

Szczecin, 12.09.2025 r.

prof. dr hab. inż. Krzysztof Okarma  
Katedra Przetwarzania Sygnałów i Inżynierii Multimedialnej  
Wydział Elektryczny  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

DZIEKANAT WYDZIAŁU  
ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI  
Dnia: WPŁYNĘŁO  
2025-09-11  
Podpis: J. J.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**dla Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja**  
**Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza**

*opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja  
Politechniki Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza z dnia 10.07.2025 r. oraz wynikającego z niej  
pisma Przewodniczącego Rady dr. hab. inż. Mariusza Oszusta, prof. uczelni*

Tytuł rozprawy: **Metody oceny jakości obrazów cyfrowych z wykorzystaniem sieci neuronowych**

Autor rozprawy: **mgr inż. Igor Stępień**

Dyscyplina naukowa: **informatyka techniczna i telekomunikacja**

Promotor: **dr hab. inż. Mariusz Oszust, prof. uczelni**

**I. TEMATYKA, TEZA NAUKOWA I CEL ROZPRAWY**

Rozprawa doktorska mgr. inż. Igora Stępnia została zrealizowana w formie cyklu siedmiu publikacji naukowych dotyczących opracowania metod oceny jakości obrazów cyfrowych, reprezentujących wyniki rezonansu magnetycznego oraz wybranej klasy obrazów satelitarnych. Wskaźniki jakości zostały opracowane z użyciem sieci neuronowych, co stanowi aktualnie wiodące podejście do tego rodzaju zagadnień. Biorąc pod uwagę dynamiczny rozwój metod oceny jakości obrazów cyfrowych, zarówno ogólnego przeznaczenia, jak też coraz częściej spotykane opracowywanie wskaźników dedykowanych do pewnych klas obrazów lub innych danych, które mogą być reprezentowane w postaci dwuwymiarowych tablic, jest to tematyka ważna i aktualna. Przykładami takich obrazów mogą być powierzchnie wydruków 3D, dane satelitarne – także w postaci obrazów wielospektralnych, czy też wyników pomiarów lidarowych, jak również wybrane rodzaje obrazów biomedycznych. W takich przypadkach, podobnie jak np. dla obrazów binarnych, czy też panoramicznych, zazwyczaj okazuje się, iż ze względu na zupełnie inne rodzaje zakłóceń i zniekształceń obniżających jakość obrazów, wskaźniki jakości obrazu ogólnego przeznaczenia niezbyt dobrze odzwierciedlają zmiany jakości, co skutkuje relatywnie niską korelacją z subiektywnymi ocenami jakości (o ile są one dostępne).

Postawiona teza naukowa, w której Doktorant zakłada, iż zastosowanie metod sztucznej inteligencji, w szczególności różnorodnych architektur sieci neuronowych, umożliwi ocenę jakości obrazów satelitarnych oraz obrazów rezonansu magnetycznego bez referencji, zapewniając wysoką zgodność z subiektywnymi ocenami ekspertów i nie ustępując pod względem skuteczności predykcji jakości znanym rozwiązaniom, jest właściwa. W szczególności zwrócić należy uwagę na trafność wyboru metod bezreferencyjnych (tzw. „ślepych”), które nie wymagają znajomości obrazu oryginalnego pozbawionego zakłóceń. Biorąc pod uwagę fakt, iż większość metod oceny jakości o wysokiej korelacji z ocenami subiektywnymi stanowią wskaźniki porównawcze (*full-reference*), dla których obraz referencyjny jest znany, wybór ten jest o tyle trafny, iż w rozważanych zastosowaniach (a także wielu innych) dostęp do takich „doskonałych” obrazów jest utrudniony lub wręcz niemożliwy. O ile w przypadku obrazów reprezentujących dane charakteryzujące się pewną regularnością lub powtarzalnością, jak np. powierzchnie wydruków 3D, można zastosować tego rodzaju wskaźniki do porównania fragmentów obrazu, to w analizowanych w rozprawie rodzajach obrazów, nie byłoby to celowe ze względu na brak wzajemnej jednolitości fragmentów obrazów. Jedyną drobną uwagą, dotyczącą sformułowania tezy badawczej, jest brak jednoznacznego określenia rodzaju analizowanych obrazów satelitarnych – z treści rozprawy wynika jednak, iż rozważane są głównie obrazy wyostnione z użyciem technik *pan-sharpeningu*.

Rozprawa bardzo dobrze wpisuje się w aktualne trendy rozwojowe dyscypliny *informatyka techniczna i telekomunikacja*, integrując zagadnienia z zakresu głębokich sieci neuronowych, przetwarzania i analizy obrazów, teledetekcji oraz informatyki medycznej w zakresie analizy obrazów biomedycznych. Cel rozprawy został sformułowany w postaci zbioru czterech celów szczegółowych, obejmujących analizę literatury z zakresu oceny jakości obrazów rezonansu magnetycznego oraz dostępnych baz danych, opracowanie narzędzi do oceny jakości tego rodzaju obrazów, a także wyostnionych obrazów satelitarnych (w obu przypadkach ocena następuje z zastosowaniem głębokich sieci neuronowych), a także przeprowadzenie badań eksperymentalnych wraz z analizą i interpretacją wyników w kontekście aktualnego stanu wiedzy dostępnego w literaturze. Cele te nie budzą zastrzeżeń. Przedstawiony cykl publikacji potwierdza zarówno ich osiągnięcie, jak również pozytywną weryfikację hipotezy badawczej.

## II. OCENA ZAWARTOŚCI MERYTORYCZNEJ ROZPRAWY I UWAGI DYSKUSYJNE

Recenzowana rozprawa doktorska składa się z zestawu 7 publikacji naukowych opatrzonych autoreferatem, w którym Doktorant szczegółowo wyjaśnia motywację badań, a także pokrótce przedstawia zawartość poszczególnych publikacji oraz swój udział w tych artykułach, które zrealizował we współpracy z promotorem, a także z innymi naukowcami. Nie ulega wątpliwości, iż publikacje te są spójne tematycznie – wszystkie one dotyczą bezpośrednio zagadnień określonych w tytule rozprawy oraz postawionej hipotezie wraz z celami badawczymi. Żadnych zastrzeżeń nie budzi dobór miejsc, w których prezentowane były dokonania naukowe doktoranta. Wśród czasopism zwraca uwagę *Engineering Applications of Artificial Intelligence* wydawnictwa *Elsevier* (2 publikacje wyłącznie z promotorem po 140 punktów MNiSW, wskaźnik *Impact Factor* równy 7,5 za rok 2023; aktualnie 8,0), a także *SoftwareX* (tego samego wydawnictwa (2 publikacje – jedna z promotorem i jedna samodzielna po 200 pkt. MNiSW, wskaźnik IF=2,4). Pozostałe 3 publikacje ukazały się w czasopismach *Remote Sensing*, *Sensors* oraz *Journal of Imaging*. Są to również czasopisma związane tematycznie z tematyką badań, posiadające wskaźniki IF od 3,2 do 5 (dwa pierwsze po 100 pkt. MNiSW, ostatnie 20 pkt.) Warto podkreślić, iż 5 z 7 prac zostało opublikowanych wyłącznie z promotorem, jedna samodzielnie, a tylko w jednej jest łącznie czterech współautorów. Do wszystkich współautorskich publikacji załączono oświadczenia współautorów potwierdzające udział merytoryczny oraz

procentowy Doktoranta w ich powstanie. W żadnej z tych publikacji nie ma on charakteru pomocniczego, a zatem należy uznać, iż w każdym przypadku jest on co najmniej znaczący.

Pierwsza z publikacji, opublikowana w czasopiśmie *Journal of Imaging*, ma charakter przeglądu, stanowiąc bardzo dobry wstęp do tematyki rozprawy. Z tego względu nie dziwi fakt jej opublikowania w nieco mniej „prestizowym” czasopiśmie. Dotyczy ona zastosowania „ślepych” wskaźników oceny jakości obrazów w odniesieniu do wyników rezonansu magnetycznego (MR). Przedstawiono w niej typowe dla tego rodzaju obrazów zakłócenia i zniekształcenia, które wpływają na obniżenie ich jakości oraz przydatności diagnostycznej. Dokonano przeglądu kilkunastu stosowanych wskaźników jakości odnoszących się do obrazów MR wraz z ich ewaluacją przy użyciu dostępnych baz obrazów testowych, także dość szczegółowo przedstawionych w publikacji. Nakreślono w niej kierunki dalszych badań, choć nie zostały w niej przedstawione żadne wyniki o charakterze numerycznym, np. wielkości korelacji z ocenami subiektywnymi. Pomimo, iż ta publikacja stanowi najślabszy element przedstawionego cyklu, jej uwzględnienie jako części rozprawy jest uzasadnione ze względu na jej wprowadzający charakter, porządkujący ówczesny stan wiedzy (połowa 2022 r.), stanowiący motywację do podjęcia badań. Doktorant słusznie zauważa, iż jednym z największych wyzwań, utrudniających rozwój metod oceny jakości obrazów MR, jest brak odpowiednio dużych baz danych zawierających oceny subiektywne, gdyż bazy takie są niezbędne do trenowania modeli bazujących na głębokich sieciach neuronowych.

Kolejna publikacja, która ukazała się w czasopiśmie *Sensors*, jest wynikiem współpracy z dwoma naukowcami reprezentującymi nauki medyczne oraz informatykę, zatrudnionymi w Uniwersytecie Jagiellońskim oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (profesorowie Rafał Obuchowicz, specjalizujący się w diagnostyce obrazowej oraz Adam Piórkowski zajmujący się analizą obrazów biomedycznych). Przedstawiono w niej ideę fuzji głębokich sieci neuronowych na potrzeby „ślepej” oceny jakości obrazów MR, kierując się potrzebą opracowania precyzyjnej, powtarzalnej i niezależnej od ocen subiektywnych metody, która stanowiłaby wsparcie diagnostyczne, pozwalając na oszacowanie stopnia wiarygodności diagnozy, zależnego od jakości danych obrazowych, na podstawie których została ona postawiona.

W publikacji tej zwrócono uwagę na fakt, iż adaptacja rozwiązań stosowanych w analizie obrazów naturalnych, nawet przy wzbogaceniu ich o pewne dodatkowe cechy, np. bazujące na entropii, czy wariancji, lub też przy zastosowaniu dodatkowej filtracji, nie zawsze prowadzi do zadowalających rezultatów ze względu na unikalne cechy obrazów rezonansu magnetycznego, które nie zawsze są przez tego rodzaju metryki uwzględniane. W artykule wykazano celowość zastosowania fuzji dwóch architektur sieci, przy czym unikalnym podejściem jest zastąpienie ich końcowych warstw (typowo przeznaczonych do klasyfikacji) warstwami do regresji, co umożliwia efektywne zastosowanie sieci neuronowych do zadań oceny jakości obrazów w skali ciągłej (a nie jedynie typowej binarnej klasyfikacji). Użyto kilku wstępnie wytrenowanych na zbiorze *ImageNet* sieci, które następnie zostały douczone metodą SGDM. Zastosowane podejście (transfer learning) pozwoliło na skrócenie czasu trenowania sieci a ze względu na relatywnie małą liczbę obrazów MR, zastosowano dodatkową augmentację danych poprzez rotację obrazów – jest to podejście właściwe przede wszystkim ze względu na fakt, iż ten sposób augmentacji nie wpływa w zauważalny sposób na jakość obrazów. W wyniku porównania trzech wariantów fuzji sieci z 17 innymi metodami oceny jakości obrazów, w tym dedykowanymi dla obrazów MR, przy użyciu dwóch zbiorów danych, potwierdzono wzrost korelacji z ocenami subiektywnymi, uzyskany dzięki zastosowaniu zaproponowanego podejścia. Mimo iż nie jest to część pracy, za którą odpowiadał Doktorant, warto zwrócić uwagę, że jej ważnym elementem jest utworzenie bazy danych obrazów MR, zawierającej ich oceny subiektywne pozyskane od 24 doświadczonych radiologów, co było możliwe przede wszystkim dzięki kooperacji z prof. Obuchowiczem.

Pewien niedosyt, dotyczący też częściowo kolejnych publikacji, budzi przyjęcie założenia zastosowania 80% obrazów do trenowania sieci oraz 20% do testów. Choć jest to podejście typowe, czasem stosuje się inne podziały (np. 70% obrazów do trenowania oraz 30% do testów), co może istotnie wpływać na uzyskiwane rezultaty. Warto byłoby przeprowadzić takie eksperymenty i określić wpływ podziału bazy na część uczącą oraz testową, przynajmniej dla najlepszych spośród metod bazujących na sieciach neuronowych oraz ich proponowanych kombinacji.

Trzecia z publikacji, ujętych w cyklu stanowiącym rozprawę doktorską mgr. inż. Igora Stępnia, została opublikowana w czasopiśmie *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. Bazuje ona na słusznym założeniu, iż cechy wyodrębniane przez sieci neuronowe umożliwiają skuteczne różnicowanie obrazów o różnej jakości, przy czym dotyczy to zarówno poszczególnych warstw, jak i zintegrowanych modeli, co pozwoliło na zaproponowanie wzbogacenia ekstrakcji cech świadczących o jakości obrazu dzięki wewnętrznym połączeniom między sieciami z tej samej rodziny (ResNet). Również w tym przypadku ostatnie ich warstwy zostały wymienione, tak aby móc zastąpić klasyfikację zadaniem regresji. Podobnie jak poprzednio, zastosowano uczenie transferowe, tym razem jednak z uwzględnieniem fuzji sieci. Wykazano przewagę zaproponowanego wzajemnego oddziaływania obu sieci nad użyciem ich osobno, jak również ich komplementarność i synergę.

Zwraca uwagę fakt, iż użycie sieci ResNet do obrazów rezonansu magnetycznego wymagało ich dostosowania przez zmniejszenie głębi bitowej z 16 bitów na 8 oraz połączenie kanałów. O ile ta ostatnia operacja ma charakter typowo techniczny, to redukcja liczby bitów oraz dostosowanie rozmiaru obrazów do wymiarów  $224 \times 224$  piksele nie pozostaje obojętna na jakość obrazu. Co prawda w dalszych etapach analizy zastosowano redukcję wymiarowości wektora cech metodą PCA, jednak nasuwa się pytanie, w jaki sposób dokonywano przepróbkowania obrazów i czy ewentualna jego zmiana miałaby zauważalny wpływ na uzyskiwane wyniki. Wątpliwość ta nie ma jednakże aspektu krytycznego ze względu na fakt, iż użyte w eksperymentach obrazy MR nie mają znacząco większych rozmiarów (jak podano w publikacji jest to co najwyżej  $512 \times 512$  pikseli), a zatem ewentualny wpływ na jakość przepróbkowanego obrazu nie powinien być znaczący. Uzyskane wyniki korelacji z ocenami subiektywnymi przedstawione w artykule potwierdzają w pełni zalety zaproponowanego podejścia.

Czwarta z publikacji ma charakter opisu opracowanego przez Doktoranta pakietu oprogramowania TIQA-MRI w postaci przybornika (*toolbox*) dla środowiska MATLAB służącego do oceny jakości obrazów MR oraz porównywania poszczególnych metod oceny. Jest to samodzielna publikacja Kandydata opublikowana w czasopiśmie *SoftwareX*. Przedstawiono w niej opis aplikacji oraz jej interfejsu, a także funkcjonalności aplikacji. Choć publikacja ta nie prezentuje nowej metody oceny, jest ona wartościowym elementem rozprawy ze względu na fakt samodzielnego opracowania narzędzia począwszy od architektury aplikacji, poprzez implementację funkcjonalności umożliwiające ocenę jakości, trenowanie sieci, porównanie metod po dokumentację opracowanego narzędzia.

Piąta publikacja, która ukazała się w czasopiśmie *Remote Sensing*, dotyczy oceny jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych, uzyskiwanych metodą *pan-sharpeningu* na podstawie obrazów panchromatycznych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej oraz wielospektralnych obrazów niższej rozdzielczości. Taka fuzja obrazów może prowadzić do wyników o zróżnicowanej jakości, zależnie od zastosowanych algorytmów łączenia obrazów. Również w tym przypadku jeden z istotnych problemów stanowi brak dużych baz danych tego rodzaju obrazów, zawierających oceny subiektywne, co w znaczący sposób utrudnia trenowanie sieci neuronowych, które mogłyby posłużyć do oceny ich jakości. W naturalny sposób pojawia się zatem potrzeba opracowania „ślepych” wskaźników jakości, które nie wymagają znajomości niedostępnego

obrazu referencyjnego. Celem tej pracy było dostosowanie istniejących wskaźników jakości obrazów ogólnego przeznaczenia do specyfiki obrazów uzyskanych metodą *pan-sharpeningu* oraz zaproponowanie metody bazującej na połączeniu dwóch sieci neuronowych umożliwiającej ekstrakcję istotnych cech obrazu. W naturalny sposób pomysł ten wynika z wcześniejszych doświadczeń związanych z obrazami MR, jednak w tym przypadku zastosowane zostały sieci o odmiennej architekturze (ResNet-18 oraz VGG-19) bez dodatkowego uczenia. Jako dane wejściowe posłużyły obrazy RGB oraz pozyskane w bliskiej podczerwieni. Po redukcji wymiarowości wektora cech uzyskanego z obu sieci na różnych ich poziomach (do tego celu posłużyła metoda Kernel PCA), zastosowano predykcję jakości przy użyciu modelu SVR. Warto zauważyć, iż ocena jakości tego rodzaju danych jest zupełnie odmienna od obrazów $\times$  MR, także ze względu na wskazane liczby cech w pierwszych warstwach obu sieci, liczone w setkach tysięcy. Dzięki kontaktom z autorami różnych dostępnych baz obrazów satelitarnych, w szczególności bazy IKONOS, możliwe było wyznaczenie korelacji z udostępnionymi ocenami subiektywnymi. Wykazano, iż zaproponowane podejście istotnie przewyższa inne analizowane metody oceny jakości obrazów.

Warto zauważyć, iż w tym przypadku nie stosowano uczenia transferowego, zatem metoda ta może być uznana za bezreferencyjną w nieco większym stopniu aniżeli metody użyte we wcześniejszych publikacjach. Ponieważ metody bezreferencyjne bazujące na sieciach neuronowych wymagają uczenia sieci, to w przypadku użycia tego samego rodzaju obrazów lub nawet douczania sieci, pojęcie „całkowicie ślepej” oceny jakości staje się nieco bardziej dyskusyjne w kontekście wcześniejszych „klasycznych” metod bazujących na cechach wyznaczanych bez użycia metod uczenia maszynowego (*handcrafted features*). Niezależnie od tych rozważań, dobór architektur sieci, a także fuzja odpowiedzi poszczególnych warstw oraz dostosowanie ostatnich warstw sieci do potrzeb regresji, stanowią istotne osiągnięcia w dziedzinie oceny jakości obrazów pod względem naukowym. Potwierdza to także kolejna publikacja (czasopismo *Engineering Applications of Artificial Intelligence*), w której zaproponowano użycie sieci o zmodyfikowanej architekturze do oceny jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych. Modyfikacja ta polega na zastosowaniu trójgałęziowej struktury sieci, w której gałąź środkowa służy do współdzielenia informacji pomiędzy sieciami wspomagającego proces jej uczenia. Umożliwiło to rezygnację ze stosowania metody KPCS oraz kilku innych kroków przetwarzania. Również w tym przypadku pojawia się kwestia związana z przepróbkowywaniem obrazów ze względu na wymogi sieci Inception-v3 (rozmiar obrazu  $299 \times 299$  pikseli), a także z podziałem zbioru obrazów na część uczącą oraz testową w proporcji 80:20. Wyjaśnienia wymaga również wybór miar porównawczych (*full-reference*) zastosowanych jako metryki walidacyjne, co jest spowodowane brakiem ocen subiektywnych. W tej sytuacji wydaje się prawdopodobne wytrenowanie sieci w taki sposób, aby odzwierciedlała ona wartości tych wskaźników, nawet jeśli byłoby one w jakimś stopniu niedoskonałe.

Na uwagę zasługuje zamiana typowo używanego błędu średniokwadratowego jako funkcji straty na wskaźnik SSIM, co stanowi interesujący pomysł. Ze względu na relatywnie niską korelację tego wskaźnika (aczkolwiek zwykle znacząco wyższą niż dla MSE) z ocenami subiektywnymi dla wielu różnych baz obrazów, nasuwa się jednak pytanie, czy Doktorant rozważał użycie innych „klasycznych” wskaźników jakości w tym celu, np. metryk FSIM, MS-SSIM lub innych modyfikacji wskaźnika SSIM, albo też wskaźników hybrydowych (określanych także jako *combined metrics*). Tym niemniej, bardzo istotnym elementem pracy jest przedstawione porównanie wyników uzyskiwanych dla obu rozważanych funkcji straty (MSE oraz SSIM), wykazujące celowość użycia podobieństwa strukturalnego zamiast błędu średniokwadratowego.

Siódmą z publikacji stanowi kolejny artykuł w czasopiśmie *SoftwareX*, tym razem napisany wspólnie z promotorem, przedstawiający opracowane narzędzie (przybornik środowiska MATLAB) do oceny jakości wyostrzonych obrazów satelitarnych, bazujące na dwóch poprzednich publikacjach. Zawiera ono implementację 30 metod oceny jakości obrazów, w tym 4 porównawczych dedykowanych dla obrazów

uzyskanych metodami *pan-sharpeningu* oraz szeregu metod *full-reference* ogólnego przeznaczenia. Umożliwia ono trenowanie modeli oceny jakości na bazie obrazów z ocenami subiektywnymi, wyznaczanie korelacji, porównanie metod z użyciem testu istotności statystycznej Wilcoxon, a także dodawanie nowych metod. Narzędzie to stanowi istotne uzupełnienie nurtu badań dotyczącego oceny jakości obrazów satelitarnych.

Poszczególne publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej cechują się właściwym podejściem metodologicznym, zastosowano w nich krytyczną analizę proponowanych rozwiązań, jak również przedstawiono rzetelne porównania z innymi metodami na podstawie dostępnych baz testowych. Ponadto, przeprowadzono analizę wpływu poszczególnych elementów dla fuzji sieci i ich ewentualnej nadmiarowości (tzw. *ablation studies*), wykazując zalety proponowanych rozwiązań.

### III. UWAGI SZCZEGÓŁOWE DOTYCZĄCE AUTOREFERATU

Poziom edytorski, językowy oraz graficzny autoreferatu jest wysoki. Pod względem merytorycznym stanowi on bardzo dobry przewodnik po przedstawionych siedmiu publikacjach, pozwalający na uwypuklenie ich najistotniejszych elementów. Ze względu na to, iż główne uwagi o charakterze merytorycznym zostały ujęte wcześniej przy opisie i ocenie zawartości poszczególnych publikacji, poniżej przedstawiono jedynie wybrane usterki techniczne zauważone w autoreferacie.

Wśród zauważonych drobnych usterek wymienić można:

- stosowanie anglojęzycznych nagłówków w tabelach (*Method* w Tabeli 2.4, czy *Criterion* w Tabeli 2.5),
- niewłaściwą lokalizację rysunku 2.1 – odwołanie do niego znajduje się na str. 16 a sam rysunek dopiero na str. 48, co zaburza dodatkowo kolejność ilustracji w autoreferacie),
- brak wyjaśnienia niektórych skrótów i pojęć, także brak niektórych z nich w wykazie symboli, oznaczeń i akronimów (FLAIR, DWI, GRAPPA, t-SNE),
- nieliczne usterki językowe np. „współczynnik jakości oparty o średnią ocen” zamiast „oparty na średniej ocen” na str. 7, czy też „pierwiastek średniego błędu kwadratowego” na str. 15 (lepiej byłoby użyć sformułowanie „pierwiastek błędu średniokwadratowego”), „wymaga użycia do niedostępnego” (str. 33),
- drobne usterki typograficzne (rysunek 2.8, czy też 5. wiersz na str. 31).

Ponadto, niektóre sformułowania, specyficzne np. dla diagnostyki medycznej, powinny być nieco bardziej szczegółowo wyjaśnione (np. przestrzeń  $k$  – str. 16), natomiast akronim RMSE na str. 15 powinien być zdefiniowany wcześniej (przy PLCC, SRCC i KRCC).

Pewne wątpliwości budzi użycie sformułowania „współczynnik korelacji rang” – częściej spotykane wydaje się określenie „współczynnik korelacji rangowej”. Nie jest także jasne, co Autor rozumie przez sformułowanie „Ewaluacje przeprowadzono na dwóch zbiorach danych przy użyciu średnich wartości typowych w dyscyplinie” (str. 20).

Zarówno liczba, jak również znaczenie tych usterek są niewielkie, co zresztą nie ma wpływu na ogólną bardzo wysoką ocenę merytoryczną pracy. Nie ulega wątpliwości, iż założone cele pracy zostały osiągnięte a teza udowodniona.

#### IV. WNIOSKI KOŃCOWE

Recenzowana rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie problemu naukowego, który bardzo dobrze wpisuje się w dyscyplinę naukową *informatyka techniczna i telekomunikacja*, w szczególności pod względem aktualnie obserwowanego rozwoju metod sztucznej inteligencji oraz analizy obrazów. Kandydat wykazał się bardzo dobrą znajomością zagadnień dotyczących tych obszarów, a także wybranych aspektów inżynierii biomedycznej oraz teledetekcji. Praca potwierdza także umiejętność zaplanowania i praktycznej realizacji badań eksperymentalnych i badań naukowych w zakresie informatyki stosowanej w powiązaniu z innymi dyscyplinami, a także umiejętność rozwiązywania problemów naukowych.

Stwierdzam, iż przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr. inż. Igora Stępnia** pt. „*Metody oceny jakości obrazów cyfrowych z wykorzystaniem sieci neuronowych*”, której promotorem jest dr hab. inż. Mariusz Oszust, prof. Politechniki Rzeszowskiej, zrealizowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie *informatyka techniczna i telekomunikacja*, **spełnia wymagania** stawiane rozprawom doktorskim przez aktualnie obowiązującą ustawę *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 roku (tekst jednolity Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). **Wnioskuje o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.**

