

RECENZJA

obejmująca ocenę osiągnięcia naukowego w postaci cyklu publikacji
pt. „*Metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi*”
oraz istotnej aktywności naukowej
dr. inż. Michała Byry w związku z postępowaniem o nadanie
stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych,
w dyscyplinie inżynieria biomedyczna

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr DRKN.Z2.400.345.2023 z dnia 17.03.2024r. Rady Doskonałości Naukowej oraz pismo Sekretarza Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk – prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego z dnia 7.05.2024r., w związku z postępowaniem habilitacyjnym dr. inż. Michała Byry, wszczętym przez Radę Doskonałości Naukowej w dniu 14.12.2023r. Recenzja opracowana została zgodnie z Ustawą z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2023 poz.742 z późn. zm.).

Recenzja składa się z 3 podstawowych części obejmujących wyszczególnione oceny, kolejno: osiągnięcia naukowego, aktywności naukowej oraz pozostałej aktywności związanej z pracą naukowo-badawczą i dydaktyczną. W ostatniej, czwartej części zawarta została konkluzja recenzji.

1. Ocena osiągnięcia naukowego

Ocena

Podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego wskazaną przez Kandydata jest jeden cykl 8 powiązanych tematycznie publikacji naukowych [C1] – [C8] pod wspólnym tytułem „*Metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi*”, o sumarycznym współczynniku $IF = 32.218$ (średnio ok. 4 na publikację) i sumarycznej liczbie punktów $MNISW/MEIN = 1220$ (średnio 152.5 na publikację) obowiązujących w dniu wydania publikacji. Daty wydania publikacji obejmują okres od 2018r. do 2022r. Zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, publikacje przedstawionego we wniosku cyklu stanowią powiązane tematycznie artykuły naukowe opublikowane w czasopiśmie naukowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy.

Na szczególną uwagę spośród nieinwazyjnych metod obrazowania ciała ludzkiego zasługują metody ultradźwiękowe, które oferują coraz więcej modalności związanych z wizualizacją przebiegów i parametrów fal ultradźwiękowych penetrujących tkanki *in vivo*. W odróżnieniu od technik rentgenowskich i nuklearnych wykorzystujących promieniowanie jonizujące, diagnostyczne metody ultradźwiękowe nie stanowią obciążenia dla zdrowia pacjentów i mogą być z powodzeniem wykorzystywane wielokrotnie np. do cyklicznego monitorowania efektów leczenia lub chemioterapii. Obrazowanie zmian patologicznych piersi stanowi obecnie podstawową metodę ich wykrywania i wstępnego klinicznego podejrzenia złośliwości, a jednym z najbardziej efektywnych badań, umożliwiających szybką diagnozę jest badanie USG w trybie obrazowania B (*B-mode*). Badanie USG (obok inwazyjnej i bolesnej

mammografii wymagającej mechanicznej kompresji piersi) jest standardową pierwszoplanową techniką obrazowania piersi w celach przesiewowych i objawowej oceny choroby. Wysoka czułość ultrasonografii jest jednak ograniczona przez jej niską swoistość, co powoduje uzyskiwanie wyników fałszywie-pozytywnych, które zwiększają liczbę niepotrzebnych biopsji. Wyniki prezentowanych w literaturze badań sugerują ponadto, że za pomocą USG trudno jest precyzyjnie wyróżnić ultradźwiękowo izoechogenne zmiany patologiczne w otaczającym je tłuszczu. Wspomniane wady powodują, że pomimo regularnych badań przesiewowych, rak piersi często pozostaje nierozpoznany we wczesnym stadium rozwoju. Z tego też powodu niezwykle istotne są badania prowadzone obecnie w kierunku opracowania efektywnych komputerowych systemów wspomagania diagnozy (CAD – *computer-aided diagnosis*) nowotworów piersi. Zadaniem systemów CAD jest automatyczna segmentacja obszaru zmiany nowotworowej w obrazie, klasyfikacja oraz wygenerowanie wstępnej decyzji diagnostycznej na temat typu zlokalizowanego nowotworu. Obecnie światowe badania skupiają się w tym zakresie na automatycznej analizie obrazów diagnostycznych z wykorzystaniem sieci neuronowych i uczenia maszynowego. Temat badań podjęty przez Habilitanta, przedstawiony w postaci cyklu powiązanych ze sobą tematycznie publikacji i dotyczący metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi jest więc ważny i użyteczny. Zagadnienia te są interdyscyplinarne, jednak w przeważającej części związane z uprawianą przez Habilitanta dyscypliną inżynierii biomedycznej. Niewątpliwie wpisują się one doskonale w intensywnie rozwijany obecnie trend badawczy.

Wszystkie powiązane tematycznie publikacje naukowe wskazane przez Kandydata jako osiągnięcie naukowe ([C1] – [C8]) pod wspólnym tytułem „*Metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi*” stanowią artykuły naukowe z listy JCR (Journal Citation Reports).

Dwie ([C3] i [C8]) z ośmiu publikacji cyklu to publikacje autorskie Habilitanta. Pozostałe sześć ([C1], [C2], [C4-C7]) to publikacje współautorskie (od 5 do 9 autorów), w których udział Habilitanta poświadczony przez większość współautorów polegał głównie na opracowaniu koncepcji, metody, oprogramowania, przeprowadzeniu analizy formalnej oraz badań, przygotowaniu zasobów i sposobu przechowywania danych, opracowaniu publikacji, poprawek i odpowiedzi na recenzje oraz wizualizacji. Nie można ocenić precyzyjnie autorskiego udziału procentowego autora w publikacjach cyklu, ponieważ Habilitant go nie wyszczególnił. Można sądzić, że udział ten jest przeważający, ponieważ w pięciu na sześć publikacji współautorskich Habilitant znajduje się na 1-szym miejscu ([C1], [C2], [C4], [C5], [C7]), a tylko w jednej – na ostatnim miejscu ([C6]). Świadczy to istotnym wkładzie Habilitanta w badania, co potwierdza podany w Autoreferacie opis udziału autorskiego w poszczególnych pracach oraz opis udziału współautorów podany w oświadczeniach.

Współautorami artykułów cyklu są naukowcy polscy z macierzystej jednostki Habilitanta oraz ze współpracujących w badaniach ośrodków naukowych polskich i zagranicznych oraz firm (m.in. Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, Department of Radiology, University of California, San Diego; Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, New York, USA; Almen Laboratories Inc, Vista, USA).

Wszystkie prace cyklu zostały opublikowane w wielu różnych renomowanych czasopismach naukowych z listy JCR obejmujących dyscyplinę inżynieria biomedyczna (*Physics in Medicine and Biology*; *Ultrasonics*; *Biomedical Signal Processing and Control*; *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*; *Biocybernetics and Biomedical Engineering*; *Medical Physics*) o wysokim współczynniku Impact Factor w roku opublikowania z przedziału 2.159 – 5.772 i punktacji MNiSW lub MEIN z zakresu 100 - 200 pkt. Wyniki analizy bibliograficznej

potwierdzają znaczący wkład dr. inż. Michała Byry w badania oraz Jego współpracę z kilkoma ośrodkami naukowymi i firmami w kraju i za granicą.

Habilitant w Autoreferacie podał błędny tytuł publikacji [C6] cyklu. Jest: „*Breast lesion classification based on ultrasonic backscattered echoes using convolutional neural network*”, a powinno być: „*Breast lesion classification based on ultrasonic radio-frequency signals using convolutional neural networks*”.

Tematyka badań przedstawiona w cyklu powiązanych tematycznie publikacji naukowych [C1] – [C8] jest niewątpliwie aktualna i rozwojowa. Prace te są kontynuacją wieloletnich badań Habilitanta związanych z automatyczną segmentacją i klasyfikacją zmian nowotworowych tkanki piersi na obrazach USG w trybie B oraz na podstawie analizy surowych sygnałów ultradźwiękowych (tzw. sygnały RF), z wykorzystaniem sieci neuronowych i metod uczenia maszynowego.

W cyklu publikacji Habilitant przedstawił wyniki badań przydatności metod głębokiego uczenia w kontekście 4 wyszczególnionych i odpowiednio pogrupowanych obszarów tematycznych dotyczących:

- 1) automatycznej segmentacji zmian nowotworowych na obrazach USG typu B – publikacja [C5],
- 2) klasyfikacji zmian nowotworowych za pomocą metod uczenia transferowego – publikacje [C3], [C7], [C8],
- 3) porównania sieci neuronowych wytrenowanych na podstawie obrazów USG typu B oraz na podstawie surowych sygnałów ultradźwiękowych, tj. danych ultrasonograficznych przed rekonstrukcją obrazu typu B – publikacje [C2] i [C6],
- 4) monitorowania efektów chemioterapii – publikacje [C1] i [C4].

W ramach pierwszego obszaru tematycznego ([C5]) opracowana została nowatorska sieć neuronowa do automatycznej segmentacji nowotworów piersi na podstawie obrazów ultrasonograficznych. Zaproponowana metoda jest rozszerzeniem popularnej splotowej sieci neuronowej U-Net, specjalnie dostosowanej do segmentacji nowotworów piersi i składającej się z enkodera i dekodera. Enkoder przetwarza obraz wejściowy do reprezentacji o niższej rozdzielczości przestrzennej i wydobywa z obrazu cechy przydatne do lokalizacji i segmentacji zadanego obiektu. Zadaniem dekodera jest wykorzystanie informacji uzyskanych przez enkoder na różnych poziomach rozdzielczości do wygenerowania maski segmentacji. Ponieważ nowotwory piersi są znacząco zróżnicowane w zakresie rozmiarów, zaproponowano wariant sieci U-Net o nazwie SK-U-Net (ang. *selective kernel U-Net*), pozwalający skuteczniej i w sposób automatyczny dostosowywać pole receptorowe sieci splotowej do analizowanego obrazu. Otrzymane wyniki na zbiorze testowym pokazały, że zaproponowana sieć SK-U-Net jest skuteczniejsza w segmentacji nowotworów piersi w porównaniu ze standardową siecią typu U-Net.

W ramach drugiego obszaru tematycznego ([C3], [C7], [C8]) opracowano nowatorskie techniki uczenia transferowego z wykorzystaniem warstwy dopasowującej (ML), które z powodzeniem zastosowano do klasyfikacji nowotworów piersi na łagodne i złośliwe na podstawie obrazów USG typu B. Dane wejściowe poddane zostały liniowej transformacji polegającej na przekształceniu ich do przestrzeni barw RGB w celu dopasowania do wytrenowanej już sieci neuronowej. Zaletą zaproponowanej metody jest możliwość efektywnego połączenia jej z innymi metodami uczenia transferowego i dostrojenia (ang. *fine-tuning*) wybranych bloków splotowych modelu. Dla najlepszej metody łączącej techniki ML i *fine-tuning*, na zbiorze testowym 150 obrazów USG typu B uzyskano pole AUC pod krzywą ROC (ang. *area under the receiver-operating characteristic curve*) równe 0.936, czyli wartość bliską doskonałemu klasyfikatorowi. Dodatkowa analiza pokazała ponadto, że najlepszy model

osiągnął lepszą zdolność do odróżniania zmian łagodnych od złośliwych niż czterech radiologów korzystających z systemu BI-RADS.

W kolejnych badaniach rozszerzono technikę warstwy dopasowującej wprowadzając metodę uczenia transferowego określaną jako DRS (ang. *deep representation scaling*). Podejście to polega na transformacji głębokich reprezentacji filtrowanych na kolejnych warstwach wytrenowanej wstępnie sieci splotowej. W wyniku przetestowania tej metody na obrazach nowotworów piersi uzyskano pole AUC pod krzywą ROC na poziomie 0.935. Z kolei testując metodę DRS połączoną ze zwykłym dotrenowywaniem całej sieci splotowej uzyskano pole AUC na poziomie 0.955.

W ramach tego obszaru tematycznego zaproponowano też z powodzeniem nowe podejście do uczenia transferowego i ekstrakcji cech na podstawie obrazów ultrasonograficznych z wykorzystaniem macierzy Gram'a.

W ramach trzeciego obszaru tematycznego ([C2] i [C6]) po raz pierwszy zbadano możliwość klasyfikacji nowotworów piersi za pomocą sieci neuronowych bezpośrednio trenowanych na rozproszonych sygnałach wysokiej częstotliwości (tzw. surowych danych RF) wykorzystywanych do rekonstruowania obrazów USG w odcieniach szarości (tryb B). W tym przypadku nie było potrzeby wyznaczania konkretnych parametrów ilościowych w celu budowy klasyfikatora, ponieważ sieć neuronowa w procesie trenowania nauczyła się sama wydobywać z sygnałów RF informacje istotne pod kątem różnicowania złośliwych i łagodnych zmian nowotworowych. Przetestowano przydatność trzech sieci splotowych, różniących się rodzajem przetwarzanych danych wejściowych w postaci: jednowymiarowych sygnałów RF, dwuwymiarowych próbek obwiedni amplitudy sygnałów RF w obszarach 2 x 2 mm, surowych sygnałów RF oraz dwuwymiarowych próbek obwiedni amplitudy jednocześnie. Najlepsze wyniki (AUC = 0.772) uzyskano dla sieci wytrenowanej łącznie na podstawie surowych sygnałów RF jak i próbek obwiedni amplitudy. Wyniki pokazują, że relatywnie niewielka skuteczność tego typu metod sugeruje, że lokalne informacje o właściwościach fizycznych tkanki uzyskane z rozproszonych sygnałów RF nie są wystarczające do skutecznej klasyfikacji nowotworów piersi, ponieważ nie uwzględniają kształtu nowotworu. W związku z tym zaproponowano inne nowatorskie podejście do analizy surowych sygnałów RF, a mianowicie, zamiast analizować lokalne fragmenty sygnałów RF, opracowano sieć neuronową (o architekturze opartej o sieć U-Net) przyjmującą jako dane wejściowe całe dwuwymiarowe macierze sygnałów RF. Dodatkowo, zaproponowany model był w stanie jednocześnie dokonywać zarówno klasyfikacji jak i segmentacji zmian nowotworowych na podstawie danych RF. Sieć wytrenowana na macierzach sygnałów RF osiągnęła nieznacznie lepszy wynik (AUC = 0.901) niż model oparty na obrazach USG typu B (AUC = 0.874), natomiast w przypadku segmentacji, lepsze wyniki uzyskano dla modelu wytrenowanego na obrazach typu B (wsp. Dice'a = 0.644) niż dla sieci wykorzystującej macierze sygnałów RF (wsp. Dice'a = 0.601). Uzyskane wyniki sugerują, że skuteczniejszą klasyfikację nowotworów można osiągnąć analizując surowe nieprzetworzone sygnały RF, natomiast zrekonstruowane obrazy USG typu B lepiej nadają się do lokalizacji i segmentacji nowotworów.

W ramach czwartego obszaru tematycznego ([C1] i [C4]) opracowano syjamską splotową sieć neuronową do przewidywania skutków chemioterapii neoadjuwentowanej na wstępnym etapie terapii. Należy zaznaczyć, że jest to nowatorska praca pokazująca po raz pierwszy użyteczność głębokiego uczenia do monitorowania efektów chemioterapii w ultrasonografii nowotworów piersi. W celu oceny efektów chemioterapii, porównywano ze sobą obrazy ultrasonograficzne przedstawiające ten sam nowotwór przed rozpoczęciem terapii jak i po pierwszym i drugim cyklu chemioterapii. Otrzymane wyniki pokazały, że sieci syjamskie nadają się do przewidywania efektów chemioterapii. W ramach niniejszych badań

opracowano również modele głębokiego uczenia do przewidywania odpowiedzi na chemioterapię na podstawie danych zebranych przed terapią, jednak uzyskano tu gorsze rezultaty w porównaniu z wynikami powyżej. W kolejnych badaniach sieć syjamską zastąpiono siecią rekurencyjną GRU (ang. *gated recurrent unit*) połączoną z siecią splotową. Należy zaznaczyć, że było to pierwsze opisane w literaturze zastosowanie sieci rekurencyjnych do monitorowania skutków chemioterapii nowotworów piersi w ultrasonografii. Dane obrazowe zbierane po kolejnych cyklach chemioterapii potraktowano jako sekwencję czasową na potrzeby trenowania modelu. Przetestowano 3 różne podejścia do opracowania sieci splotowej do ekstrakcji cech z obrazu. Uzyskane wyniki pokazały, że każda z trzech opracowanych metod była w stanie przewidywać efektywność chemioterapii. Skuteczność sieci rekurencyjnej wzrastała wraz z podawaniem danych obrazowych odpowiadających kolejnym dawkom chemioterapii.

Analiza cyklu publikacji naukowych wskazanych przez Kandydata jako osiągnięcie naukowe ([C1] – [C8]) pod wspólnym tytułem „*Metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi*” pozwala wnioskować, że Kandydat w swoim osiągnięciu naukowym skupił się na monotematycznych i nowatorskich badaniach w zakresie kilku głównych i istotnych zagadnień: segmentacji zmian nowotworowych piersi w ultrasonografii, klasyfikacji zmian nowotworowych piersi i uczenia transferowego, analizie surowych sygnałów ultradźwiękowych i monitorowaniu efektów chemioterapii z wykorzystaniem głębokiego uczenia syjamskich i rekurencyjnych sieci neuronowych.

Podsumowanie

Osiągnięcie przedstawione przez dr. inż. Michała Byrę w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego wpisuje się w dyscyplinę inżynieria biomedyczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych oraz ma charakter monotematyczny, obejmujący zagadnienia związane z metodami głębokiego uczenia do komputerowo wspomaganiej diagnostyki zmian nowotworowych piersi w ultrasonografii. Jednoznacznie pozytywnie oceniam osiągnięcie naukowe dr. inż. Michała Byry przedstawione w postaci cyklu 8 powiązanych tematycznie publikacji naukowych wraz z zawartym w Autoreferacie zwięzłym opisem wiążącym.

Do najważniejszych osiągnięć Habilitanta stanowiących oryginalne, twórcze rozwiązanie problemu naukowego i wnoszących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria biomedyczna zaliczam:

- 1) opracowanie nowych architektur sieci neuronowych do segmentacji zmian nowotworowych, zarówno na podstawie obrazów w trybie B, jak i surowych danych RF. Habilitant wykazał, że opracowana sieć neuronowa rozszerzająca model U-Net osiągnęła dobrą skuteczność w automatycznej segmentacji nowotworów piersi,
- 2) opracowanie nowych metod uczenia transferowego w celu klasyfikacji zmian nowotworowych w ultrasonografii z dużą efektywnością. Habilitant wykazał, że opracowane techniki dają dobre rezultaty i w warunkach eksperymentalnych mogą rywalizować z ekspertami oraz najlepszymi metodami klasycznymi,
- 3) przeprowadzenie pionierskich badań nad wykorzystaniem sieci neuronowych do przetwarzania i analizy surowych sygnałów ultrasonograficznych (RF), które zawierają informacje o właściwościach fizycznych i mikrostrukturze skanowanej tkanki i umożliwiają ich skuteczniejszą charakterystykę w porównaniu do standardowego obrazowania USG w trybie B. Habilitant po raz pierwszy opracował sieci neuronowe, które umożliwiają automatyczne przetwarzanie sygnałów RF na potrzeby segmentacji oraz klasyfikacji zmian nowotworowych piersi,

- 4) opracowanie i ocenę szeregu podejść do przewidywania skutków chemioterapii neoadjuwentowej za pomocą metod głębokiego uczenia i różnych typów danych ultrasonograficznych. Habilitant zaproponował rozwiązania z wykorzystaniem syjamskich oraz rekurencyjnych sieci neuronowych, które stanowią nowe podejście do problemu przewidywania skutków chemioterapii w porównaniu do stosowanych obecnie.

Osiągnięcia Habilitanta wnoszą znaczący wkład w rozwój metody głębokiego uczenia do zastosowań w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi.

2. Ocena aktywności naukowej

Charakterystyka zawodowa

Dr inż. Michał Byra ukończył studia wyższe w roku 2012 na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, uzyskując tytuł magistra inżyniera. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie *elektronika* uzyskał w 2017r. w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, gdzie został zatrudniony na stanowisku adiunkta w 2019r. W okresie luty 2018 – luty 2019 prowadził zawodowo badania w charakterze stażu podoktorskiego w Department of Radiology, University of California, San Diego, USA. W okresie czerwiec 2022 – grudzień 2023 był zatrudniony jako naukowiec wizytujący w RIKEN Center for Brain Science, Wako, Japonia.

Działalność naukowa

Przed uzyskaniem stopnia doktora, Kandydat opublikował 5 artykułów współautorskich z listy JCR oraz 1 współautorski rozdział w monografii i 13 współautorskich prac i streszczeń w materiałach konferencyjnych (w tym 8 z konferencji międzynarodowych).

Po uzyskaniu stopnia doktora, oprócz osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do nadania stopnia doktora habilitowanego, Kandydat opublikował 15 współautorskich artykułów (większość w czasopismach z listy JCR) oraz 20 współautorskich prac i streszczeń w materiałach z konferencji międzynarodowych.

Znakomitą większość publikacji Kandydata stanowią prace współautorskie, co w obszarze dziedzin eksperymentalnych raportujących wyniki uzyskane za pomocą skomplikowanych obliczeń, analizy danych, technik badawczych oraz prac eksperymentalnych i pomiarowych wskazuje na umiejętność twórczej pracy w zespole i jest bardzo istotne przy realizacji projektów naukowo-badawczych.

Zgodnie z danymi przedstawionymi bezpośrednio w bazie *Web of Science* (apps.webofknowledge.com) na dzień 20.06.2024, publikacje Kandydata były cytowane 719 razy, z czego 662 razy bez autocytowań, a **indeks Hirsha wynosi $H = 12$** . Zgodnie z danymi przedstawionymi w dokumentacji wniosku przez Habilitanta z bazy *Scopus* (www.scopus.com) na dzień 14.12.2023, publikacje Kandydata były cytowane 952 razy, z czego 874 razy z wyłączeniem autocytowań, a **indeks Hirsha wynosi odpowiednio $H = 14$ oraz $H = 13$** . Wysokie wskaźniki bibliometryczne są odzwierciedleniem rozwoju naukowo-badawczego Habilitanta oraz potwierdzają, że wyniki prowadzonych przez Niego badań cieszą się zainteresowaniem w środowisku naukowym, są ważne, aktualne i rozwijane.

Dr inż. Michał Byra wziął udział w kilkudziesięciu konferencjach naukowych, w tym w wielu międzynarodowych i prestiżowych sympozjach organizowanych poza granicami kraju (m.in. Japonia, Kanada, USA). Za swoje osiągnięcia naukowe uzyskał 4 nagrody Dyrektora IPPT PAN kolejno w latach 2020-2023. W roku 2021 otrzymał Stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców, a w roku 2022 uzyskał nagrodę World's TOP 2% Scientists

by Stanford University in 2022. Wyróżniona została również Jego publikacja w czasopiśmie Radiology (2020) oraz referat w ramach konferencji Iberian Conference on Pattern Recognition and Image Analysis w Madrycie, w 2019r.

Dr inż. Michał Byra odbył łącznie 4 staże naukowe, 2 przed i 2 po doktoracie, które zaowocowały publikacjami w badawczych zespołach międzynarodowych:

- 1) X.2014 – XI.2014, w charakterze naukowca wizytującego w Department of Information Engineering University of Florence, Włochy; zajmował się opracowaniem metod komputerowych pozwalających na automatyczny sposób śledzenia w czasie rzeczywistym ruchu ścian naczyń krwionośnych na podstawie obrazów ultrasonograficznych (przed doktoratem),
- 2) I.2015 – II.2015, w charakterze naukowca wizytującego w Department of Biomedical Engineering Erasmus University Rotterdam, Holandia; zajmował się opracowaniem nowych metod obrazowania harmonicznego w ultrasonografii (przed doktoratem),
- 3) II.2018 – II.2019, staż podoktorski w Department of Radiology University of California, San Diego, USA; brał udział w szeregu projektów związanych z analizą i przetwarzaniem danych medycznych, głównie ultrasonograficznych i otrzymanych metodą rezonansu magnetycznego,
- 4) VI.2022 – XII.2023, w charakterze naukowca wizytującego w Brain Image Analysis Unit, RIKEN Center for Brain Science, Wako, Japonia; pracował nad metodami uczenia maszynowego do analizy i przetwarzania danych obrazowych zebranych z mózgu w ramach flagowego japońskiego projektu Brain/Minds.

W pracach badawczych Habilitant współpracował z trzema zagranicznymi i dwoma krajowymi ośrodkami naukowymi: Department of Information Engineering University of Florence, Florencja, Włochy; Brain Image Analysis Unit, RIKEN Center for Brain Science, Wako, Japonia; Department of Radiology University of California, San Diego, USA; Uniwersytet Medyczny w Warszawie; Narodowy Instytut Onkologii im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie.

Dr inż. Michał Byra brał udział w charakterze wykonawcy w 4 grantach badawczych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2012-2023 oraz w jednym projekcie finansowanym przez Japan Agency for Medical Research and Development (2014-2024).

Podsumowanie

Dr inż. Michał Byra wykazuje się wiedzą i doświadczeniem w szerokim zakresie aktywności naukowo-badawczej. Dzięki licznym publikacjom artykułów ze swoich prac naukowo-badawczych w prestiżowych czasopismach międzynarodowych z listy JCR oraz wystąpieniom konferencyjnym na forum krajowym i międzynarodowym jest osobą identyfikowaną w środowisku naukowym. Potwierdzają to wskaźniki bibliometryczne oraz znacząca liczba cytowań prac z Jego udziałem. Działalność naukową dr. inż. Michała Byry oceniam wysoko i jednoznacznie pozytywnie.

3. Ocena pozostałej aktywności związanej z pracą naukowo-badawczą i dydaktyczną

Dr inż. Michał Byra wykazuje się również dodatkową aktywnością związaną z pracą naukowo-badawczą i dydaktyczną. W ramach kariery skupionej przede wszystkim na pracy w instytutach badawczych, wygłosił cykl siedmiu wykładów pod tytułem "Introduction to quantitative ultrasound" na Wydziale Radiologii Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego oraz wykład "Introduction to biomedical image analysis" w RIKEN Center for Brain Sciences, Wako, w Japonii, przeznaczony dla studentów tokijskich uniwersytetów. W kraju i za granicą wygłosił około 30 prezentacji/seminariów w tematyce związanej z analizą danych



biomedycznych. Był członkiem Komitetu Technicznego Data Engineering in Medical Imaging Workshop 2023 (DEMI MICCAI 2023).

W zakresie działalności dydaktycznej Habilitant sprawował opiekę naukową nad studentami wykonującymi projekty i praktyki w Polskiej Akademii Nauk oraz na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego.

Dr inż. Michał Byra recenzował również artykuły publikowane w czasopismach naukowych z listy JCR – wykazuje 74 takie recenzje. Jest członkiem kilku organizacji naukowych: Institute of Electrical and Electronics Engineers; Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention Society; The Japan Neuroscience Society.

4. Konkluzja

Podsumowując przedstawioną przeze mnie w niniejszej recenzji ocenę osiągnięcia naukowego oraz istotnej aktywności naukowej dr. inż. Michała Byry w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżyniero-technicznych, w dyscyplinie inżynieria biomedyczna, stwierdzam, że dr inż. Michał Byra z nadmiarem spełnia wymogi ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2021r. poz. 478 z późn. zm.) w zakresie dotyczącym stopnia doktora habilitowanego:

- 1) Kandydat posiada stopień doktora nauk technicznych.
- 2) Osiągnięcia naukowe przedstawione przez dr. inż. Michała Byrę w postaci cyklu 8 powiązanych tematycznie publikacji naukowych stanowią znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria biomedyczna i mają charakter monotematyczny, obejmujący zagadnienia związane metodami głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi.
- 3) Kandydat wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w kilku instytucjach naukowych, w tym zagranicznych.

W związku z powyższym moja recenzja osiągnięcia naukowego oraz istotnej aktywności naukowej dr. inż. Michała Byry jest jednoznacznie pozytywna.

Wnoszę o dopuszczenie dr inż. Michała Byry do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego przewidzianych odnośnymi przepisami.

Krzysztof J. Gzelinski