

dr hab. inż. Eliaż Kańtoch, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Recenzja

Recenzja osiągnięć naukowych i aktywności naukowej dr inż. Marty Borowskiej w kontekście wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna przygotowana zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.).

Sylwetka naukowa i osiągnięcia Habilitantki

Habilitantka posiada stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie informatyka nadany uchwałą Rady Naukowej Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej w dniu 14.03.2011, który został nadany na podstawie rozprawy doktorskiej: „Analiza sygnałów EEG za pomocą nieliniowych deskryptorów synchronizacji”. Praca powstała pod kierunkiem promotora dr hab. Edwarda Stanisława Oczeretko. Habilitantka od ponad 24 lat pracuje w jednostkach naukowych, najpierw była zatrudniona jako asystent, następnie adiunkt i wykładowca w Instytucie Informatyki Uniwersytetu w Białymstoku, a od 01.10.2013 – do chwili obecnej jest zatrudniona w Instytucie Inżynierii Biomedycznej Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej. Pozytywnym aspektem osiągnięć Habilitantki jest naukowa współpraca krajowa m.in. z naukowcami ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydziału Lekarskiego, oraz Wydziału Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku, oraz zagraniczna z naukowcami z Vilnius Gediminas Technical University (Litwa), która została udokumentowana wspólnymi publikacjami naukowymi, jak również przyczyniła się do pozyskania finansowania w drodze konkursu z Narodowego Centrum Nauki. Pozytywnie oceniam także mobilność akademicką Habilitantki. Habilitantka odbyła w okresie od 25.03.2016 r. do 24.04.2016 r. krajowy staż naukowy w Uniwersytecie Medycznym w Białymstoku. Tematyka stażu obejmowała zastosowanie technik obrazowania w wykrywaniu nowotworów u ludzi. Efektem realizacji stażu jest publikacja naukowa opublikowana wspólnie z pracownikami Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku. Habilitantka odbyła w okresie od 01.01.2022 r. do 31.03.2022 r. krajowy staż naukowy w Katedrze Chorób Dużych Zwierząt i

Klinice Instytutu Medycyny Weterynaryjnej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Tematyka stażu obejmowała analizę obrazów w diagnostyce chorób koni. W wyniku realizacji stażu powstały dwie publikacje naukowe, którymi współautorami są naukowcy ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Nawiązana współpraca przyczyniła się do pozyskania finansowania z Narodowego Centrum Nauki w ramach konkursu MINIATURA na realizację działania naukowego pt. „Zastosowanie analizy tekstury trójwymiarowych obrazów Tomografii Komputerowej (TK) do detekcji objawów radiologicznych resorpcji i hipercementozy zębów na modelu głowy koni w przebiegu syndromu EOT” (umowa nr 2022/06/X/ST6/00431; okres realizacji działania naukowego 03.09.2022 - 02.09.2023). Efektem zrealizowanego działania naukowego jest publikacja.

Habilitationka w okresie od 29.01.2024 r. do 29.02.2024 r. odbyła zagraniczny staż naukowy w Department of Biomechanical Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, Litwa. Tematyka stażu obejmowała analizę obrazów biomedycznych wygenerowanych podczas badania głów koni metodą tomografii komputerowej. W wyniku zrealizowanego stażu powstała publikacja naukowa pt. *„Three-Dimensional Segmentation of Equine Paranasal Sinuses on Multidetector Computed Tomography Data Sets: Preliminary Morphometric Assessment Assisted with Clustering Analysis”*.

Habilitationka prowadzi aktywną i regularną działalność naukową. Jest autorką lub współautorką ponad 42 publikacji opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora, w tym 33 znajdujących się w wykazie Web of Science. Jej łączny wskaźnik Impact Factor wynosi ponad 74. Liczba cytowań według różnych baz danych przedstawia się następująco: Web of Science: 287 (w tym 236 bez autocytowań), Scopus: 503 (393 bez autocytowań), Google Scholar: 789 (563 bez autocytowań). Indeks Hirscha osiągnął wartości: Web of Science: 10, Scopus: 12, Google Scholar: 15. Po uzyskaniu stopnia doktora habilitationka zaprezentowała 23 doniesienia konferencyjne, w tym 7 ustnych i 16 plakatowych.

Habilitationka jest zaangażowana w prowadzenie zajęć dydaktycznych na kierunku Inżynieria Biomedyczna, gdzie prowadziła m.in. następujące przedmioty: Informatyka I, Informatyka II, Programowanie obiektowe C++, Programowanie aplikacji graficznych, Zaawansowane techniki programowania, Bioinformatyka, Komputerowe wspomaganie przetwarzania obrazów, Zaawansowane przetwarzanie pomiarów biomedycznych, Digital Image Processing, Object-Oriented Programming. Ponadto w latach 2015–2022 pełniła funkcję opiekuna roczników na kierunku Inżynieria Biomedyczna dla studiów stacjonarnych I i II stopnia. Po uzyskaniu stopnia doktora była promotorem 66 zakończonych prac dyplomowych, w tym 41 prac inżynierskich oraz 25 magisterskich. Recenzowała także 46 prac inżynierskich i magisterskich na Wydziale Mechanicznym PB. Natomiast Habilitationka nie podaje informacji o pełnieniu roli promotora pomocniczego w przewodach doktorskich. W ramach działalności dydaktycznej była opiekunem Studenckiego Koła Naukowego E-MEDYCYNy „eMED” (2015–

2020). Studenci pod jej opieką osiągnęli znaczące sukcesy: projekt „Opaska wykrywająca upadek” zdobył wyróżnienie na międzynarodowej Konferencji Telemedycyna i eZdrowie (Nowe Horyzonty, 2015), projekt „Urządzenie do pomiaru przepływu kroplówki” otrzymał wyróżnienie w konkursie Technotalenty 2015 w kategorii technika, projekt „Rower z odwróconą skrętnością kierownicy” znalazł się w finale konkursu konstrukcji studenckich KOKOS w Krakowie (2017). Była współorganizatorką wycieczek naukowych dla studentów Inżynierii Biomedycznej m.in. do Kliniki Kardiochirurgii, Politechniki Śląskiej oraz Instytutu Technologii Aparatury Medycznej. Współorganizowała również warsztaty z technologii mobilnych dla studentów Inżynierii Biomedycznej w 2015 roku.

Habilitationka aktywnie uczestniczy w działaniach popularyzujących naukę, organizując i współorganizując wydarzenia takie jak: VII Ogólnopolska Konferencja Postępów w Badaniach Biomedycznych, Podlaski Festiwal Nauki i Sztuki, Uniwersytet Trzeciego Wieku, Dzień Akademicki. Zaangażowana jest również w poprawę jakości kształcenia na kierunku Inżynieria Biomedyczna. Pełni funkcję członka Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, zespołu ds. laboratoriów oraz zespołu koordynatorów ds. rankingów. Brała także udział w zespołach modernizujących plany studiów I i II stopnia Inżynierii Biomedycznej. Działa również w ramach programu Erasmus+. Za swoją działalność naukową habilitationka otrzymała liczne nagrody, m.in.: Nagrody Rektora Uniwersytetu w Białymstoku za pracę naukową w latach: 2005, 2006, 2009, 2010; nagrody Rektora Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku za osiągnięcia naukowe w latach akademickich 2005/2006 oraz 2006/2007; nagrody zespołowe Rektora Politechniki Białostockiej za osiągnięcia naukowe w latach: 2016, 2017, 2018, 2020, 2022, 2023; nagrodę III stopnia Polskiego Towarzystwa Nauk Weterynaryjnych za cykl oryginalnych prac badawczych ogłoszonych w czasopiśmie z listy JCR w 2022 roku.

O międzynarodowej rozpoznawalności osiągnięć naukowych habilitationki świadczy jej powołanie do recenzowania projektu badawczego w French National Research Agency pt. „Holistic explainable artificial intelligence schemes for lung cancer prognosis” (2021).

Ocena osiągnięcia naukowego i dorobku naukowego Habilitationki

Osiągnięcie habilitacyjne to monografia naukowa oraz cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, na który składa się sześć artykułów naukowych pod wspólnym tytułem: *„Zastosowanie wybranych metod tekstury obrazów w medycynie”*. Habilitationka w swoim osiągnięciu habilitacyjnym podejmuje badania nad metodami ekstrakcji cech charakteryzujących sygnały i obrazy biomedyczne opartych m.in. o entropię i jej zastosowanie w weterynarii i medycynie. Habilitationka w osiągnięciu habilitacyjnym systematyzuje pojęcie entropii jako parametru charakteryzującego dane medyczne i prezentuje oryginalne wyniki uzyskane z różnych scenariuszy doświadczalnych. Habilitationka wykorzystwała entropię jako miarę sygnału pod kątem przenoszenia informacji mającej znaczenie diagnostyczne. W

swoich badaniach obejmujących sześć artykułów naukowych Habilitantka koncentruje się na ocenie różnych metod ekstrakcji cech obrazów w diagnostyce skuteczności gojenia się kości oraz identyfikacji różnic w strukturze obrazów medycznych reprezentujących różne typy nowotworów złośliwych płuc.

Poniżej przedstawiam krytyczną ocenę poszczególnych elementów wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

Habilitantka w swojej pracy pt. *„Fractal texture analysis of the healing process after bone loss”*, w której jest zarówno pierwszym jak i korespondencyjnym autorem przedstawia analizę wymiaru fraktalnego w ocenie procesu gojenia kości po utracie tkanki. Celem badania było zastosowanie różnych metod analizy tekstury fraktalnej do obrazów radiowizjograficznych oraz porównanie ich skuteczności w ocenie chropowatości fizycznej. Badanie obejmowało 25 pacjentów, którzy przeszli zabieg usunięcia torbieli korzeniowych, a ubytki kostne zostały uzupełnione materiałem Bio-Oss i membraną BioGide. Ocena radiologiczna została przeprowadzona tuż po zabiegu oraz po 12 miesiącach, co umożliwiło analizę procesu gojenia. Wyniki badań wskazują na istotny statystycznie wzrost wymiaru fraktalnego w obrazach wykonanych bezpośrednio po zabiegu chirurgicznym. Wartości te były wyższe w porównaniu do obrazów uzyskanych po 12 miesiącach, co potwierdzono dla wszystkich zastosowanych metod analizy fraktalnej. Przedstawione wyniki potwierdziły postawioną przez Habilitantkę tezę w osiągnięciu naukowym i oceniam je pozytywnie szczególnie ze względu na wartość praktyczną z punktu widzenia rozwoju metod analizy fraktalnej na potrzeby obrazowania medycznego.

Natomiast w pracy pt. *„Fractal dimension in textures analysis of xenotransplants”*, w której jest zarówno pierwszym jak i korespondencyjnym autorem Habilitantka podejmuje problematykę oceny procesu gojenia tkanek kostnych przy użyciu metod analizy fraktalnej w oparciu o zdjęcia radiograficzne. Habilitantka wykorzystała zdefiniowane w pracy metody wyznaczania wymiaru fraktalnego box-counting oraz wymiar informacyjny (information dimension) do ilościowej oceny złożoności badanych struktur kostnych. Habilitantka wykorzystała oprogramowanie BENOIT oraz wybrane metody binaryzacji obrazów (m.in. przy użyciu metody Otsu). Habilitantka pokazała w oparciu o uzyskane wyniki, że średnia wartość wymiaru fraktalnego wzrasta z około 1.0 tuż po operacji do około 1.6 po roku, co wskazuje na proces regeneracji tkanki kostnej. Uzyskane wyniki potwierdziły postawioną tezę. W mojej ocenie zaproponowane przez Habilitantkę podejście obejmujące wykorzystanie obliczeniowych metod analizy fraktalnej do oceny integracji materiałów ksenogenicznych może pomóc w lepszym zrozumieniu procesów regeneracyjnych.

Habilitantka w swojej pracy pt. *„Multifractal characterization of healing process after bone loss”*, w której jest zarówno pierwszym jak i korespondencyjnym autorem przedstawia oryginalne podejście do oceny procesów gojenia ubytków kostnych po resekcji i cystektomii z

zastosowaniem metod obejmujących wyznaczenia wymiarów fraktalnych oraz multifraktalnych na podstawie analizy obrazów radiograficznych. Materiał badawczy stanowiło 19 obrazów radiograficznych uzyskanych od pacjentów którzy przeszli augmentację kości materiałem ksenogenicznym. Habilitantka uzyskała zgodę komisji bioetycznej na prowadzone badania. Wstępne przetwarzanie danych polegało na wyodrębnieniu ROI i binaryzacji obrazów przy użyciu wyznaczonego progu. Analizy były prowadzone w oprogramowaniu Matlab. Uzyskane obrazy zostały poddane analizie multifraktalnej. Prezentowane wyniki wskazują na istotny wzrost zarówno wymiaru fraktalnego, jak i informacji w okresie 12 miesięcy po zabiegu – średni wymiar fraktalny wzrósł z 1.061 do 1.781, a szerokość spektrum multifraktalnego zwiększyła się z 0.081 do 0.174. Uzyskane wyniki sugerują, że zaproponowane przez Habilitantkę kwantyfikatory multifraktalne mogą być wykorzystane do rozróżnienia obrazów na różnych etapach gojenia po ubytkach kostnych i monitorowanie zmian zachodzących w strukturze tkanki podczas procesu gojenia. Przedstawione podejście oceniam pozytywnie ze względu na połączenie zaawansowanych metod analizy obrazu z praktycznymi zastosowaniami klinicznymi w chirurgii szczękowo-twarzowej.

Habilitantka w swojej pracy pt. *„Statistical analysis of radiographic textures illustrating healing process after the Guided Bone Regeneration surgery”*, w której jest drugim autorem zaproponowała podejście oparte o metody analizy obrazów radiograficznych w kontekście monitorowania zmian zachodzących po zabiegach chirurgicznych. Rejestracja obrazów rentgenowskich została wykonana z użyciem systemu Kodak RVG 6100. Obrazy poddane zostały przetwarzania m.in. wyodrębniono obszary zainteresowania (ROI) o ustalonym rozmiarze przy użyciu oprogramowania CorelDRAW. Kolejnym etapem było przekształcenie obrazów do postaci bitmap oraz ich analiza za pomocą samodzielnie opracowanego interfejsu graficznego w Matlabie. Analiza statystyczna przeprowadzona w badaniu opierała się na porównaniu parametrów uzyskanych bezpośrednio po zabiegu oraz po 12 miesiącach. Habilitantka wykazała statystycznie istotne różnice dla 11 z 56 analizowanych cech. Wśród tych cech wyróżniono trzy podstawowe parametry obrazu (średnia, wartość minimalna i maksymalna) oraz osiem pochodnych z macierzy GLCM. Wyniki te sugerują, że proces gojenia przebiega w sposób, który można obiektywnie ocenić przy pomocy wybranych miar teksturalnych. W mojej ocenie szczególnym osiągnięciem pracy jest próba kwantyfikacji procesów regeneracyjnych po zabiegach chirurgicznych i tym samym próba lepszego zrozumienie mechanizmów gojenia.

Habilitantka w swojej pracy pt. *„Analysis of X-rays in bone remodelling around Active and Replace dental implants”*, w której jest drugim autorem przeprowadziła analizę radiograficzną ukazującą proces przebudowy kości wokół implantów stomatologicznych. Badanie było oparte na analizie obrazów RVG i obejmowało grupę 146 pacjentów w wieku od 18 do 74 lat, u których zastosowano jednolity system implantacyjny (Nobel Biocare, Ti-6Al-

4V). Habilitantka w pracy zamieściła informację o uzyskaniu pisemnej zgody uczestników badania i zgody komisji bioetycznej. Zdjęcia zostały wykonane bezpośrednio po wprowadzeniu implantu oraz po 12 miesiącach obciążenia protetycznego. Habilitantka wykorzystwała oprogramowanie ImageJ i Qmaza do przetwarzania i analizy obrazu. Habilitantka wybrała następujące parametry do analizy: mapę gradientów, macierz długości serii oraz macierz współwystępowania poziomów szarości. Prezentowane wyniki badania wskazują, że proces remodelingu kości przebiega w sposób umożliwiający powrót do struktury zbliżonej do stanu zdrowego. Pomimo licznych atutów, badanie nie jest pozbawione pewnych ograniczeń. Habilitantka słusznie zauważa konieczność rozszerzenia grupy badawczej, co umożliwi bardziej precyzyjną ocenę wpływu zmiennych, takich jak płeć, wiek oraz geometria implantu na uzyskane wyniki.

O ile poprzednie prace dotyczą spójnej problematyki gojenia się kości, kolejna praca z cyklu, pt. „*Machine-learning-based classification of the histological subtype of non-small-cell lung cancer using MRI texture analysis*”, w której jest drugim autorem podejmuje problematykę zastosowania analizy tekstury w obrazach MRI do identyfikacji podtypów niedrobnokomórkowego raka płuc (NSCLC), konkretnie gruczolakoraka (ADC) i raka płaskonabłonkowego (SCC). Habilitantka wykorzystwała 155 obrazów MRI przeprowadzając szczegółową analizę tekstury, włączając w to ekstrakcję cech, selekcję i klasyfikację. Obliczono 135 parametrów tekstury, które następnie wykorzystano do klasyfikacji za pomocą różnych typów klasyfikatorów. Najlepsze wyniki (75,48%) uzyskano przy użyciu klasyfikatora maszyn wektorów nośnych (SVM) i parametrów tekstury histogramu gradientów zorientowanych (HOG), uzyskując jednocześnie najwyższe wartości swoistości i czułości. Wyniki badania wskazują, że analiza tekstury obrazów MRI może być cennym narzędziem w diagnostyce różnicowej podtypów NSCLC. Niemniej jednak, dalsze badania na większych grupach pacjentów są pożądane, aby potwierdzić uzyskane wyniki i w pełni ocenić kliniczną użyteczność tej metody. Moje wątpliwości dotyczą również braku analizy powtarzalności i braku analizy wpływu różnego rodzaju aparatów MRI na wyniki.

Habilitantka w swojej monografii habilitacyjnej systematyzuje pojęcie entropii i jej zastosowanie w analizie sygnałów i obrazów biomedycznych. W swoich badaniach wykorzystwała różne metody do szacowania entropii dla sztucznie wygenerowanych sygnałów oraz sygnałów rzeczywistych. W teoretycznej części monografii Habilitantka systematyzuje pojęcia związane z entropią, następnie definiuje różne rodzaje entropii m.in. entropię Shannona, entropię Tsallisa, entropię Rényiego, dwuwymiarową entropię przybliżoną, entropię wielowymiarową i entropię wieloskalową. Ponadto, Habilitantka uzasadnia istotność poruszanej tematyki badawczej poprzez obserwowany wzrost liczby publikacji związanym z różnymi miarami entropii w analizie sygnałów w szczególności w analizie sygnałów EEG, EMG i EKG. Habilitantka zwraca uwagę na małą liczbę doniesień literaturowych obejmujących

zastosowanie dwuwymiarowych miar entropii w analizie obrazów biomedycznych. W szczególności obiecujący obszar zastosowań obejmuje wspomaganie diagnostyki.

Habilitantka w swoich badaniach zaproponowała wykorzystanie metod szacowania entropii na zestawie danych obejmujących m.in. zapisy elektromiograficzne (EMG) macicy u loch, przewodu pokarmowego u owcy oraz sygnałach elektrohisterograficznych (EHG) u kobiet.

Habilitantka przeprowadziła analizę danych z użyciem wieloskalowych miar entropii oraz analizy głównych składowych – PCA na zestawie danych obejmujących pęczki aktywności w fazie międzyrujowej (grupa diestrus $n=20$) i rui (grupa estrus $n=20$) we współpracy ze Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Habilitantka udowodniła postawioną tezę, że wieloskalowe metody szacowania entropii były w stanie wykryć istotne różnice w regularności sygnału i odróżnić sygnały w grupie diestrus od sygnałów z grupy estrus. Habilitantka zaobserwowała, że miary wieloskalowej entropii zwracały niższe wartości w grupie diestrus w porównaniu z grupą estrus, szczególnie w niższych skalach. Habilitantka wywnioskowała, że ta zależność wskazuje, że sygnały w grupie diestrus mają charakter bardziej regularny, natomiast w grupie estrus są nieregularne. Jako oryginalne osiągnięcie Habilitantki wskazując łączne zastosowanie metod wieloskalowej entropii i PCA, co pozwoliło na separację grup w obserwacji zmienności wzorców EMG w czasie cyklu rujowego. Moje wątpliwości dotyczą braku dyskusji związanej z porównaniem do innych metod.

Kolejną analizą, którą opisuje Habilitantka jest ocena aktywności mioelektrycznej przewodu pokarmowego mięśniówki gładkiej żwacza-czepca i trawieńca w spoczynku oraz podczas pobierania pokarmu. Zestaw danych stanowił dane zarejestrowane przy użyciu 3-kanalowego transmittera telemetrycznego (TL10M3-D70-EEE) połączonego ze srebrnymi bipolarnymi elektrodami implantowanymi w mięśniówce gładkiej przewodu pokarmowego i obejmował dwie grupy: sygnały bez pobierania pokarmu – grupa A ($n=20$), sygnały podczas pobierania pokarmu – grupa B ($n=20$). Do obliczeń wykorzystano te same miary entropii co w przypadku sygnałów EMG macicy u loch. Uzyskane wyniki potwierdziły tezę o możliwości odróżnienia sygnałów z grup A i B poprzez połączenie metod wieloskalowej entropii i PCA.

Kolejne przeprowadzone badania obejmowały badanie aktywności mioelektrycznej macicy u kobiet. Badanie było przeprowadzone we współpracy z Uniwersytetem Medycznym w Białymstoku. Materiał badawczy stanowiły 30-minutowe zapisy sygnałów EHG uzyskane od 31 pacjentek z klinicznymi objawami wskazującymi na zagrożenie porodem przedwczesnym. Przedstawione przez Habilitantkę podejście umożliwiło rozróżnić dwa zbiory badawcze, co stanowi potwierdzenie tezy stawianej przez Habilitantkę odnośnie możliwości wykorzystania metod wieloskalowej entropii i PCA w różnicowaniu biosygnałów.

W kolejnym opisywanym badaniu Habilitantka dokonała oceny przydatności entropii w detekcji resorpcji i hipercementozy zębów siecznych u koni. Badania radiologiczne zębów

siecznych koni były prowadzone we współpracy ze Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i objęto nimi 80 koni. W wyniku realizacji badań Habilitantka wykazała, że łączne zastosowanie metod wieloskalowej entropii i PCA dało możliwość separacji grup w obserwacji zmienności wzorców w obrazach.

W kolejnym omawianym badaniu Habilitantka dokonała oceny przydatności entropii w analizie procesów gojenia ubytków kostnych i przebudowy kości wokół implantów stomatologicznych u ludzi. Zaproponowane podejście obejmowało obliczenia wieloskalowych dwuwymiarowych entropii i analizę PCA. Uzyskane przez Habilitantkę wyniki sugerują, że cyfrowe przetwarzanie obrazów radiologicznych i ekstrakcja wieloskalowych miar entropii są przydatne w ocenie prawidłowego procesu gojenia ubytków kostnych i mogą być zastosowane do ilościowego wspomagania opisu obrazów radiologicznych w ocenie gojenia śródkostnego. Habilitantka również zastosowała omawiane podejście do klasyfikacji zmian przebudowy kości po zabiegu implantacji. Uzyskane wyniki sugerują, że ekstrakcja wieloskalowych miar entropii może wspierać ocenę prawidłowości przebudowy kości wokół implantów stomatologicznych i mogą być zastosowane do ilościowego wspomagania opisu obrazów radiologicznych w ocenie kości po zabiegu implantacji.

Wkład indywidualny w powstanie wymienionych publikacji naukowych w każdym przypadku był merytoryczny, a poza jednoosobową monografią, średni poziom tego wkładu wynosił 47%, co oceniam jako znaczące osiągnięcie.

Uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego Habilitantki. Warto jednak odnotować następujące aspekty:

- Można by rozważyć rozszerzenie analizy wartości fraktalnych zarówno przed operacją, jak i w większej liczbie punktów czasowych po operacji, co mogłoby pozwolić na lepsze zrozumienie dynamiki zmian w strukturze kostnej oraz wykazanie poprawności zastosowanego podejścia i jego konkretnego znaczenia klinicznego.
- Nie wskazano w pełni ograniczeń prowadzonych badań.
- Brakuje analizy ryzyka związanego z powtarzalnością eksperymentów, zwłaszcza w kontekście wyboru obszaru zainteresowania.
- Habilitantka zauważyła konieczność rozszerzenia grupy badawczej, co umożliwiłoby dokładniejszą ocenę wpływu zmiennych, takich jak płeć, wiek czy geometria implantu na wyniki badań, jednakże nie przedstawia szczegółowej dyskusji na ten temat.

Podsumowując, Habilitantka zaprezentowała monografię naukową oraz cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych dotyczących metod ekstrakcji cech charakteryzujących sygnały i obrazy biomedyczne i ich zastosowanie w weterynarii i medycynie. Przedstawione przez Habilitantkę wyniki badań są obiecujące i mogą posłużyć do udoskonalania metod diagnostycznych i terapeutycznych w medycynie i weterynarii. W mojej ocenie istotna wartość

prowadzonych badań opiera się na weryfikacji zaproponowanych metod na danych z różnych scenariuszy klinicznych. **Popieram wniosek o nadanie Habilitantce stopnia doktora habilitowanego w dyscyplinie Inżynieria Biomedyczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kortch'.