

Warszawa, 20 czerwca 2023 r.

Dr hab. inż. Jarosław Korzeb, prof. uczelni
Politechnika Warszawska, Wydział Transportu
Zakład Budowy i Eksploatacji Środków Transportu
ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
e-mail: jaroslaw.korzeb@pw.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

autorstwa mgr. Michała Batko

pt. „Analiza możliwości przeprowadzania oceny stanu technicznego infrastruktury kolejowej w oparciu o zastosowanie technologii bezzałogowych pojazdów, w tym pojazdów latających”

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Jarosław Konieczny, prof. PŚ
Opiekun pomocniczy: dr inż. Joanna Michalska-Ćwiek /ze strony Przedsiębiorstwa/
Dziedzina nauki: Nauki Inżynieryjno-Techniczne
Dyscyplina naukowa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

I. Podstawy opracowania recenzji

Uwzględnione podstawy prawne podczas opracowania recenzji rozprawy doktorskiej:

- Ustawa z dnia 20.07.2018 r. – „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz.U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.),
- Rozporządzenia Ministra Edukacji i Nauki z dnia 11.10.2022 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz.U. 2022 poz. 2202).

Podstawy formalne opracowania recenzji:

- uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport nr 37/2023, z 25.05.2023;
- zlecenie Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport, dr hab. inż. Marcina Stańka, prof. PŚ (pismo nr RDILGT.512.8.2023, z dnia 02.05.2023) i umowa nr UMC/1765/2023;
- egzemplarz rozprawy doktorskiej mgr. Michała Batko.

Podczas sporządzania recenzji zwrócono szczególną uwagę na poziom merytoryczny zapisanych treści pracy, układ przygotowania rozprawy, poprawność używanej terminologii, trafność merytoryczną objętego kierunku prac, dysertabilność podjętej w rozprawie tematyki, poprawność doboru źródeł bibliograficznych i zastosowanych cytowań, czytelność i poziom techniczny stosowanego w pracy języka oraz poprawność zamieszczonych w pracy zapisów, jak i konsekwencję stosowania jednostek międzynarodowego układu jednostek i miar SI.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny Inżynieria Lądowa,
Geodezja i Transport

wpłynęło dnia 24.06.2023

nr 115 zał. —

II. Ogólny układ rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy 164 strony dokumentu, na które składają się: strony tytułowe (2 strony), spis treści (2 strony), streszczenie (2 strony), osiem rozdziałów autorskich (127 stron), podsumowanie i wnioski (10 stron), załączniki (6 stron), bibliografia (11 stron) oraz spisy (4 strony).

Odpowiednie zestawienia liczbowe charakteryzujące przedstawiony do recenzji materiał z podziałem na rozdziały zamieszczono w poniższej tabeli.

Rozdział	Liczba			
	rysunków	tabel	równań	stron
Str. tytułowa				2
Spis treści				2
Streszczenie				2
1. Przedstawienie istoty ..				2
2. Uzasadnienie celowości ...	11	1		19
3. Cel, zakres i teza pracy		1		9
4. Metodologia badań	7	4		18
5. Wyniki badań	2	3		7
6. Przeprowadzenie	48	7	3	49
7. Uwarunkowania ...				11
8. Kalkulacja kosztów ...	2	6	2	12
9. Podsumowanie				7
10. Wnioski				3
Załączniki	5			6
Bibliografia				11
Spisy rysunków i tabel				4
Razem	75	22	5	164

W spisie literatury ujęto 132 pozycje wydawnicze oraz raportów instrukcji, wytycznych, norm i rozporządzeń oraz danych pozyskanych ze źródeł internetowych.

Treść pracy obejmuje ponadto bogaty materiał ilustracyjny, na który składa się licząc załączniki 75 rysunków i fotografii oraz 22 tabele.

II.1. Tematyka i zakres rozprawy

Eksploatacja linii kolejowych powiązana jest nieuchronnie ze zmianą stanu technicznego infrastruktury. Ruch pojazdów szynowych, może w mniejszym stopniu dla ruchu pociągów osobowych lub większym stopniu w przypadku ruchu towarzyszącego przemieszczaniu towarów, przyczynia się do degradacji elementów infrastruktury dróg szynowych, co niezależnie od przyporządkowanego limitu prędkości eksploatacyjnej przekłada się na bezpieczeństwo eksploatacji tych dróg. Kolej jako proekologiczny i wysokowydajny środek transportu otrzymuje silne bodźce stymulujące jej rozwój, co napędza przemysł i dziedziny badawcze powiązane ze wszystkimi aspektami technicznymi

w zakresie eksploatacji dróg szynowych, pojazdów, obsługi, napraw, kontroli, nadzoru, monitoringu, sterowania, modernizacji, czy jedynie obszarowego ujednolicenia wymagań i przepisów. Należy zauważyć, że bardzo ważnym elementem są wszelkie czynności i zamierzenia prowadzące do poprawy stanu utrzymania drogi szynowej, sprawowania wysokowydajnej kontroli nad stanem technicznym, zautomatyzowania procedur kontrolnych, poprawy szybkości identyfikacji stanów poprzedzających i awaryjnych, które mogłyby przełożyć się na obniżenie bezpieczeństwa eksploatacji lub stworzyć realne zagrożenia wypadkami. Diagnostyka i niezawodność dróg szynowych czy prowadzenie planów modernizacji powiązane są od zawsze z udziałem człowieka i pomimo ekspansji sztucznej inteligencji oraz całej nadziei w niej pokładanej, na chwilę obecną ten udział człowieka w procesie utrzymania wydaje się niezbędnym. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że sam proces prowadzenia kontroli stanu technicznego nawierzchni dróg szynowych przez człowieka jest czasochłonny i wsparcie w zakresie automatyzacji tego procesu, z wykorzystaniem współczesnych zdobyczy techniki, byłoby bardzo cenną rozbudową istniejącego systemu diagnozowania.

Ekspansja aglomeracji miejskich wymaga również modernizacji i rozbudowy arterii transportowych. Kampanie promujące kolej jako najbardziej proekologiczne źródło transportu, czy związane z przenoszeniem ruchu towarowego z dróg samochodowych na szynowe, starają się promować jednocześnie zwiększenie obciążenia sieci linii kolejowych dodatkowym ruchem, a co za tym idzie zwiększenie siły niszczącej nawierzchnię dróg kolejowych. W takim aspekcie ważnym czynnikiem jest utrzymanie jakości nawierzchni na poziomie wysokiej gotowości i zapewnienia bezpieczeństwa ruchu na najwyższym możliwym poziomie. Zarządcy infrastruktury kolejowej są zobligowani przepisami do regularnych inspekcji jej stanu technicznego oraz do wykonywania badań technicznych infrastruktury, co z kolei wiąże się z dużymi nakładami pracy dla osób prowadzących obchody. Pożądanym jest wykorzystanie nowych narzędzi wspierających pracę ludzką, a ze względu na rosnące koszty utrzymania wskazana jest automatyzacja procesów detekcji, zwiększenie wydajności prowadzonych kontroli, przy zachowaniu powtarzalności pomiarów i jak najmniejszej ingerencji w ruch prowadzonych na torach.

Pan mgr inż. Michał Batko podjął się niezwykle ważnej tematyki z punktu widzenia diagnostyki stanu nawierzchni kolejowej. Dokonał przeglądu różnego rodzaju istniejących rozwiązań wykorzystywanych w praktyce i koncepcji prowadzenia inspekcji infrastruktury nie tylko kolejowej za pomocą załogowych i bezzałogowych pojazdów, które poddał skrótowej charakterystyce. Wskazał duży potencjał wykorzystania do wykonywania inspekcji infrastruktury bezzałogowych statków powietrznych (BSP). Wskazał również inne dziedziny przemysłowe, takie jak energetyka, platformy morskie, mosty, statki, turbiny wiatrowe, rurociągi, zapory wodne, farmy solarne, ratownictwo medyczne, czy zastosowania militarne, gdzie z wysoką skutecznością wykorzystuje się bezzałogowe statki powietrzne do prowadzenia inspekcji lub wykonywania prostych czynności o wysokim znaczeniu ze względu na panujące warunki zewnętrzne.

W rozprawie doktorskiej Autor dokonał analizy możliwości wykorzystania BSP w celu prowadzenia efektywnych inspekcji stanu infrastruktury z zapewnieniem bezpieczeństwa eksploatacji urządzeń i podczas obciążenia ruchem. Przeanalizował możliwość zastąpienia obchodów, podczas których dokonywane są oględziny torów, połączone z wizualnym sprawdzeniem stanu torowiska, obiektów inżynierskich, sieci trakcyjnej, czy urządzeń pod kątem możliwości prowadzenia bezpiecznego ruchu kolejowego. Taka zmiana polegająca na zastąpieniu normalnych obchodów zautomatyzowanym procesem monitoringu stanu

infrastruktury, będzie miała wpływ zarówno na bezpieczeństwo, wydajność oraz koszty wykonywania tych czynności. Autor uwzględnił również analizę FMEA dla oceny samej zmiany sposobu dokonywania oględzin nawierzchni kolejowej, z uwzględnieniem ryzyka związanego z przelotami statków nad terenem kolejowym oraz w jego otoczeniu, np. na skrzyżowaniach z innymi elementami infrastruktury i innymi sieciami czy oddziaływaniem na ludzi przebywających w strefie lotów.

Bardzo cennym elementem recenzowanej rozprawy jest przygotowanie metodologii badań oraz przygotowanie bazy danych treningowych, a dalej przeprowadzenie zestawu oznaczania i rozpoznawania wszystkich elementów nawierzchni kolejowej, co doprowadziło do budowy modelu monitoringu infrastruktury.

Równie ważny aspekt pracy to przeprowadzenie analizy formalno-prawnej oraz kalkulacji kosztowej, w sensie nakładów inwestycyjnych powiązanych z nową metodą monitorowania.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska opiera się w pokażnej mierze na wiedzy i osiągnięciach w wymiarze praktycznym, popartych przeprowadzeniem eksperymentu badawczego potwierdzającego walory aplikacyjne przedstawionej metody.

II.2. Charakterystyka rozprawy

Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa liczy 164 strony. Na jej treść składają się: strony formalne, streszczenie, osiem rozdziałów autorskich, podsumowanie i wnioski, załączniki i spis bibliografii. Autor w sposób nie budzący zastrzeżeń ułożył kolejność rozdziałów, w których zlokalizował podjęty temat, zidentyfikował ważny nierozwiązany dotąd praktyczny problem badawczy, przedstawił metodologię prowadzenia badań popartą wykorzystaniem teorii zaszytej w algorytmach narzędzi z zakresu analizy obrazów, przeanalizował otrzymane wyniki przeprowadzonego eksperymentu badawczego oraz zbudował model procesu monitoringu infrastruktury, podpierając rozwiązanie rachunkiem kosztów i zamykając pracę wnioskami.

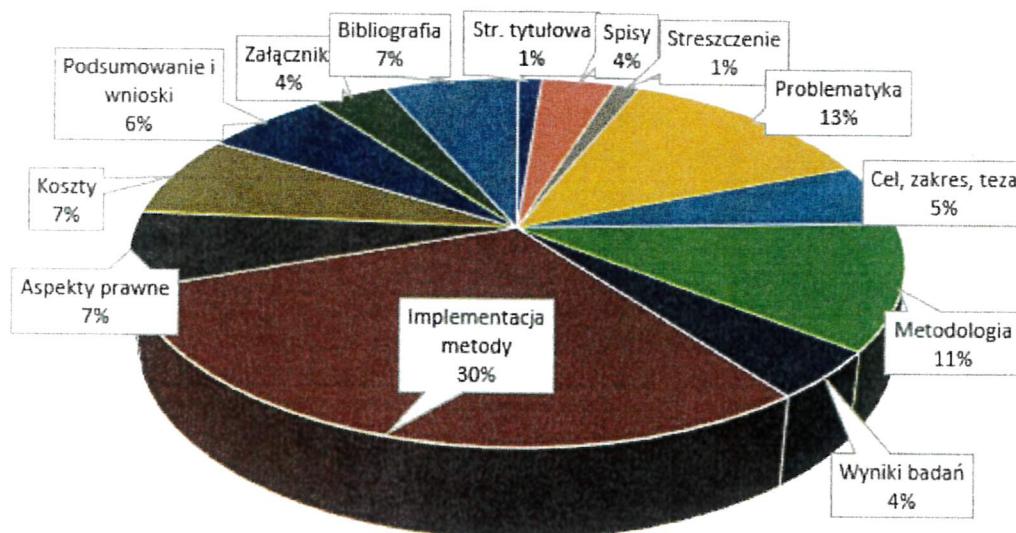
Lista wykorzystanych pozycji bibliograficznych liczy łącznie 132 pozycje, na które składają się 61 pozycji literatury naukowej w postaci monografii i artykułów popularno-naukowych, 1 raport, 19 ustaw, dyrektyw i rozporządzeń, 2 instrukcje, 6 regulaminów, procedur i przepisów wewnętrznych oraz 43 źródłowe strony internetowe z podaniem dat dostępu. Analiza tytułów zamieszczonych pozycji literatury naukowej pozwala na stwierdzenie, że dobór źródeł bibliograficznych nie budzi większych zastrzeżeń.

W treści rozprawy zamieszczono 75 rysunków i 22 tabele oraz 5 równań, do których w większości znalazły się prawidłowe odwołania w treści pracy. W załączniku, do którego nie znaleziono w treści pracy prawidłowych odsyłaczy, uwzględniono plany schematyczne analizowanych w pracy bocznic.

Rozprawa napisana jest poprawnym językiem technicznym, z uwzględnieniem właściwych pojęć i terminów oraz konsekwentnie stosowane są w niej jednostki układu SI i ich krotności.

Ocena struktury podziału treści rozprawy

Autor rozprawy dokonał prawidłowej alokacji materiału w pracy, a rozkład proporcji istotnych elementów przedłożonego materiału pokazano na rysunku.



Taki podział treści pracy nie budzi zastrzeżeń i świadczy o przemyślanym podejściu do rozwiązania postawionego problemu badawczego.

Rozdział 1÷2 posłużyły osadzeniu czytelnika w temacie i realiach zagadnień związanych z prowadzeniem inspekcji infrastruktury kolejowej oraz możliwościami technicznymi wspierania wykonywania takich inspekcji. Rozdział 2 szczególnie Autor poświęcił wykonywaniu inspekcji prowadzonych przez BSP, szeroko podpierając się przykładami zastosowania podczas prowadzenia w innych dziedzinach życia. Dodatkowo wskazał, że zautomatyzowane misje BSP pozwalają na redukcję czasu trwania inspekcji średnio o 40% oraz redukcję kosztów wykonywania inspekcji od 30-90% w zależności od rodzaju docelowego zastosowania. Ponadto przeanalizował aspekty bezpieczeństwa, które wynikają bezpośrednio z zastosowania metody identyfikacji zagrożeń, zwracając uwagę na błędne interpretacje wskazań systemu oraz samą analizę znaczenia zmiany wynikającą z charakteru wprowadzanego nowego rozwiązania, wykorzystując metodę FMEA do minimalizacji wad systemu.

Rozdziałem 3 objęto cel, zakres i tezę pracy. Jako główny warunek udowodnienia tezy przyjęto wdrożenie nowego, kompleksowego systemu monitorowania stanu infrastruktury kolejowej za pomocą bezzałogowych statków powietrznych, co przełoży się na efektywność przewozów i zwiększenie bezpieczeństwa ruchu kolejowego.

Rozdział 4 przedstawia metodologię prowadzenia badań. Jako poligon badawczy wskazano część infrastruktury kolejowej spółki Infrasislesia S.A. z siedzibą w Rybniku, tj. bocznicę kolejową KWK Jankowice, KWK Chwałowice, KWK Marcel, bocznicę kolejową „Rybnik Kłokocin” oraz linie i stacje kolejowe w rejonie Sosnowca - Jęzor Centralny, okręgi nastawcze JCA i JCC, które są typowymi bocznicami, ale na ich terenach znajdują się tory wyłączone z eksploatacji zawierające różne usterki, stąd można było z ich wykorzystaniem trenować algorytm rozpoznawania stopnia zużycia, stanu, skrajni, oznak pogorszenia, odkształceń toru itp. Autor wskazał wymagane komponenty systemu opartego o wykorzystanie BSP. Wskazał na konieczność opisanie kompletacji systemu w przepisach wewnętrznych zarządcy w celu utrzymania bezpiecznej infrastruktury kolejowej, pożądane cechy i kryteria wyboru BSP, kryteria wyboru kamer, pożądaną konstrukcję garaży dla BSP, analizę rozwiązań alternatywnych. Opisał ponadto algorytm do analizy materiału zdjęciowego i wykrywania usterek. Ten rozdział zawiera szereg cennych wytycznych służących przyszłemu wdrożeniu systemu.

W rozdziale 5 przedstawiono prace nad otrzymywanymi wynikami badań, a w tym skrótowo informacje dotyczące bazy danych treningowych, dyskusję na temat optymalnej wysokości lotu i kątów ustawienia kamery, rodzaju stosowanych obiektywów, czy stosowania oświetlenia własnego LED. Ten rozdział jest bardzo cenny, ze względu na praktyczne przebadanie różnych wariantów rozwiązań w celu poszukiwania optymalnej konfiguracji narzędzia. Materiał przedstawiony w tym rozdziale posiada duże walory aplikacyjne.

Rozdział 6 to już implementacja praktyczna opracowanego rozwiązania. Tu Autor zastrzegł wybrany zakres stosowalności metody. Skupił się na rozpoznawaniu i oznaczaniu podkładów, szyn, przytwierdzeń, złącz podpartych, styków międzyszynowych, pęknięć szyn, rozstawu szyn, krótkich wstawek szyn, odległości pomiędzy szynami na ich styku oraz wybuksowań szyn. Dalej przeprowadził ilościową ocenę wyników rozpoznawania elementów infrastruktury, a rozdział został zamknięty modelem procesu monitoringu infrastruktury dla detekcji usterek metodą konwencjonalną oraz za pomocą bezzałogowego statku powietrznego. Należy zwrócić uwagę na to iż Autor ma świadomość, że należy zastosować opracowane algorytmy i oprogramowanie, ale nie wyklucza w przyszłości konieczności opracowania nowych, dedykowanych dla potrzeb infrastruktury kolejowej algorytmów czy aplikacji.

Rozdział 7 obejmuje opis uwarunkowań formalnoprawnych wykonywania lotów nad infrastrukturą kolejową. Autor wskazuje uwarunkowania ogólne oraz warunki wykonywania lotów na terenie obszaru kolejowego, konieczność pozyskiwania zgód, jak i warunki wykonywania lotów poza zasięgiem wzroku pilota, wykonywanie lotów autonomicznych, poddaje dyskusji ochronę danych oraz odpowiedzialność cywilną i karną.

Rozdział 8 stanowi kalkulacja kosztów i nakładów inwestycyjnych prowadzenia inspekcji metodą wykorzystującą BSP. Autor dokonał oceny efektywności zastosowania nowego rozwiązania pod względem ekonomicznym i przeprowadził analizę kosztów w porównaniu do aktualnie ponoszonych kosztów przez zarządcę infrastruktury Infra Silesia S.A. Podsumowując efektywność inwestycji w inspekcje z wykorzystaniem BSP w porównaniu do obecnie wykonywanych oględzin stwierdził, że wykonywanie inspekcji za pomocą BSP jest bardziej efektywne niż rozwiązanie konwencjonalne, a różnica w kosztach oględzin infrastruktury w okresie 5 lat sięga 398 000 zł. Co jest bardzo cenne dla metody pojawia się również dodatkowo możliwość sprzedaży usługi na zewnątrz w zaoszczędzonym czasie.

Rozprawę zamyka podsumowanie, po którym występują wnioski. Autor wskazał w podsumowaniu osiągnięcie zamierzonego celu podkreślając konieczność uwzględnienia osiągnięć naukowo – technicznych i wprowadzenia innowacyjnych rozwiązań na kolei. Podsumował krytycznie wyniki otrzymywanych badań w każdym aspekcie od analizy wpływu wielkości piksela na identyfikację usterek, przez wysokość lotu, wpływ oświetlenia i czynności zaradcze, dyskusję stosowanego obiektywu, interferencje (ich brak) pomiędzy BSP a siecią trakcyjną. Wskazał, że dobrym rozwiązaniem zastosowanym w pracy było narzędzie CVAT do etykietowania obiektów, jak i dobór modeli segmentacji do szyn i podkładów, w tym model detekcji oparty na algorytmie RetinaNet do detekcji małych elementów infrastruktury (wkręty, śruby stopowe, łapki), które po połączeniu dawały skuteczne rezultaty w wykrywaniu. Tu Autor wskazał również dalsze perspektywy rozwoju badań. Wnioski Autor przedstawił w punktach, które łącznie zawierają zarówno wnioski poznawcze i utylitarne płynące z badań.

III. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska Pana mgr. Michała Batko ma czytelny układ. Analiza źródeł literaturowych nie przytłacza zbyt dużą liczbą, ale jest wystarczająca. Należy zwrócić uwagę na fakt, że w spisie literatury wymieniono tylko 1 współautorską pracę Autora, niestety niepublikowaną. Treść pracy należy uznać za rozłokowaną poprawnie i proporcjonalnie do wagi. Opracowana metoda, wykorzystane narzędzia, dobór mierzonych parametrów, ocena wrażliwości metody na zmiany warunków, budowa modelu, jak i sposób przeprowadzenia analiz należy uznać za prawidłowe. Autor zidentyfikował niezapełniany obszar badawczy, bardzo ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa ruchu kolejowego, dla którego zaproponował nieoczywistą i kontrowersyjną modyfikację (zastąpienia człowieka maszyną). W mojej opinii dobrał poprawnie dostępny sprzęt, opracował metodę opartą o istniejące algorytmy (w tym aparat matematyczny dla etapów identyfikacji), wybrał poligon badań doświadczalnych i je przeprowadził. Dalej dokonał analizy otrzymanych wyników oraz ich interpretacji, a po osiągnięciu zadowalających efektów, przeprowadził rachunek ekonomiczny i osadził całość istoty pracy w obowiązujących przepisach. Całokształt sprawia wrażenie kompletności przedstawionego rozwiązania.

Zaproponowana metoda badawcza ma bardzo duży potencjał aplikacyjny oraz jest bardzo rozwojowa, o czym Autor nie wspominał zbyt często w treści. Wysoko oceniam uzyskane efekty poznawcze i bardzo wysoko stawiam użyteczną wartość przedstawionego w dysertacji materiału.

Należy zauważyć, że rozprawa wpisuje się jako odpowiedź na zakres tematyczny jednego z postawionych zagadnień trwających obecnie projektów PKP PLK BRIK – Zagadnienie 4.4 Opracowanie innowacyjnego Systemu Monitorowania Stanu Infrastruktury Kolejowej, uwzględniając potencjalne osadzenie w takiej tematyce opracowanie przez Pana mgr. Michała Batko narzędzia wykonawczego.

III.1. Uwagi ogólne

Praca ma charakter stricte wdrożeniowy, stąd też główny nacisk jej części opisowej Autor poświęcił na informacje praktyczne i z przeznaczeniem do zastosowania w praktyce. Niemniej jednak nasuwa się kilka niżej przedstawionych uwag.

- 1) W treści pracy nie znalazłem bezpośrednich odnośników do załączników. Zawierają plany wspomnianych w treści bocznic, ale odnośniki przy ich przywoływaniu w pracy powinny się znaleźć.
- 2) Niestety nie dokonano podziału wniosków na podrozdziały zawierające część poznawczą, użyteczną i kierunki dalszych prac. Taki podział, z przejrzystym uwypukleniem tych treści, przy tak istotnym znaczeniu pracy byłby pożądanym, w przeciwnym przypadku kierunki dalszych prac należy doszukiwać się w podsumowaniu.
- 3) Jakim było kryterium wyboru 4 z funkcjonujących na rynku narzędzi do etykietowania obiektów? Jakie parametry tych narzędzi analizowano i co było parametrem kluczowym? Poproszę o komentarz podczas obrony.
- 4) Rozdział „5.1. Opracowanie bazy danych treningowych oraz testowych..” z założenia pokazanego w tytule powinien zawierać informacje o przygotowanej bazie danych.

W treści rozdziału jest mowa o optymalizacji wysokości lotów, jakości zdjęć, wpływie warunków pomiarów, natomiast brak informacji o ilościowej i jakościowej ocenie zgromadzonego materiału „... na potrzeby detekcji i klasyfikacji uszkodzeń”. Autor wspomina o 1200 zdjęć/lokalizację, ale nie wskazuje ich klasyfikacji. Poproszę o komentarz podczas obrony.

- 5) Sprawa utrwalania wizerunku osoby, która postronnie znalazła się w dokumentacji drogi szynowej powinna być rozwiązana na etapie przygotowania modelu archiwizacji fotografii. To na tym etapie powinno wystąpić rozpoznawanie i zamazywanie twarzy o ile jest taka konieczność. Przepisy RODO są często nadinterpretowane, a w tym przypadku mamy dokumentację wewnętrzną i nieupubliczną, osobę postronną, nieznaną i nieidentyfikowaną z imienia i nazwiska, ani innej wrażliwej danej, która weszła w kadr.
- 6) W mojej opinii należało uporządkować spis bibliografii. Autor przemieszał w nim pozycje „twarde” z przepisami i instrukcjami oraz źródłami bibliograficznymi. Tak przygotowaną bibliografię ciężko jest przeanalizować, a przegląd bibliograficzny osadzający lukę badawczą w badaniach innych jest przecież jednym z elementów rozprawy doktorskiej.
- 7) Wiele pozycji bibliograficznych jest niejasnych i brak w nich wskazania celu, dopiero po kliknięciu w łącze z wersji elektronicznej czytelnik dowiaduje się co jest pozycją literaturową, np. 30 <https://www.mdpi.com/2504-446X/4/1/4/htm>, 31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27861967/>, 108. <https://github.com/opencv/cvat>,

III.2. Uwagi szczegółowe

Poniżej przedstawiono listę uwag szczegółowych.

- 1) Literówki: s.16 jest „uderze-niowe” (myślnik), s.20 jest „Locheed” powinno być Lockheed,
- 2) Brak podpisu i numeru rysunku na dole str. 81; można uznać, że przynależy do rysunku 40, ale przedstawiają 2 różne lokalizacje rozpoznawania przypadków połączeń
- 3) Błędny numer rozdziału Podsumowanie, jest 7, powinno być 9.
- 4) Błędny numer rozdziału Wnioski, jest 8, powinno być 10.

Przedstawione uwagi w żadnej mierze nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy Pana mgr. Michała Batko. Rozprawę oceniam wysoko, została przygotowana z wysoką dbałością o szczegóły i starannością. Treść rozprawy przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu badawczego, z wykorzystaniem nowej w tym obszarze metody badawczej, a podjęte zagadnienie zostało rozwiązane w sposób adekwatny do obecnego stanu wiedzy.

IV. Osiągnięcia pracy

Rozprawa posiada walory poznawcze i użytkowe, a jej tematyka jest dysertabilna. Posiada wysoki związek z problemem poznawczym wpływającym na usprawnienie działań diagnostycznych, przy jednoczesnej redukcji ich kosztów. Autor pracy posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych, a w celu rozwiązania zidentyfikowanego problemu i opisanie zjawisk towarzyszących zastosował właściwy zakres metod.

Do zrealizowania założonego celu pracy i udowodnienia postawionej tezy Autor rozprawy opracował następujące zadania szczegółowe:

- a) przeprowadził analizę aktualnej wiedzy technicznej i dostępnej literatury,
- b) dokonał wyboru właściwego i reprezentatywnego poligonu badawczego,
- c) zaprojektował i przeprowadził eksperyment badawczy na wybranym poligonie badawczym, pozwalającym na odwzorowanie identyfikowanych uszkodzeń,
- d) dokonał analizy dostępnych rozwiązań, a następnie wyboru BSP oraz urządzeń towarzyszących,
- e) opracował metodę prowadzenia badań eksperymentalnych i analiz symulacyjnych identyfikacji usterek infrastruktury,
- f) przeprowadził loty BSP i dokonał akwizycji danych,
- g) przeprowadził analizę wyników uzyskanych podczas badań oraz rozwiązał problem badawczy (obróbka i analiza danych pozwalająca na oznaczenie i rozpoznanie elementów w oparciu o zdjęcia na potrzeby badania algorytmów uczenia maszynowego),
- h) dokonał analizy i oceny znaczenia zmiany sposobu wykonywania inspekcji, z wykorzystaniem kryterium czasu i kosztów działań wykonywanych metodą tradycyjną i zmodernizowaną,
- i) dokonał analizy obowiązujących przepisów,
- j) przygotował model procesu wykonywania oględzin infrastruktury oraz interfejs do przeglądania i wizualizacji usterek wskazanych podczas lotów BSP,
- k) opracował instrukcję wykonywania inspekcji za pomocą BSP, uwzględniając warunki i parametry techniczne BSP, jednocześnie sformułował projekt zmian instrukcji utrzymania infrastruktury.

Niepodważalnym osiągnięciem pracy jest możliwość zastąpienia obecnie stosowanych konwencjonalnych metod inspekcji metodami zautomatyzowanymi, które mogą być w krótkim czasie zweryfikowane przez toromistrza. Autor potwierdził większą efektywność metody, a wynik analizy ekonomicznej rozwiązania nie pozostawia wątpliwości.

Kolejny aspekt to dynamicznie uzupełniana i aktualizowana w cyklu tygodniowym baza danych fotograficznych, która wspiera cyfryzację przedsiębiorstwa i stanowi źródło informacji o ewoluującym stanie infrastruktury. Możliwe będzie wskazanie trendów i kierunków degradacji, jak i prowadzić wnioski dla podobnych obszarów.

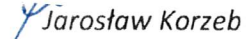
IV. Wnioski końcowe

Tematyka wydajnej identyfikacji uszkodzeń dróg szynowych jest bardzo aktualna. Niekwestionowanym osiągnięciem Autora rozprawy jest znalezienie gotowego do zastosowania rozwiązania, które może być wdrażane przynosząc wymierne korzyści zarządcy infrastruktury. Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi wartościowy dorobek naukowo-badawczy Autora, a pokazane w niej rezultaty posiadają zarówno wartości poznawcze, jak i użyteczne dla dziedziny nauk technicznych. Układ pracy jest prawidłowy, treść jest logicznie poprawna i dobrze koresponduje z aktualną wiedzą i praktyką prowadzenia badań stanu infrastruktury kolejowej. Na podstawie analizy treści rozprawy uważam, że Autor dokonał trafnego doboru tematyki, poprawnie zidentyfikował i rozwiązał problem badawczy, osiągnął

cel pracy, udowodnił postawioną tezę, a założone zadania badawcze zostały zrealizowane. Autor osadził badania w realiach praktycznej eksploatacji dróg szynowych, przeanalizował aspekty prawne i ekonomiczne oraz przeprowadził poprawne wnioskowanie na podstawie badań, rozwiązując postawiony na wstępie praktyczny problem badawczy.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. **Michała Batko** pt. **„Analiza możliwości przeprowadzania oceny stanu technicznego infrastruktury kolejowej w oparciu o zastosowanie technologii bezzałogowych pojazdów, w tym pojazdów latających”** spełnia wymagania przewidziane dla rozpraw doktorskich stawiane obowiązującą Ustawą z dn. 20.07.2018 roku „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2023 poz. 742, z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Z wyrazami szacunku

 Jarosław Korzeb