

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

Warszawa 05 luty 2025 r.

**SEKRETARIAT**  
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 13.02.2025  
Zarejestrowano pod nr 510-17-5/25  
Podpis dm

**RECENZJA**  
**rozprawy doktorskiej**  
**Autor: mgr. inż. Arun Kumar YADAV**

**Temat rozprawy w języku polskim: „Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych”**

**Temat respray w j. angielskim: „Crack inspection methodology for box girders the overhead crane”**

Promotor: prof. dr. hab. inż. Janusz SZPYTKO

Podstawą opracowania recenzji rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Aruna Kumara YADAVA było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej, Pana dr hab. inż. Ryszarda SROKI, prof. AGH z dn. 10.01.2025 roku.

**1. Ocena aktualności wybranego tematu**

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy badań dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych w aspekcie możliwości identyfikacji ich uszkodzeń. Prowadzenie obserwacji zmian zachodzących w strukturze materiału dźwigarów suwnic pomostowych jest zagadnieniem czasochłonnym, trudnym i złożonym, nie tylko z uwagi na wielkogabarytowość konstrukcji suwnicy pomostowej, ale także z uwagi na instalację urządzenia na znacznej wysokości. Zmienne warunki otoczenia, ograniczony czas dostępności urządzenia dla potrzeb badań, oraz możliwe zagrożenia w zakresie bezpieczeństwa dla personelu wykonującego badania stanu technicznego dźwigarów to dodatkowe czynniki utrudniające badania. Dlatego też badania dźwigarów suwnic pomostowych są w praktyce prowadzone zazwyczaj bardzo nieregularnie.

Z uwagi na fakt, że skutkami uszkodzeń dźwigarów skrzynkowych suwnic pomostowych, są trwałe zmiany w ich geometrii oraz pęknięcia i inne zmiany w strukturze materiału dźwigarów, powoduje to dodatkowe naprężenia i odkształcenia, które mają swoje przełożenie na bezpieczeństwo i niezawodność urządzenia a także jego trwałość oraz koszty eksploatacji,

bardzo istotnym zagadnieniem jest bieżąca ocena stanu technicznego dźwigarów suwnic pomostowych, w szczególności możliwych zmian w strukturze materiału konstrukcji.

## **2. Cel realizowanej rozprawy doktorskiej i uzasadnienie przyjętej koncepcji badań**

Zawarty w rozdziale pierwszym rozprawy zatytułowanym „Introduction” materiał poświęcony jest w głównej mierze klasyfikacji suwnic w oparciu o różne kryteria. Na tej podstawie przedstawiona jest motywacja Doktoranta do podjęcia tematu. Cel rozprawy Doktorant określił następująco: „Podstawowym celem badania jest identyfikacja uszkodzeń konstrukcji stalowej dźwigarów suwnic portowych.” Tak ujęty cel pracy jest dość uogólniony i nie odzwierciedla złożoności zagadnienia ani nie uszczegóławia obszaru badawczego na rozwiązanie którego Doktorant koncentruje się w trakcie realizacji rozprawy. Podyktowane to być może tym, że cel rozprawy sformułowano przed przeprowadzeniem analizy stanu zagadnienia, który niewątpliwie przybliży zakres obszaru badawczego należytego do przeprowadzenia dla zwiększenia precyzji i szybkość przeprowadzenia kontroli stanu suwnic. Co w konsekwencji umożliwi szybką i wczesną ocenę ich zużycia, oraz wykrywanie uszkodzeń i zapobieganie awariom.

Podanie celu rozprawy w sposób bardziej ukierunkowujący problem badawczy umożliwiłby uporządkowanie dyskusji nad recenzowaną rozprawą i umożliwiłoby pełniejszą ocenę osiągniętych rezultatów.

Bardziej dogłębnie przedstawił Doktorant uzasadnienie podjęcia się prowadzonej tematyki badawczej a w szczególności znaczenia badań nad zrobotyzowaniem procesu wykrywania uszkodzeń w konstrukcji stalowej suwnicy. Mają one na celu zmniejszenie narażenia ludzi na pracę w środowisku wysokiego ryzyka, co może skutkować potencjalnymi wypadkami. Po drugie, zwiększy precyzję i szybkość prowadzenia kontroli, a tym samym umożliwi szybką i wczesną ocenę wykrywanie uszkodzeń a w konsekwencji zapobieganie awariom. Po trzecie, wykorzystanie robota do wykrywania będzie bardziej ekonomiczne dzięki wyeliminowaniu potrzeby stosowania rusztowań, drabin lub innego konwencjonalnego sprzętu, który jest dotychczas używany. W związku z tym niniejsza praca jest motywowana poprawą jakości i bezpieczeństwa prac na pomostach suwnicowych.

## **3. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Doktoranta**

Recenzowana rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną pana mgr inż. Aruna Kumara Yadava w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Doktorant przedstawił do oceny rozprawę, zatytułowaną: „Crack inspection methodology for box girdes the overhead crane” napisaną w języku angielskim. Część wstępna rozprawy, zawarta na 19 stronach maszynopisu, obejmuje streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, wykazy rysunków i tabel, wykaz użytych skrótów, oraz podziękowania. Zasadnicza część rozprawy zawarta jest na 190 stronach maszynopisu i podzielona jest na siedem numerowanych rozdziałów obejmujących: wprowadzenie, analizę i projektowanie kół magnetycznych, opis komponentów stosowanych do budowy robota, projektowanie robota, analizę wyników zaprojektowanego urządzenia, uwagi i wnioski końcowe. Zakończeniem pracy jest nienumerowany rozdział zawierający wykaz analizowanej literatury. Struktura



rozprawy jest mało uporządkowana, jednak jej treść zgodna jest z tytułem. Pewne wątpliwości może wzbudzać tłumaczenie tytułu rozprawy na język polski. „Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych”. Angielskie słowo „crack” nie jest odpowiednikiem polskiego słowa „uszkodzenie”.

Rozdział 1 – „Introduction”. Jest to rozdział o najbardziej chaotycznej strukturze zarówno pod względem zawartości merytorycznej jak i edytorskiej. W początkowej części Doktorant przedstawia ważkość problematyki związanej z rzetelną i terminową kontrolą stanu suwnic oraz problemy z tym związane, uzasadniając konieczność automatyzacji tego procesu w celu poprawy jakości i szybkości kontroli przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów i zwiększeniu bezpieczeństwa obsługi. Następnie przeprowadza klasyfikację suwnic według różnych kryteriów. Kolejny punkt zawiera motywację robotyzacji procesu inspekcji maszyn która podyktowana jest niewątpliwie doświadczeniem Doktoranta ale nie jest ona poparta wnioskami z przeprowadzonej analizy literaturowej. W opisie problemu przedstawia Doktorant opis opracowanego w ramach pracy robota. Akapit, w którym opisano zalety robota (który jest rozwiązaniem opracowanym w ramach pracy) powinien być raczej umieszczony w podsumowaniu rozprawy. W opisie problemu należy raczej wykazać potrzebę wykonania robota o wymaganych zdolnościach w obszarze mobilności i możliwościach detekcyjnych. W kolejnym punkcie zatytułowanym „Objective” przedstawiono, że celem badania jest identyfikacja uszkodzeń konstrukcji stalowej dźwigarów suwnic portowych oraz, że opracowany robot będzie wykrywał wady powierzchniowe i podpowierzchniowe w dużych konstrukcjach stalowych, biorąc pod uwagę szereg parametrów.

Rozdział 2 – „Literature review”, obejmujący ponad trzydzieści stron rozprawy zawiera analizę literaturową, dotychczasowych prac prowadzonych nad rozwojem robotów inspekcyjnych stosowanych do różnych celów i w różnych sektorach gospodarki. Bardzo obszerny materiał zgromadzony w tym rozdziale dokładnie opisuje szereg robotów inspekcyjnych, w tym roboty latające, pełzające i roboty wspinające. Ten opis nie jest bezpośrednio związany z badaniami prowadzonymi przez Doktoranta. Istotne znaczenie dla prac prowadzonych przez doktoranta ma analiza zagadnienia przedstawiona w punkcie 2.5 poświęcona kołom z magnesami trwałymi. Jednak w pkt. 2.5.2 zatytułowanym „ograniczenia wcześniejszych rozwiązań” skupiono się na niedociągnięciach tylko jednego robota (z dwoma kołami). Przeanalizowano również sposoby rozwiązania i działania mechanizmów ukierunkowanych na wspinanie i wielokrotnie przewija się wątek rozwiązania opracowanego przez Doktoranta.

Rozdział 3 – „Methodology: Design and analysis of robotic magnetic wheels” jest jednym z istotnych rozdziałów pracy. Zawiera on opis prowadzonych prac badawczych, od przyjęcia koncepcji do finalnego rozwiązania opracowanego koła magnetycznego wykorzystującego trwałe magnesy neodymowe. Prace były ukierunkowane na zmniejszenie niedoskonałości, wcześniej opracowanych, kół magnetycznych do robotów wspinaczkowych. Doktorant wykazał niedociągnięcia pierwszych rozwiązań konstrukcji kół. Zaproponował kilka projektów kół magnetycznych, opartych na wnioskach z wcześniejszych rozwiązań. Specyfikacje potrzebne opracowanemu robotowi wspinaczkowemu zostały wzięte pod uwagę

przy tworzeniu nowatorskiej konstrukcji koła. Ponadto w rozdziale zamieszczono wyniki badań eksperymentalnych zmian strumienia magnetycznego za pomocą FEMM.

Rozdział 4 – „Methodology: components used for robot manufacturing” zawiera krótkie opisy komponentów użytych do zbudowania systemu robotycznego. Trudno jest znaleźć uzasadnienie do użycia w tytule słowa metodologia. W treści rozdziału Doktorant ograniczył się do przedstawienia bardzo zwięzłego opisu elementów elektronicznych: kontrolera, baterii i odbiornika GPS. Nie wykazał uzasadnienia zamieszczenia rozszerzonego opisu działania diody. Pod względem edytorskim nie jest uzasadniony podział opisu systemu GSM na dwa oddzielne podpunkty w tym wyodrębnienie z podpunktu 4.6 podpunktów 4.6.1 i 4.6.1.1 zamieszczonych na niecałych dwóch stronach tekstu.

Rozdział 5 – „Methodology: robot design” obejmuje opis budowy elastycznej struktury robotycznej. Jest to początkowa faza projektu badawczego. Zawarto w nim opis układu kierowania jazdą robota, przedstawiono wykorzystywane do jazdy zjawiska adhezyjne oraz kinematykę członów robota dla różnych konfiguracji konstrukcji (różne kąty ułożenia członów robota) wraz z konstrukcją robota do wspinania się na suwnicę dla różnych powierzchni. Zbudowany model kinematyczny mobilnego czterokołowego robota był podstawą wyznaczenia jego zdolności mobilnych i wymaganej siły napędowej. Rozwiązując równania kinematyczne dla kilku wybranych scenariuszy ruchu robota Doktorant wykazał, że opracowany robot spełnia przyjęte założenia. Po upewnieniu się, że robot spełnia wszystkie ograniczenia ruchu, projekt ten został zbudowany i w efekcie powstał robot do celów inspekcyjnych. Można zatem stwierdzić, że otrzymano narzędzie robotyczne do realizacji operacji wspinania się na dźwigarach suwnic.

Rozdział 6 - „Analysis of results of designed non-destructive testing device using GMR sensor” zamieszczony na 58 stronach rozprawy jest oryginalnym wkładem naukowym Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Na początku rozdziału przedstawiono zalety i wady kilku procedur badań nieniszczących (NDT), w tym badań prądami wirowymi, oraz badań z wykorzystaniem sygnałów ultradźwiękowych. Opisano właściwości technologii wykrywania uszkodzeń z wykorzystaniem czujników magnetycznych (GMR) i korzyści wynikające z zastosowania czujników GMR do wykrywania uszkodzeń w systemach robotycznych. Omówiono konceptualizację matrycy czujników GMR, a także przedstawiono dane wyjściowe matrycy czujników otrzymanych podczas eksperymentu. W dalszej części tego rozdziału zostały omówione schematy sterowania, architektury i przepływu systemów robotycznych. Rozdział zawiera informacje na temat wykresów wyjściowych czujnika GMR, wpływu startu na matrycę czujników oraz układu sterowania robotem z programowaniem.

Zdaniem Recenzenta korzystniejsze, dla przejrzystości napisanej rozprawy, byłoby przeorganizowanie rozdziału pod względem edytorskim. Punkt 6.5 dotyczący przeglądu literatury powinien być zamieszczony przed wyznaczeniem celu pracy (opisanego w rozdz. 1). Punkt 6.9.2. programowanie robota być może należało zamieścić w załączniku do rozprawy? Punkt 6.10 zatytułowany „Conclusions” obejmuje swym zakresem opis przebiegu badań wykrywania korozji i pęknięć na mostach suwnic poprzez połączenie czujnika GMR z elastyczną ramą robota wspinaczkowego jest głównym elementem tego rozdziału. Czy zatem nie należałoby zmienić jego tytuł?

Rozdział 7 – „Final remarks and conclusion” zawiera uwagi końcowe i wnioski ze zrealizowanej pracy choć w dużej części Doktorant skupia się w nim na opisie działań zrealizowanych w trakcie pracy badawczej. Przedstawiono także zalecenia dotyczące dalszych kierunków pracy badawczej związanej z rozwojem i udoskonaleniem opracowanego rozwiązania.

#### **4. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta**

W części badawczej swojej rozprawy Doktorant zaproponował nowatorskie podejście do wykrywania korozji i pęknięć na mostach suwnic poprzez połączenie czujnika GMR z elastyczną ramą robota wspinaczkowego. Elastyczność mobilności zapewniana przez konstrukcję robota umożliwia znacznie szybszą, bezpieczniejszą i bardziej precyzyjną inspekcję suwnic.

Realizując pracę Doktorant zaproponował różnorodne konstrukcje kół magnetycznych, które mogą być używane w robocie wspinaczkowym. Podstawową kwestią konstrukcji koła magnetycznego we wcześniejszych badaniach było otrzymanie lekkiego koła przy jednoczesnym zapewnieniu odpowiedniej przyczepności i siły tarcia. Bieżnik koła magnetycznego zawsze pokryty był gumową oponą, aby zwiększyć jego współczynnik tarcia. Siła przyczepności spada jednak zauważalnie ze względu na zwiększony współczynnik tarcia gumowej opony. Aby rozwiązać ten problem, wprowadzono innowacyjną konstrukcję koła magnetycznego. Gdy obwód magnetyczny jest połączony z gumową oponą z ząbkowanym bieżnikiem, siła przyczepności i współczynnik tarcia uległy dzięki temu znacznej poprawie.

Konstrukcja opracowanego robota obejmuje układy jazdy i zawieszenia, kierowania, konfiguracji, oraz skrętu. Robot jest w stanie pokonać szeroki zakres różnorodnych przeszkód, w tym schody oraz pochyłe i pionowe ściany. Może też manewrować na wklęsłych łukach dzięki zdolności zginania.

W celu przeprowadzenia weryfikacji mobilności robota i określenia jego ograniczeń, przeprowadzono badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych. Wykazały one, że robot może osiągać maksymalną prędkość 0,32 m/s i poruszać się ze stałą prędkością średnio 0,18 m/s. Najwyższa śruba, jaką robot może pokonać, to 30 mm.

Stosowane techniki badań nieniszczących, wykorzystujących prądy wirowe i strumień magnetyczny, należą do powszechnie stosowane do sprawdzania stalowych dźwigarów suwnic. Jednak, jak wykazał Doktorant, mają one ograniczenia, jeśli chodzi o kontrolę mostów stalowych. Zastosowana przez Doktoranta matryca czujników GMR została zaprojektowana do wykrywania ubytków metalu we wczesnych fazach degradacji suwnic.

Nowoczesne procedury kontrolne w dużej mierze opierają się na wartościach wznoszenia, które muszą być utrzymywane na stałym poziomie podczas testu. Wbudowany układ czujników GMR umieszczony nad kołem tylnej osi robota zapewnia precyzyjne wyniki pomiarów. Czujnik GMR mierzy fluktuacje linii strumienia magnetycznego w celu zidentyfikowania wszelkich ubytków lub pęknięć metalu, a usterka jest pokazana jako wartość szczytowa na wykresie.

## **5. Ocena metody badawczej i oryginalnego dorobku Autora**

W wyniku realizacji pracy opracowano i zbudowano zautomatyzowanego, specjalistycznego robota do wykrywania pęknięć, korozji i innych rodzajów wad dźwigarów suwnicowych przy użyciu technik badań nieniszczących. Robot wyposażony jest w szereg czujników magneto rezystancyjnych (GMR), może również przenosić inne rodzaje specjalizowanych czujników, zbierać dane pomiarowe i przysyłać je do oddalonej stacji w celu akwizycji i przetwarzania wyników testów a także prowadzenia procesy decyzyjnego w czasie rzeczywistym.

Realizacja pracy doktorskiej pozwoliła opracować nowatorskie podejście do kontroli dźwigarów suwnicowych. Opracowany sposób identyfikacji uszkodzeń dźwigarów suwnicowych osiągnięto poprzez opracowanie nowatorskiego rozwiązania umożliwiającego automatyzację procesu inspekcji. Umożliwiło to osiągnięcie celu badań poprzez połączenie robota o elastycznej konstrukcji z czterema kołami magnetycznymi i układem czujników GMR.

Recenzent docenia dorobek Doktoranta za uzyskanie interesujących wyników naukowo-badawczych w przedłożonej rozprawie doktorskiej, która stanowi oryginalne rozwiązanie istotnego problemu naukowego i wartościowy wkład użyteczny do dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Przekazane Doktorantowi do dyskusji uwagi recenzenta dotyczyły edycji rozprawy i nie umniejszają jej wartości merytorycznej.

Na podstawie wnikliwej analizy przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej, jak również kilku publikacji Doktoranta w zakresie kontroli uszkodzeń w dźwigarach suwnic, dowiedziono realizacji celu rozprawy iż możliwa jest nieniszcząca zrobotyzowana identyfikacja uszkodzeń konstrukcji stalowej dźwigarów suwnic.

Doktorant wykazał się dobrym warsztatem naukowym, dobierając odpowiednie metody badawcze, a także udowodnił, że potrafi analizować i oceniać uzyskane rezultaty oraz formułować poprawne wnioski. Wykazał się przy tym bardzo dobrym przygotowaniem merytorycznym co stawia go w szeregu bardzo dobrych specjalistów.

## **6. Niedociągnięcia dostrzeżone w rozprawie i problemy dyskusyjne**

Rozprawa spełnia wszystkie kryteria formalne, stawiane pracom doktorskim, jednak zawiera także pewne niedociągnięcia. Autor w kilku miejscach nie uniknął niedopowiedzeń, oraz błędów edytorskich. Do najczęstszych należą: brak kropki na końcu numeru w numeracji kolejnych punktów pracy, inna numeracja rysunków w rozdziale pierwszym niż w pozostałych rozdziałach.

Mankamentem związanym z układem pracy jest nieuzasadnione wprowadzenie podpunktów obejmujących często niecałą stronę (1.4.1, 3.1.1, 3.2.1, 4.2.1, 4.6.1, 6.3.1.2, 6.4.1, 6.5.1).

Poniżej przedstawiono zauważone braki i błędy edytorskie.

Str. I.: Jeżeli treść rozdziału (Streszczenie) jest w języku polskim to tytuł rozdziału też „streszczenie” też powinien być w języku polskim.

- Str. IX: W spisie treści brak pkt. 6.6.
- Str. 10 i 12: Zamiennie używanie jednostek miar stopy – metry.
- Str. 10: Jak rozumieć tekst „Below is a diagram of the under-running crane configuration from Figure 1.4.”? W pracy poniżej tekstu jest rysunek 4.
- Str. 25 i 33: Błędne użycie określenia waga zamiast masa.
- Str. 35: Co Autor rozumie pod pojęciem robot hybrydowy?
- Str. 42: Część rysunku 2.11 znajduje się na drugiej stronie.
- Str. 43. „This wheel is made to last four generations in order to solve the issues.” co oznacza 4 generacje?
- Str. 48: Rys. 2.16 zamieszczony jest na dwóch stronach, ponadto brak opisu oznaczeń z rys. 2.16a
- Str. 68: Jakiej wielkości jednostką jest kgf?
- Str. 69: Jaki był powód wyodrębnienia ppkt 3.3.1?
- Str. 69: W tytule tabeli 3.6 podano wymiary a na str 70 podano że wartości sił
- Str. 70 Niezrozumiały podpis pod rysunkiem. 3.15.
- Str. 71: Nie rozumiały podpisy pod rysunkami 3.16, i 3.17.
- Str. 72: Brak jednostek na rysunku 3.18.
- Str. 94 i 105: Takie same numery wzorów !!!
- Str. 105: Jakiego sformułowania należy użyć „driving force”, czy „thrust”?
- Str.126: Brak wskazania źródła rysunku 6.7.
- Str. 154, 156 i 158: Nieuporządkowane podpisy pod rysunkami (6.26).
- Str. 159 i 161. Nieuporządkowane rysunki 6.27 i 6.29 i brak odniesienia w tekście do rysunków
- Str. 167 i 168: Dwa rysunki z podpisem rysunek 6.31.

Powyższe uwagi nie ujmują wartości merytorycznej rozprawy, szczególnie na tle przedstawianych w rozprawie interesujących i nowatorskich, możliwych do skomercjalizowania, wyników badań naukowo-technicznych.

Lektura rozprawy nasunęła pewne uwagi problemowe, nad którymi chciałbym przeprowadzić dyskusję w czasie obrony. Uwagi co do których oczekuję odpowiedzi pisemnych i dyskusji w trakcie obrony:

1. Na str. 42 rozprawy Doktorant podał, że zbadano kilka metod lokomocji – w rozprawie opisano kilka robotów bez przeprowadzenia analizy układów jezdnych, na jakiej podstawie zatem Doktorant wysunął wniosek, że kołowe układy jezdne są najlepsze?
2. Na str. 88 rozprawy Doktorant podał, że „ponieważ jest teleoperowany to można go sterować zdalnie. Proszę o wyjaśnienie pojęć „Zdalne sterowanie” i „teleoperacja”.
3. Na str. 116 rozprawy w pkt. 6.3.1 Doktorant napisał, że „...wpływającymi na odpowiedź cewki są:” proszę wymienić co Doktorant miał na myśli.
4. Na str. 116 rozprawy w pkt. 6.3.1.1 Doktorant podał, że: „Częstotliwość wzbudzenia w ECT zależy od wielkości mostu suwnicy. „ – proszę rozwinąć to zagadnienie.
5. Na str. 117 w Tabeli 6.1 zamieszczono konduktywność i rezystywność różnych materiałów, proszę podać definicje tych wielkości i jakie są ich jednostki.

6. Na str. 118. rozprawy Doktorant podał, że w metodzie badań prądami wirowymi w celu wykrycia problemów podpowierzchniowych na mostach suwnicowych zostanie podana niższa częstotliwość prądu. Proszę podać o jakich częstotliwościach prądy wirowe będą zastosowane i uzasadnić z czego one wynikają.
7. Na str. 177 rozprawy Doktorant podał „, In the end it is right to mention by performing this research, a cost-efficient, flexible versatile, safe and reliable, and faster inspection methodology came in the real time monitoring and inspection for the overhead crane girders.“ Nie popierając tego żadnymi wynikami z pracy. Proszę wykazać co wskazuje, że proponowane rozwiązanie jest efektywne kosztowo, elastyczne, wszechstronne, bezpieczne i niezawodne, szybsze od innych metod w zakresie monitorowania i kontroli dźwigarów suwnic w czasie rzeczywistym.
8. Techniki nieniszczące wykrywania uszkodzeń (NDT) są najbardziej odpowiednimi metodami oceny wad suwnic zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym. Proszę określić jakie inne czujniki mogą być stosowane w tej metodzie przy inspekcji suwnic.
9. Czy może Doktorant określić w jakiego rodzaju uszkodzeniach (np. wżery, pęknięcia, wgniecenia) i w jakim zakresie wielkości tych uszkodzeń można wykorzystywać opracowaną metodę badawczą lokalizacji uszkodzeń.

## 7. Końcowa ocena pracy

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Aruna Kumara YADAVA mieści się w dyscyplinie naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne. Moja ocena pracy jest pozytywna, pomimo znacznej liczby uwag edytorskich. Praca zawiera szereg nowych interdyscyplinarnych wyników poznawczych. Uzupełniają one w tym zakresie stan wiedzy z tematyki nieniszczących badań stanu suwnic mostowych. Rozprawa ta przede wszystkim wnosi oryginalne wnioski w zastosowaniu do praktyki wdrożeniowej.

Recenzowana rozprawa spełnia warunki dla rozpraw doktorskich określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 poz. 1571). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Aruna Kumara YADAVA, przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne, Akademii Górniczo-Hutniczej, do dalszego procedowania.





Andrzej Typiak, PhD, Eng., professor of Military  
University of Technology  
Military University of Technology  
Faculty of Mechanical Engineering  
Institute of Robots and Machine Design  
ul. gen S. Kaliskiego 2  
00-908 Warsaw  
andrzej.typiak@wat.edu.pl

Warsaw, February 5, 2025

[stamp:]

RECEPTION

of the Board for the Discipline of Automation,  
Electronics, Electrical Engineering and Space  
Technologies [AEEiTK]

Received on 13.02.2025

Registered with reference number 510-17-5/25

Signature /illegible signature/

## REVIEW

of a doctoral thesis

**Author: Arun Kumar YADAV, MSc. Eng.**

**Dissertation topic in Polish: “Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach  
skrzynkowych suwnic pomostowych”**

**Dissertation topic in English: “Crack inspection methodology for box girders the  
overhead crane”**

Supervisor: Janusz SZPYTKO, Prof. PhD, Eng.

The basis for the review of the doctoral dissertation of Mr Arun Kumar YADAV, MSc. Eng., was the letter from the Chairman of the Board for the Discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies [AEEiTK] of the University of Science and Technology [AGH], Mr Ryszard SROKA, PhD, Eng., professor of the AGH University of Science and Technology, dated 10.01.2025.

### **1. Assessment of the relevance of the selected topic**

The reviewed doctoral dissertation concerns the research of box girders of overhead cranes in terms of the possibility of identifying their damage. Observing changes occurring in the material structure of girders of overhead cranes is a time-consuming, difficult and complex issue, not only due to the large size of the girder structure, but also due to the installation of the device at a significant height. Variable environmental conditions, limited time of availability of the device for testing purposes, and possible safety hazards for personnel performing technical condition tests of girders are additional factors hindering the testing. Therefore, in practice, the tests of girders of overhead cranes are usually carried out very irregularly.

Due to the fact that the effects of damage to the box girders of overhead cranes are permanent changes in their geometry as well as cracks and other changes in the material structure of the girders, this causes additional stresses and deformations, which have impact on the safety and reliability of the device, its service life and operating costs, a very important issue is the

ongoing assessment of the technical condition of the girders of overhead cranes, in particular possible changes in the structure of the structure material.

## **2. Objective of the dissertation and justification of the adopted research concept**

The material contained in the first chapter of the dissertation entitled “Introduction” is mainly devoted to the classification of cranes based on various criteria. On this basis, the motivation of the Doctoral Student to take up the topic is presented. The aim of the dissertation was defined by the Doctoral Student as follows: “The primary purpose of the investigation is to identify faults in the steel structure of the port’s overhead cranes girders.” The purpose of the dissertation expressed in this way is quite generalised and does not reflect the complexity of the issue or specify the research area on which the Doctoral Student focuses in the dissertation. This may be due to the fact that the purpose of the dissertation was formulated before the analysis of the state of the issue, which undoubtedly approximates the scope of the research area to be carried out to increase the precision and speed of verifying the condition of overhead cranes. As a consequence, this will enable a quick and early assessment of their wear and tear, as well as the detection of damage and prevention of failures.

Stating the purpose of the dissertation as a more focused research problem would make it possible to organise the discussion on the dissertation under review and would enable a more complete assessment of the results achieved.

The Doctoral Student’s rationale for taking up the research topic and in particular the importance of researching the robotisation of the damage detection process in the steel structure of an overhead crane was presented in more detail. These measures are designed to reduce people’s exposure to working in a high-risk environment, which can result in potential accidents. Secondly, it would increase the precision and speed of inspections, and thus enable a quick and early assessment of the detection of damage and, as a consequence, the prevention of failures. Thirdly, the use of the robot for detection purposes will be more cost-effective by eliminating the need for scaffolding, ladders, or other conventional equipment that has been used so far. Therefore, this work is motivated by improving the quality and safety of work on overhead cranes.

## **3. Evaluation of the Doctoral Student’s general theoretical knowledge**

The dissertation under review presents the general theoretical knowledge of Arun Kumar Yadav, MSc. Eng., in the discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. The Doctoral Student presented a dissertation entitled: “Crack inspection methodology for box girders the overhead crane” written in English. The introductory part of the dissertation, contained on 19 typewritten pages, includes abstracts in Polish and English, a table of contents, lists of drawings and tables, a list of abbreviations used, and acknowledgements. The main part of the dissertation is contained in 190 typewritten pages and is divided into seven numbered chapters covering: introduction, analysis and design of magnetic wheels, description of components used to build the robot, design of the robot, analysis of the results of the designed device, comments and final conclusions. The dissertation concludes with an unnumbered chapter listing the analysed literature. The dissertation is poorly structured, but its content is consistent with the title. The translation of

the title of the dissertation into Polish may raise some doubts: “Metodyka kontroli uszkodzeń w dźwigarach skrzynkowych suwnic pomostowych”. The English word “crack” is not the equivalent of the Polish word “uszkodzenie”.

Chapter 1 – “Introduction”. This is the chapter with the most chaotic structure both in terms of content and editing. In the initial part, the Doctoral Student presents the importance of the issues related to reliable and timely inspection of the condition of overhead cranes and the problems associated with justifying the need to automate this process in order to improve the quality and speed of inspection while reducing costs and increasing the safety of service. He then goes on to classify overhead cranes according to various criteria. The next section contains the motivation for the robotisation of the machine inspection process, which is undoubtedly dictated by the Doctoral Student’s experience, but it is not supported by conclusions of the literature analysis. In the description of the problem, the Doctoral Student provides a description of the robot developed as part of the work. The paragraph describing the advantages of the robot (which is the solution developed as part of the work) should rather be included in the summary of the dissertation. The description of the problem should rather demonstrate the need to implement a robot with the required mobility and detection capabilities. The next section entitled “Objective” shows that the purpose of the study is to identify damage to the steel structure of the girders of port overhead cranes and that the developed robot will detect surface and subsurface defects in large steel structures, taking into account a number of parameters.

Chapter 2 – “Literature review”, which covers more than thirty pages, is based on an analysis of the literature on previous work carried out on the development of inspection robots used for various purposes and in various sectors of the economy. The very extensive material collected in this chapter thoroughly describes a range of inspection robots, including flying robots, crawling robots and climbing robots. This description is not directly related to the research conducted by the Doctoral Student. The analysis of the issue presented in section 2.5 devoted to permanent magnet wheels is of significant importance for the work carried out by the Doctoral Student. However, Section 2.5.2 entitled ‘Limitation of previous research’ focuses on the shortcomings of only one robot (with two wheels). The methods of solving and operating climbing mechanisms were also analysed, and the solution developed by the Doctoral Student is repeatedly mentioned.

Chapter 3 – “Methodology: Design and analysis of robotic magnetic wheels” is one of the important chapters of the dissertation. It contains a description of the conducted research work – from the adoption of the concept to the final solution of the developed magnetic wheel using permanent neodymium magnets. The work was aimed at reducing the imperfections of the previously developed magnetic wheels for climbing robots. The Doctoral Student showed the shortcomings of the first solutions of the wheel structure. He proposed several designs of magnetic wheels based on the conclusions of previous solutions. The specifications needed for the developed climbing robot were taken into account when creating the innovative wheel structure. In addition, the results of experimental studies of magnetic flux changes using FEMM were presented in the chapter.

Chapter 4 – “Methodology: components used for robot manufacturing” contains short descriptions of the components used to build a robotic system. It is difficult to find a justification for using the word ‘methodology’ in the title. In the content of the chapter, the

Doctoral Student presented only a very brief description of electronic components: the controller, the battery and the GPS receiver. He did not present a justification for including an extended description of the diode's operation. In editorial terms, it is not justified to divide the description of the GSM system into two separate sub-items, including the separation of sub-item 4.6 into sub-items 4.6.1 and 4.6.1.1 on less than two pages of text.

Chapter 5 – “Methodology: robot design” includes a description of the construction of a flexible robotic structure. This is the initial phase of the research project. It contains a description of the robot's driving control system, presents the adhesion phenomena used for moving and the kinematics of parts of the robot for different design configurations (different angles of the robot joints' arrangement), together with the design of the robot for climbing the crane on various surfaces. The built kinematic model of the mobile four-wheeled robot was the basis for determining its mobility capabilities and the required driving force. By solving the kinematic equations for several selected scenarios of the robot's movement, the Doctoral Student demonstrated that the developed robot meets the assumptions. After making sure that the robot meets all movement restrictions, this project was built and the result was an inspection robot. Thus, it can be concluded that a robotic tool has been obtained for the implementation of climbing operations on girders of cranes.

Chapter 6 – “Analysis of results of designed non-destructive testing device using GMR sensor” contained in 58 pages of the dissertation is the original scientific contribution of the Doctoral Student to the development of the scientific discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. The chapter begins with an overview of the advantages and disadvantages of several non-destructive testing (NDT) procedures, including eddy current testing, and testing using ultrasonic signals. The features of magnetic sensor (GMR) based damage detection technology and the benefits of using GMR sensors for damage detection in robotic systems are described. The conceptualisation of the GMR sensor array was discussed, and the output of the sensor array obtained during the experiment was presented. The remainder of this chapter discusses the control, architecture, and flow diagrams of robotic systems. The chapter includes information on GMR sensor output graphs, the impact of the lift-off on the sensor array, and the robot control system with programming. In the Reviewer's opinion, for the clarity of the written dissertation, it would have been more beneficial if the chapter had been reorganised in terms of editorial layout. Section 6.5 concerning the literature review should be included before the objective of the dissertation is determined (described in Chapter 1). Perhaps section 6.9.2. ‘Programming of robot’ should have been included in the appendix to the dissertation? Section 6.10 entitled ‘Conclusions’ covers the description of the course of corrosion and crack detection tests on crane bridges by combining the GMR sensor with the flexible climbing robot frame. It is the main component of this chapter. Shouldn't the title be changed?

Chapter 7 “Final remarks and conclusion” contains the final comments and conclusions on the completed work, although for the most part the Doctoral Student focuses on the description of activities carried out during the research work. Recommendations for further directions of research work related to the development and improvement of the developed solution were also presented.

#### **4. Assessment of the Doctoral Student's ability to conduct independent scientific work**

In the research part of his dissertation, the Doctoral Student proposed an innovative approach to detecting corrosion and cracks on crane bridges by combining a GMR sensor with a flexible climbing robot frame. The flexibility of mobility provided by the robot's design allows for much faster, safer, and more precise inspection of overhead cranes.

In carrying out the work, the Doctoral Student proposed various designs of magnetic wheels that can be used in a climbing robot. The primary concern of magnetic wheel design in previous studies was to obtain a lightweight wheel while providing adequate grip and friction. The tread of the magnetic wheel has always been covered with a rubber tire to increase its friction coefficient. However, the grip force drops noticeably due to the increased coefficient of friction of the rubber tire. In order to solve this problem, an innovative magnetic wheel design was introduced. When the magnetic circuit is connected to a rubber tire with a serrated tread, the grip force and friction coefficient are greatly improved as a result. The design of the developed robot includes driving, suspension, steering, configuration, and turning systems. The robot is capable of overcoming a wide range of different obstacles, including stairs and sloping and vertical walls. It can also maneuver on concave cavities thanks to its bending ability.

In order to verify the mobility of the robot and determine its limitations, experimental tests were carried out in real-world conditions. They showed that the robot can reach a maximum speed of 0.32 m/s and move at a constant speed of 0.18 m/s on average. The highest screw the robot can overcome is 30 mm.

The non-destructive testing techniques used, using eddy currents and magnetic flux, are among those commonly used to inspect steel girders of overhead cranes. However, as the Doctoral Student has shown, they have limitations when it comes to inspecting steel bridges. The GMR sensor array used by the Doctoral Student was designed to detect metal losses at early stages of crane degradation.

Modern inspection procedures rely heavily on climb values, which must be kept constant during the test. The built-in GMR sensor array located above the wheel of the rear axis of the robot ensures precise measurement results. The GMR sensor measures fluctuations in magnetic flux lines to identify any losses or cracks of metal, and the defect is shown as a peak value on a graph.

#### **5. Evaluation of the research method and the original achievements of the Author**

As a result of the work, an automated, specialised robot was developed and built to detect cracks, corrosion, and other types of defects in crane girders using non-destructive testing techniques. The robot is equipped with an array of magnetoresistive sensors (GMR), and can also carry other types of specialised sensors, collect measurement data and transmit them to a remote station for the purpose of acquiring and processing test results as well as conducting real-time decision-making.

The dissertation made it possible to develop an innovative approach to inspecting crane girders. The developed method of identifying damage to crane girders was achieved by

developing an innovative solution to automate the inspection process. This made it possible to achieve the research goal by combining a robot with a flexible design with four magnetic wheels and a GMR sensor array.

The reviewer appreciates the achievements of the Doctoral Student for obtaining interesting scientific and research results in the submitted dissertation, which represents an original solution to an important scientific problem and a valuable utilitarian contribution to the scientific discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. The reviewer's comments submitted to the doctoral student for discussion concerned the editing of the dissertation and do not diminish its substantive value.

On the basis of a thorough analysis of the dissertation submitted for review, as well as several publications of the Doctoral Student in the field of damage control in girders of overhead cranes, it was proved that non-destructive robotic identification of damage to the steel structure of crane girders is possible, which was the objective of the dissertation.

The Doctoral Student demonstrated good scientific skills by selecting appropriate research methods and proved that he was able to analyse and evaluate the obtained results and formulate correct conclusions. In doing so, he showed very good substantive preparation, which puts him in the ranks of very good specialists.

## **6. Shortcomings noticed in the dissertation and discussion issues**

The dissertation meets all formal criteria for doctoral theses, but it also contains some shortcomings. The author did not avoid understatements and editorial errors in several places. The most common include: missing dots at the end of numbers in the numbering of consecutive sections of the dissertation, different numbering of drawings in the first chapter than in the other chapters.

A shortcoming related to the layout of the dissertation is the unjustified introduction of subsections often covering less than one page (1.4.1, 3.1.1, 3.2.1, 4.2.1, 4.6.1, 6.3.1.2, 6.4.1, 6.5.1).

The shortcomings and editorial errors noted are presented below.

Page I: If the content of the chapter (Abstract) is in Polish, then the title of the chapter should also be in Polish.

Page IX: The table of contents does not include section 6.6.

Pages 10 and 12: Interchangeable use of units of measurement: feet – metres.

Page 10: What was meant in the part “Below is a diagram of the under-running crane configuration from Figure 1.4”? Below the text is Figure 4.

Pages 25 and 33: Incorrect use of the term ‘weight’ instead of ‘mass’.

Page 35: What was meant by the term ‘hybrid robot’?

Page 42: Part of Figure 2.11 is on the next page.

Page 43: “This wheel is made to last four generations in order to solve the issues.” – what does ‘four generations’ mean?

Page 48: Fig. 2.16 is on two pages, in addition, there is no description of the markings in Fig. 2.16a

Page 68: The unit of what measurement is kgf?

Page 69: What was the reason for separating subsection 3.3.1?

Page 69: The title of Table 3.6 contains dimensions while page 70 states that these are the values of the forces

Page 70: Incomprehensible caption under the drawing 3.15.

Page 71: Incomprehensible captions for Figures 3.16 and 3.17.

Page 72: No units in Figure 3.18.

Pages 94 and 105: Same formula numbers!!!

Page 105: Which phrase should be used – ‘driving force’ or ‘thrust’?

Page 126: No indication of the source of Figure 6.7.

Pages 154, 156 and 158: Unstructured figure captions (6.26).

Pages 159 and 161: Unstructured figures 6.27 and 6.29 and no reference to the figures in the text.

Pages 167 and 168: Two figures with caption ‘Figure 6.31’.

The above remarks do not diminish the substantive value of the dissertation, especially against the background of the interesting and innovative, commercialisable scientific and technical research results presented in the dissertation.

The reading of the dissertation raised certain problematic points that I would like to discuss during the defence. Comments on which I expect written responses and discussion during the defence:

1. On page 42 of the dissertation, you stated that several methods of locomotion were studied – the dissertation describes several robots without analysing the running gear systems, so on what basis did you come to the conclusion that wheeled running gear systems are the best?
2. On page 88 of the dissertation, you stated that “Because this robot is tele operated, an examiner may operate it remotely”. Please explain the concepts of ‘operate it remotely’ and ‘tele operated’.
3. On page 116 of the dissertation, in subsection 6.3.1 you wrote: “The key drivers affecting the coil response are:” – please list what you had in mind.
4. On page 116 of the dissertation, in subsection 6.3.1.1, you wrote: “The excitation frequency in ECT is determined by the size of the overhead crane bridge.” – please elaborate on this issue.
5. On page 117, Table 6.1 shows the conductivity and resistivity of different materials, please provide definitions of these values and what their units are.
6. On page 118 of the dissertation, you stated that the eddy current test method will use a lower frequency to detect subsurface problems on crane bridges. Please specify what frequency of eddy currents will be used and justify what they result from.
7. On page 177 of the dissertation, you wrote: “In the end it is right to mention by performing this research, a cost-efficient, flexible versatile, safe and reliable, and faster inspection methodology came in the real time monitoring and inspection for the overhead crane girders.” without supporting it with any results from the work. Please demonstrate how the proposed solution is cost-effective, flexible, versatile, safe and reliable, and faster than other methods for real-time monitoring and control of crane girders.

8. Non-destructive damage detection (NDT) techniques are the most appropriate methods for assessing crane defects in both quantitative and qualitative terms. Please specify what other sensors can be used in this method when inspecting cranes.
9. Can you determine in what type of damage (e.g., pitting, cracks, dents) and in what range of damage sizes can the developed damage location test method be used?

#### **7. Final evaluation of the dissertation**

The reviewed doctoral dissertation of Arun Kumar YADAV, MSc. Eng., falls within the scientific discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies. My assessment of the dissertation is positive, despite a significant number of editorial comments. The dissertation contains a number of new interdisciplinary cognitive results. In this respect, they supplement the state of knowledge on non-destructive condition testing of bridge cranes. This dissertation primarily brings original conclusions in application to implementation practice.

The dissertation under review meets the conditions for doctoral dissertations specified in Art. 187 of the Act of July 20, 2018 The Law on Higher Education and Science (Journal of Laws of 2024, item 1571). I therefore request that the doctoral dissertation of Mr Arun Kumar YADAV, MSc. Eng. be approved by the Board for the Discipline of Automation, Electronics, Electrical Engineering and Space Technologies [AEEiTK] of the University of Science and Technology [AGH], for further consideration.

*/illegible signature/*