA  
BADAWCZA**  
INICJATYWA DOSKONALOSCI