

**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA w Kielcach**  
**Wydział Budownictwa i Architektury**  
**Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych**  
Al. Tysiąclecia P.P. 7  
25-314 Kielce  
Tel. (0-41) 34-24-593,  
NIP: 657-000-97-74



Kielce, dnia 26.10.2022

**Recenzent:**

Prof. dr hab. inż. Grzegorz ŚWIT  
Politechnika świętokrzyska  
Wydział Budownictwa i Architektury  
Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Budowlanych  
Al. Tysiąclecia Państwa Poleskiego 7  
25-314 Kielce

## RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

**pt. „Wizja komputerowa i transfer learning w inspekcjach betonowych obiektów mostowych” autorstwa mgra inż. Mateusza Żarskiego**

### 1. PODSTAWA FORMALNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawą formalną opracowania recenzji stanowi:

- Uchwała Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej z dnia 22 września 2022 r.
- Pismo zlecające nr RDILT.512.14.2022 z dnia 29 września 2022 sygnowane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej Pana dr hab. inż. Marcina Stanka, prof. PŚ

### 2. PODSTAWA PRAWNA OPRACOWANIA RECENZJI

Podstawą prawną opracowania recenzji zgodnie z przesłanym pismem nr RDILT.512.14.2022 z dnia 29 września 2022 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport Politechniki Śląskiej są:

- Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2020, poz. 85, z późn. zm.)

### 3. PRZEDMIOT I OPIS OGÓLNY ROZPRAWY

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Żarskiego zatytułowanej „Wizja komputerowa i transfer learning w inspekcjach betonowych obiektów mostowych”. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Marek Salamak.

Świt



Rozprawa została przedłożona w formie zwartej, dwustronnie zadrukowanego opracowania i liczy 161 stron. Składa się ona z 7 rozdziałów, bibliografii oraz streszczenia w języku polskim i angielskim. Bibliografia stanowi łącznie 249 pozycji, w tym 16 norm, rozporządzeń i instrukcji i 45 przypisów do stron internetowych.

Układ pracy jest czytelny i logiczny, charakterystyczny dla prac naukowych i badawczych, a sposób jej wydania w formie zwartej opracowania, jest typowym sposobem przedstawiania rozprawy doktorskiej.

#### **4. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY**

##### **4.1. Przedmiot, cel i zakres rozprawy**

Zgodnie z informacją podaną przez Autora (str.22), celem pracy była ocena możliwości zastosowania metod sztucznej inteligencji i wizji komputerowej do wspomagania inspekcji obiektów infrastruktury drogowej, a w szczególności obiektów mostowych.

Celem rozwiązania problemu naukowego Autor opracował zakres prac niezbędny do osiągnięcia zamierzonego efektu, który obejmował:

1. Krytyczny przegląd literatury w zakresie:
  - obowiązujących w kraju i na świecie standardów przeprowadzania okresowych przeglądów obiektów mostowych,
  - nowoczesnych technik w utrzymaniu i zarządzaniu infrastrukturą mostową,
  - aktualnego stanu wykorzystania technik bazujących na sztucznej inteligencji w inżynierii konstrukcji oraz w aspekcie przeglądów obiektów infrastruktury drogowo-kolejowej,
2. Przedstawienie metod pozyskiwania zbiorów uczących oraz budowania, uczenia i wykorzystania konwolucyjnych sieci neuronowych do analizy obrazu,
3. Budowę zbioru algorytmów uczenia maszynowego umożliwiających detekcję uszkodzeń na powierzchni betonu oraz test ich dokładności,
4. Budowę podręcznego urządzenia pomiarowego działającego w systemach operacyjnych popularnych smartfonów i tabletów wraz z dedykowanym algorytmem, który pozwala na odczyt fizycznych cech uszkodzenia z obrazu cyfrowego,
5. Krytyczną ocenę możliwości zastosowania proponowanych rozwiązań w praktyce wykonywania przeglądów obiektów budowlanych,

*hwy*





6. Podsumowanie, wyciągnięcie wniosków naukowych i praktycznych oraz podanie kierunków dalszych badań.

Zaprezentowany powyżej zakres pracy pozwolił Autorowi na opracowanie ocenianej obecnie rozprawy.

Oceniana rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów.

Rozdział pierwszy zawiera wykaz oznaczeń, słownik skrótów, oraz uzasadnienie wyboru tematu pracy, jej tezy, główne cele oraz zakres. Ponadto zamieszczono w nim omówienie wykorzystanych metod badawczych.

Drugi rozdział zawiera przegląd literatury, w którym omówiono podstawowe problemy i badania realizowane w innych ośrodkach naukowych a poświęcone wykorzystaniu sztucznej inteligencji i analizy obrazu w systemach nadzoru nad stanem technicznym konstrukcji budowlanych. W rozdziale tym zawarto opis aktualnego stanu wiedzy na temat metod przeprowadzania przeglądów infrastruktury mostowej na świecie i w Polsce, praktykę prowadzenia inspekcji oraz przegląd prac naukowych w zakresie nowoczesnych technologii w zarządzaniu infrastrukturą. Ponadto opisuje techniki i technologie stosowane aktualnie w ocenie stanu technicznego obiektów mostowych.

Rozdział trzeci zawiera informacje o sztucznej inteligencji (SI). Podano w nim ogólny opis technik sztucznej inteligencji, jej rozwój oraz przykłady zastosowania. Rozdział ten zawiera także opisy obecnie wykorzystywanych metod SI w projektowaniu i nadzorowaniu konstrukcji inżynierskich budowlanej oraz obecne w literaturze połączenie z wizją komputerową. Następnie przedstawiony jest opis teoretyczny głębokich metod SI wykorzystywanych w rozprawie – klasycznych sieci neuronowych oraz ich wariantu – konwolucyjnych sieci neuronowych. Opis ten został dodatkowo podzielony na podrozdziały dotyczące kolejno budowy, architektury i treningu sieci. Ostatnia część rozdziału zawiera przykładowe zastosowania konwolucyjnych sieci neuronowych.

W czwartym rozdziale przedstawiona została propozycja metody wykorzystującej wizję komputerową oraz sztuczną inteligencję do wspomaganie inspekcji obiektu mostowego. Opisane zostały narzędzia, które posłużyły do jej utworzenia, środowisko programistyczne oraz wykorzystane biblioteki. Następnie opisany został proces zbierania i oceny zbioru uczącego z wykorzystaniem autorskich algorytmów wizji komputerowej wraz z opisem metod sztucznego rozszerzania danych zbioru uczącego. W kolejnej części rozdziału Doktorant skupia się na przedstawieniu proponowanej architektury sieci, a następnie przechodzi do opisu

*Janek*



wykorzystanych technik wspomagających jej uczenie. Rozdział zawiera także opis metod, które umożliwiają wykorzystanie sieci poddanej treningowi jako detektor obiektów na obrazie oraz ocenę skuteczności w wykrywaniu rys na powierzchniach betonowych. Ponadto w tym rozdziale przedstawiony został stworzony przez Doktoranta narzędzia inżynierskiego – zbioru algorytmów uczenia maszynowego KrakN, służącego do automatyzacji wykrywania uszkodzeń powierzchni betonowych.

W piątym rozdziale przedstawiono opis eksperymentu badawczego, potwierdzającego główną tezę rozprawy. Zawarto w nim założenia eksperymentu oraz jego przebieg. Wyznaczono wskaźniki wydajności sieci między proponowanym rozwiązaniem, a siecią, której wagi przed treningiem inicjalizowane były od wartości losowych. Porównane zostały także możliwości treningu algorytmów przy wykorzystaniu ogólnodostępnych stacji obliczeniowych odpowiadających możliwościom typowego komputera klasy biurowej, stacji specjalistycznej wykorzystującej dedykowany procesor obliczeniowy oraz maszyny wykonującej obliczenia w chmurze. W rozdziale tym porównuje się wyniki uzyskane za pomocą proponowanego rozwiązania z rozwiązaniami stosowanymi obecnie, charakteryzującymi się teoretycznie większą dokładnością opisywaną w dostępnej literaturze. Ponadto w rozdziale tym opisano dodatkowe możliwości zwiększenia skuteczności wykrywania uszkodzeń przy zastosowaniu proponowanego rozwiązania oraz podsumowano wyniki badań.

Rozdział szósty zawiera tematykę powiązania bezwymiarowego obrazu cyfrowego RGB z fizycznymi wymiarami obiektów na obrazie. Przedstawione zostały techniki pozwalające na pomiar fizycznych cech obiektów na obrazie, oraz zaprezentowano projekt i budowę urządzenia współpracującego z systemem Android, umożliwiającego pomiar długości celowej w trakcie przechwytywania obrazu. Moduł ten otrzymał własną nazwę – SmartMeasure. W rozdziale tym opisano także fizyczną budowę, oprogramowanie i logikę działania modułu SmartMeasure. Ponadto w tym rozdziale Doktorant przedstawia możliwości ekstrakcji cech fizycznych obiektów na obrazie z wykorzystaniem zbudowanego dodatkowego modułu oraz metod uczenia maszynowego, a także podejmuje się oceny dokładności opracowanego rozwiązania.

Ostatni rozdział rozprawy zawiera podsumowanie pracy, wnioski oraz kierunki prowadzenia dalszych prac.

Rozprawę kończy wykaz literatury oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

*Handwritten signature*





Po zapoznaniu się z rozprawą stwierdzam, że przyjęty układ i sposób uporządkowania treści jest logiczny i czytelny, typowy dla prac o charakterze badawczym. Rozprawa napisana jest poprawną polszczyzną, a jej strona graficzna nie budzi zastrzeżeń. Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny i wystarczający.

Podsumowując ten fragment recenzji uważam, że podjęty przez Autora temat rozprawy zasługuje na pozytywną ocenę bo jest aktualny, tak z poznawczego jak i inżynierskiego punktu. Podobnie rzecz ma się ze sformułowanym w rozprawie celem. Jest on zasadny i oryginalny.

#### **4.2. Ocena wartości naukowej rozprawy**

Ocenę wartości naukowej rozprawy rozpoczynam od stwierdzenia, że zrealizowane badania eksperymentalne zostały zaprogramowane właściwie z punktu założonego celu. Metodyka zrealizowanych badań nie budzi większych zastrzeżeń. Badania zostały odpowiednio opisane i udokumentowane. Uzyskane rezultaty Autor przedstawił w sposób jasny i czytelny w formie graficznej w postaci bardzo licznych wykresów i zestawień tabelarycznych. Zaprojektowane i przebadane rozwiązania zostały także zaimplementowane do praktycznych zastosowań a ich efektem było stworzenie własnego narzędzia inżynierskiego – zbioru algorytmów uczenia maszynowego KrakN, służącego do automatyzacji wykrywania uszkodzeń powierzchni betonowych oraz urządzenia współpracującego z systemem Android, umożliwiającego pomiar długości celowej w trakcie przechwytywania obrazu. Moduł ten otrzymał własną nazwę – SmartMeasure. Przeprowadzona została poprawna analiza i interpretacja uzyskanych rezultatów i na tej podstawie wyciągnięte zostały właściwe wnioski.

Po analizie rozprawy uważam, że głównymi osiągnięciami naukowych Autora są wymienione niżej następujące dokonania:

- budowa zbioru algorytmów uczenia maszynowego umożliwiających detekcję uszkodzeń na powierzchni betonu oraz test ich dokładności,
- budowa podręcznego urządzenia pomiarowego działającego w systemach operacyjnych popularnych smartfonów i tabletów wraz z dedykowanym algorytmem, który pozwala na odczyt fizycznych cech uszkodzenia z obrazu cyfrowego,
- zaproponowanie nowoczesnego rozwiązania, które zwiększyłyby efektywność okresowych inspekcji obiektów mostowych, jednocześnie nie zmieniając w sposób znaczny metody prowadzenia inspekcji oraz jej kosztów,



- udowodnienie, że algorytm w którym trening jest wykonywany przy pomocy techniki *transfer learning*, wykorzystanej do rozpoznawania obrazów ze zbioru ImageNet był w stanie nauczyć się rozpoznawać obiekty, na których nie był trenowany,
- udowodnienie, że dzięki zastosowaniu różnych zbiorów danych do ewaluacji utworzonego algorytmu istnieje zdolność tego algorytmu do generalizowania zdobytej wiedzy,
- połączenie automatyzacji pomiaru długości celowej wraz z zastosowaniem wizji komputerowej opartej na metodach płytkiego uczenia maszynowego pozwoliło na pozyskanie cech fizycznych uszkodzenia po jego segmentacji na obrazie. Zaprojektowany na potrzeby rozprawy dodatek peryferyjny do smartfona zapewnia dostatecznie wysoką dokładność dla potrzeb przeglądów podstawowych i rozszerzonych,
- wykazanie, iż zastosowanie technik transfer learningu pozwala na zwiększenie wszechstronności i ogólnodostępności końcowego algorytmu przez jego większą zdolność do generalizowania wiedzy oraz zmniejszenie zapotrzebowania na moc obliczeniową wymaganą do jego treningu,
- potwierdzenie, że stosowanie wizji komputerowej w połączeniu z algorytmami uczenia maszynowego pozwala na automatyzację części czynności wykonywanych przez inspektora w trakcie inspekcji. Tym samym, wdrożenie proponowanych w rozprawie rozwiązań pozwoliłoby na zwiększenie efektywności pracy inspektora mostowego.

## 5. UWAGI KRYTYCZNE

Na wstępie chciałbym podkreślić, że przedstawione w niniejszym punkcie uwagi krytyczne odnośnie recenzowanej rozprawy nie obniżają jej wartości merytorycznej i jej jednoznacznie pozytywnej oceny. Zostały one podane w charakterze dyskusji i pewnego rodzaju uporządkowania przedstawionych treści z nadzieją, że mogą być przydatne i zostaną wykorzystane w trakcie opracowywania publikacji naukowych kierowanych do czasopism z tej tematyki.

*Handwritten signature*





Podczas czytania rozprawy nasunęły mi się, w kolejności, następujące uwagi krytyczne i dyskusyjne:

- a) zalecenia edytorskie mówią, że w **wersach**, które mają powyżej 40 znaków, nie powinniśmy zostawiać na **końcu** pojedynczych liter, czyli a, i, o, u, w, z. Wymienione przyimki i **spójniki** powinny zostać przeniesione na początek kolejnego **wersu** – *w recenzowanej pracy te zalecenia niestety nie są przestrzegane*
- b) str. 1 – w wersie 4 powinno być ..... *jak i do bezpieczeństwa* ..... a nie .... *jak do bezpieczeństwa* .....
- c) str. 1 – w wersie 11 powinno być raczej..... *mostów ważnych dla systemu komunikacyjnego na świecie* ..... a nie .... *mostów o wysokim znaczeniu na świecie* .....
- d) str. 1 – w wersie 29 powinno być raczej..... *na najważniejszych mostach* ..... a nie .... *w najważniejszych mostach* .....
- e) str. 2 – w wersie 7 powinno być raczej..... *zbudowanych z betonu zbrojonego* ..... a nie .... *zbudowanych z betonu* ..... – chyba, że Doktorant miał coś konkretnego (innego na myśli)
- f) str. 2 – w wersie 7 powinno być raczej..... *zbudowanych z betonu zbrojonego* ..... a nie .... *zbudowanych z betonu* ..... – chyba, że Doktorant miał coś konkretnego (innego na myśli)
- g) str. 2 – w wersie od 15 do 26 Doktorant używa języka epickiego, nacechowanego emocjami – jak w powieści, który nie powinien być stosowany w pracach badawczych
- h) str. 3 – w wersie 25 powinno być raczej..... *wymagających badań odbiorczych (badania wizualne, geodezyjne, obciążenia próbne)*..... a nie .... *wymagających odbiorczego* ..... – chyba, że Doktorant miał coś konkretnego (innego na myśli)
- i) str. 3 – w wersie 27 powinno być raczej..... *obiektów o obniżonych parametrach wytrzymałościowych i eksploatacyjnych posiadających dużą liczbę uszkodzeń*..... a nie .... *obiektów wysłużonych z dużą liczbą uszkodzeń* ..... – chyba, że Doktorant miał coś konkretnego (innego na myśli)

*Handwritten signature or mark in blue ink.*



- j) str. 4 – w wersji 13 powinno być raczej..... *średnia liczba operacji* .....a nie .... *średnia ilość operacji* ..... – chyba, że Doktorant miał coś konkretnego (innego na myśli)
- k) str. 4 - w wersji 19 brak wyjaśnienia skrótu *MIT*
- l) str. 5 - w wersji 25 czy nie lepiej zapisać polskiego tłumaczenia ..... *technik transferu efektów uczenia się (ang. transfer learning)* ..... niż ..... *technik transfer learning – powtarza się także w dalszych wersjach*
- m) str. 9 - w wersji 15 powinno być..... *a stanem faktycznym*.....a nie *a stanem praktycznym*.....
- n) str. 9 - w wersji 22 Doktorant opisuje rysunek, którego nie ma na stronie. Raczej opis rysunków, wykresów robimy pod nim aby czytelnik mógł skonfrontować Nasze opisy ze stanem faktycznym
- o) str. 12 i 13 – użyto pojęcia *modernizacja*, które nie występuje w polskim prawie budowlanym, należałoby użyć *remont, przebudowa*
- p) str. 14 - w wersji 9 Doktorant niepotrzebnie użył słowa ....*jednak*....
- q) str. 58 i 59 – w wersjach od 25 do 43 Doktorant sformułował tezy (wnioski), które nie odpowiadają do końca prawdzie – owszem jeżeli mówimy o wykorzystaniu klasycznych metod wizji komputerowej i metod sztucznej inteligencji to można uznać, że żadna dotychczasowa nie spełnia trzech podstawowych cech użytecznego narzędzia inżynierskiego, ale są inne metody wykorzystujące metody sztucznej inteligencji do lokalizacji i identyfikacji defektów (np. metoda emisji akustycznej), która spełnia te założenia a idąc dalej daje możliwość skorelowania wyników z systemem nadzoru prezentowanym przez Doktoranta i umożliwi stworzenie baz BIM-owskich dla obiektów inżynierskich (prace dr Krampikowskiej i innych)

## 6. WNIOSEK KOŃCOWY

Opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Mateusza Żarskiego zatytułowana „*Wizja komputerowa i transfer learning w inspekcjach betonowych obiektów mostowych*” rozwiązuje oryginalne zadanie naukowe dotyczące budowy zbioru algorytmów uczenia maszynowego umożliwiających detekcję uszkodzeń na powierzchni betonu, budowy podręcznego urządzenia pomiarowego działającego w systemach operacyjnych popularnych smartfonów i tabletów

*Jan*





wraz z dedykowanym algorytmem, który pozwala na odczyt fizycznych cech uszkodzenia z obrazu cyfrowego, oraz zaproponowania nowoczesnego rozwiązania, które zwiększyłyby efektywność okresowych inspekcji obiektów mostowych, jednocześnie nie zmieniając w sposób znaczny metody prowadzenia inspekcji oraz jej kosztów,

Uważam, że przedstawiony w rozprawie cel został osiągnięty, a sformułowane tezy udowodnione.


Autor rozprawy wykazała się bardzo dobrą znajomości aktualnego stanu wiedzy w zakresie objętym tematem, umiejętnościami programowania i prowadzenia badań doświadczalnych. Zrealizował obszerny zakres tych badań, otrzymał oryginalne wyniki, przeanalizował je, krytycznie ocenił i sformułował poprawne wnioski. Ponadto opracował i zgłosił dwa rozwiązania patentowe bazujące na wykonanych badaniach laboratoryjnych i „in-situ”. Świadczy to o Jego bardzo dobrym przygotowaniu i predyspozycjach do samodzielnego prowadzenia prac naukowo — badawczych.

Uwagi krytyczne zawarte w punkcie 5 recenzji nie obniżają wartości merytorycznej i ogólnej pozytywnej oceny rozprawy. Mają one charakter dyskusyjny, ale też i porządkowy. Mam nadzieję, że Autor zechce je wykorzystać podczas przygotowywania artykułów do druku w czasopismach naukowych.

W mojej opinii rozprawa wnosi w przedmiotowym temacie istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport i ma znaczenie naukowe i praktyczne.

## **7. SENTENCJA RECENZJI**

Biorąc pod uwagę sformułowania zawarte we wniosku końcowym, moim zdaniem recenzowana rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Żarskiego zatytułowana „*Wizja komputerowa i transfer learning w inpekcjach betonowych obiektów mostowych*” spełnia wymogi odnośnie do prac doktorskich zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2020, poz. 85) i stawiam wniosek o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

  
Kielce, dn. 26-10-2022