

RECENZJA

**cyklu publikacji oraz dorobku naukowego i dydaktycznego
dra inż. Michała Byry
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie inżynieria biomedyczna**

1. Sylwetka habilitanta

Doktor Michał Byra jest absolwentem Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej na kierunku *automatyka*, uzyskawszy dyplom inżyniera i magistra inżyniera odpowiednio w latach 2011 i 2012. Z kolei w roku 2017, na podstawie rozprawy doktorskiej pt. *Klasyfikacja zmian nowotworowych piersi na podstawie własności statystycznych ech ultradźwiękowych*, uzyskał on stopień naukowy doktora nauk technicznych (z wyróżnieniem) w dyscyplinie *elektronika* w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie.

Od 2019 r. pracuje w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki na stanowisku adiunkta.

2. Ocena osiągnięcia naukowo-badawczego

Jako osiągnięcie naukowe zatytułowane *Metody głębokiego uczenia w diagnostyce ultrasonograficznej nowotworów piersi* przedstawiono cykl ośmiu powiązanych tematycznie artykułów opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazach *Journal Citation Reports* (JCR) ze wskaźnikami wpływu IF z przedziału 2.159-5.772 oraz z punktacją MNiSzW publikowanych artykułów w przedziale 100-200 punktów. W skład osiągnięcia wchodzi następujące prace:

1. M. Byra, K. Dobruch-Sobczak, H. Piotrkowska-Wroblewska, Z. Klimonda, J. Litniewski, Prediction of response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer with recurrent neural networks and raw ultrasound signals, *Physics in Medicine and Biology*, 2022, IF (2022): 3,5, MEiN: 100.
2. M. Byra, P. Jarosik, K. Dobruch-Sobczak, Z. Klimonda, H. Piotrkowska-Wroblewska, J., Litniewski, A. Nowicki, Joint segmentation and classification of breast masses based on

- ultrasound radio-frequency data and convolutional neural networks, *Ultrasonics*, 2022, IF (2022): 4,20, MEiN: 140.
3. M. Byra, Breast mass classification with transfer learning based on scaling of deep representations, *Biomedical Signal Processing and Control*, 2021, IF (2021): 5,076, MEiN: 140.
 4. M. Byra, K. Dobruch-Sobczak, Z. Klimonda, H. Piotrkowska-Wroblewska, J. Litniewski, Early prediction of response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer sonography using Siamese convolutional neural networks, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2020, IF (2020): 5,772, MEiN: 200.
 5. M. Byra, P. Jarosik, A. Szubert, M. Galperin, H. Ojeda-Fournier, L. Olson, M. O'Boyle, C. Comstock, M. Andre, Breast mass segmentation in ultrasound with selective kernel U-Net convolutional neural network, *Biomedical Signal Processing and Control*, 2020, IF (2020): 3,88, MEiN: 140.
 6. P. Jarosik, Z. Klimonda, M. Lewandowski, M. Byra, Breast lesion classification based on ultrasonic backscattered echoes using convolutional neural networks, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2020, IF (2020): 4,314, MEiN: 140.
 7. M. Byra, M. Galperin, H. Ojeda-Fournier, L. Olson, M. O'Boyle, C. Comstock, M. Andre, Breast mass classification in sonography with transfer learning using a deep convolutional neural network and color conversion, *Medical Physics*, 2019, IF (2019): 3,317, MEiN: 100.
 8. M. Byra, Discriminant analysis of neural style representations for breast lesion classification in ultrasound, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2018, IF (2018): 2,159, MEiN: 140.

Tematyka badawcza osiągnięcia dotyczy ważnego problemu diagnostyki medycznej, a mianowicie diagnostyki nowotworu piersi u kobiet, tak rozpowszechnionego na świecie. W badaniach skupiono się na analizie i ocenie obrazów ultrasonograficznych, które obok obrazów mammograficznych i rezonansu magnetycznego odgrywają ważną rolę w diagnostyce nowotworów piersi. Mając na uwadze intensywny w ostatnich latach rozwój metod informatycznych, w szczególności metod głębokiego uczenia w obrazowaniu biomedycznym, osiągnięcie naukowe habilitanta dotyczy opracowania nowych metod i oceny przydatności metod głębokiego uczenia do rozwiązywania istotnych problemów dotyczących diagnostyki nowotworów piersi w ultrasonologii.

Na podstawie analizy dorobku naukowego zawartego w cyklu ośmiu publikacji do osiągnięć dra M. Byry niewątpliwie należy zaliczyć następujące:

1. Opracowanie nowatorskiej sieci neuronowej do automatycznej segmentacji nowotworów piersi na podstawie obrazów ultrasonograficznych. Jest to istotne rozszerzenie popularnej sieci neuronowej U-Net, specjalnie dostosowanej do segmentacji nowotworów piersi. Zastosowany

wprowadzony mechanizm wag pozwala na skuteczne i automatyczne dostosowanie pola receptorowego sieci spłotowej do analizowanego obrazu. W badaniach eksperymentalnych do oceny zaproponowanych rozwiązań strukturalnych i algorytmicznych wykorzystano zbiór obrazów ultrasonograficznych nowotworów piersi zebranych na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego (USA).

2. Opracowanie nowych metod uczenia transferowego do klasyfikacji zmian nowotworowych w ultrasonografii, które polegają na dostosowaniu wstępnie nauczonej sieci neuronowej do przetwarzania i analizy obrazów pochodzących z nowego zbioru danych. Zaproponowane nowatorskie techniki uczenia transferowego z powodzeniem zostały zastosowane do klasyfikacji nowotworów piersi jako łagodnych lub złośliwych na podstawie obrazów typu *B-mode*. Do uczenia i oceny zaproponowanych metod wykorzystano zbiór obrazów ultrasonograficznych nowotworów piersi zebrany na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego. Wprowadzono też metodę uczenia transferowego typu DSR (*ang.* deep representation scaling), która działa w duchu uczenia maszynowego i skupiona jest na transformacji głębokich reprezentacji na kolejnych warstwach wytrenowanej wstępnie sieci spłotowej. Zaproponowano również nowe podejście do uczenia transferowego i ekstrakcji cech na podstawie obrazów ultrasonograficznych. W badaniach wykorzystano zbiór 100 obrazów typu *B-mode* zebranych we współpracy z Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie.
3. Przeprowadzenie badań nad wykorzystaniem sieci neuronowych do przetwarzania i analizy surowych sygnałów RF (*ang.* radio-frequency) ultrasonograficznych, które zawierają informację o właściwościach fizycznych i mikrostrukturze skanowanych tkanek. Pokazano możliwości klasyfikacji nowotworów piersi za pomocą sieci neuronowych bezpośrednio uczonych na surowych danych, tj. w procesie trenowania sieć samodzielnie nauczyła się wydobywać z sygnałów RF informacje istotne pod kątem różnicowania złośliwych i łagodnych zmian nowotworowych. Zaproponowano nowatorskie podejście do analizy surowych sygnałów RF, w którym zamiast analizować lokalne fragmenty sygnałów RF opracowano sieć neuronową przyjmującą jako dane wejściowe całe 2D fragmenty sygnałów RF. Ponadto zaproponowany model pozwala na jednoczesne dokonywanie zarówno klasyfikacji, jak i segmentacji zmian nowotworowych na podstawie danych RF. Zaproponowana architektura sieci neuronowej była rozszerzeniem znanego modelu U-Net. Badania eksperymentalne przeprowadzone na zbiorze danych sygnałów RF zebranych z nowotworów piersi we współpracy z Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie potwierdziły skuteczność zaproponowanej sieci do jednoczesnej segmentacji i klasyfikacji nowotworów piersi. Dodatkowo rozwiązano

problem przetwarzania całej dużej macierzy o rozmiarach 2048x256 na wejściu modelu neuronowego poprzez opracowanie specjalnego bloku operatorów splotowych (STEM).

4. Opracowanie i przeprowadzenie ocen wielu podejść i rozwiązań do przewidywania skutków chemioterapii neoadjuwantowej z wykorzystaniem metod głębokiego uczenia dla różnych typów danych ultrasonograficznych. Opracowano syjamską splotową sieć neuronową do przewidywania skutków chemioterapii neoadjuwantowej na wstępnym etapie terapii. Sieć syjamska została zbudowana na podstawie sieci splotowej ResNet-V2 wstępnie wytrenowanej na zbiorze ImageNet. Sieć splotowa była wykorzystana do ekstrakcji wektorów cech na podstawie obrazów ultrasonograficznych zebranych z nowotworów piersi 30 pacjentek Centrum Onkologii – Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie. Zaproponowano również inne rozwiązanie, w którym sieć syjamską zastąpiono siecią rekurencyjną GRU (*ang.* gated recurrent network) połączoną z siecią splotową. Wyniki badań eksperymentalnych potwierdziły możliwość przewidywania efektywności chemioterapii, przy czym skuteczność sieci rekurencyjnej zwiększała się wraz z podawaniem danych obrazowych odpowiadających kolejnym dawkom chemioterapii.

Podsumowując, bardzo dobrze oceniam osiągnięcia naukowe habilitanta przede wszystkim ze względu na obszerny zakres oryginalnych osiągnięć teoretycznych i praktycznych w zakresie diagnostyki nowotworów piersi u kobiet z wykorzystaniem opracowanych metod i algorytmów opartych na metodach głębokiego uczenia do przetwarzania sygnałów ultrasonograficznych.

Uważam, że cykl ośmiu powiązanych tematycznie artykułów i przedstawione w nich osiągnięcia stanowią znaczny wkład teoretyczny i aplikacyjny w rozwój dyscypliny inżynierii biomedycznej. Ponadto przedstawiony zestaw artykułów spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawą habilitacyjną w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.

3. Ocena aktywności naukowej i dydaktycznej

Poza pracami wskazanymi w osiągnięciu naukowym dr inż. Michał Byra jest współautorem 51 prac w tym 18 artykułów opublikowanych w czasopismach z bazy JCR np. *Scientific Report* (2023, IF: 4.6), *Medical Physics* (2023, IF: 3.8), *Ultrasonics* (2022, IF: 4.2) czy *Journal of Ultrasonography* (2022, IF: 1.2) i *Journal of Ultrasound* (2019, IF: 2.754). Jest też współautorem 33 referatów i streszczeń konferencyjnych między innymi na ważnych konferencjach międzynarodowych jak np. *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging* (2023), *IEEE International Ultrasonics Symposium* (2022, 2020), *Meeting of the Acoustical Society of America* (2019) czy *ISMRM Annual Meeting* (2020, 2019).

Należy odnotować, że swoje badania prowadził częściowo w ramach kilku projektów międzynarodowych jak np. *Brain/Minds, Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies* (finansowany przez Japan Agency for Medical Research and Development, 2014-2024) oraz krajowych finansowanych przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2012-2023 jak np. *Ilościowa analiza ultradźwięków rozproszonych w tkance. Zastosowanie do oceny odpowiedzi guza na chemioterapię u pacjentów z rakiem piersi* (2019-2023) czy *Metody wyznaczania nowych ultradźwiękowych parametrów tkanki nowotworowej. Ich interpretacja fizyczna i ocena przydatności w diagnostyce onkologicznej piersi* (2016-2020).

Pośrednią oceną znaczenia i wartości opublikowanego dorobku naukowego dr inż. Michała Byry są wskaźniki bibliometryczne, które przedstawiają się następująco: według bazy *Web of Science* H=13, liczba cytowań 663, *Scopus* H=14, liczba cytowani 952, a według bazy *Google Scholar* odpowiednio H=16, liczba cytowani 1206. Są to bardzo dobre wskaźniki w odniesieniu do reprezentowanej dyscypliny.

Potwierdzeniem bardzo dobrej międzynarodowej pozycji naukowej dr inż. Michała Byry są liczne zaproszenia do opracowania recenzji artykułów dla wielu czasopism specjalistycznych z bazy JCR jak np. *Biomedical Signal Processing and Control, IEEE Transactions on Medical Imaging, IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* czy *Physics in Medicine and Biology* i *Ultrasound in Medicine and Biology*.

Należy odnotować również bardzo dobrą współpracę międzynarodową, którą dr inż. Michał Byra rozpoczął stażem podoktorskim na University of California w San Diego (USA) w Department of Radiology (2018-2019). Kilka lat później bo w latach 2022-2023 jako naukowiec wizytujący był w prestiżowym centrum badawczym w Japonii a mianowicie w RIKEN Center for Brain Science w oddziale Brain Image Analysis Unit. Był to pobyt w ramach flagowego japońskiego projektu *Brain/Minds*. Przed doktoratem w latach (2014-2015) był na krótkich stażach miesięcznych na University of Florencja (Włochy) oraz Erasmus University Rotterdam (Holandia).

Działalność dydaktyczna dr inż. Michała Byry z uwagi na pracę w Instytucie PAN była mocno ograniczona i skupiona była głównie na wykładach w czasie staży/pobytów zagranicznych np. na Wydziale Radiologii Uniwersytetu Kalifornijskiego w San Diego (USA) czy RIKEN Center for Brain Science (Japonia) dla studentów tokijskich uniwersytetów. Był też opiekunem studentów wykonujących projekty/praktyki w Polskiej Akademii Nauk oraz na Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego (USA).

O wysokiej międzynarodowej pozycji naukowej dr inż. Michała Byry świadczy ostatnie Jego wyróżnienie przez Word's TOP 2% Scientists by Stanford University in 2022, jak również uzyskane stypendium Japan Society for the Promotion of Science (2022). Krajowe wyróżnienia to między

innymi stypendium Ministra Edukacji i Nauki dla wybitnych młodych naukowców (2021) czy coroczne nagrody Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w latach (2020-2023).

4. Podsumowanie

Mając na uwadze przedłożony przez dr Michała Byrę cykl 8 publikacji powiązanych tematycznie oraz przedstawienie w nich osiągnięcia naukowe w postaci opracowanych metod i algorytmów do przetwarzania sygnałów ultrasonograficznych opartych na metodach głębokiego uczenia, udział w realizacji międzynarodowych projektach badawczych jak również krajowych finansowanych przez NCN bardzo dobrze oceniam cały ten dorobek naukowo-badawczy w tym tak intensywną i efektywną współpracę międzynarodową.

Uważam, że dr inż. Michał Byra spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego a Jego dorobek naukowy stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny *inżynieria biomedyczna* w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Zdecydowanie popieram wniosek o dopuszczenie dra Michała Byrę do dalszego etapu procesu habilitacyjnego.

