

Dr hab. inż. Paweł Kostka, prof. uczelni,
Katedra Informatyki Medycznej i
Sztucznej Inteligencji,
Wydział Inżynierii Biomedycznej,
Politechniki Śląskiej.
41-800 Zabrze, ul. F. Roosevelta 40.

Gliwice, 24 kwiecień 2025r.

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Macieja Rosoła

w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych**,

w dyscyplinie **inżynieria biomedyczna**

na podstawie monotematycznego cyklu publikacji pt.

„Zastosowanie analizy sygnałów krążeniowo-oddechowych z rozszerzeniem o domenę przyczynową i informacyjną, w celu poprawy oceny stanu zdrowia”.

1. Podstawa prawna i merytoryczna przygotowania recenzji

Podstawą prawną opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Agnieszki Jastrzębskiej o sygnaturze: RNDIB.001.3.2025, z dnia 24.02.2025r. powierzające mi funkcję recenzenta w postępowaniu doktorskim mgr inż. Macieja Rosoła, wszczętym na posiedzeniu ww. Rady, ujęte uchwałą nr 9/III/2025 z dnia 18.02.2025r.

Niniejsza recenzja została opracowana zgodnie z Ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z dnia 20 lipca 2018 (Dz. U. z 2024 r., z późniejszymi zmianami) oraz uchwałą Senatu Politechniki Warszawskiej nr 321/L/2023 z dnia 29.03.2023. W przygotowaniu recenzji wykorzystano również wytyczne opublikowane w dokumencie Rady Doskonałości Naukowej pt.: „Recenzje w postępowaniach o awans naukowy. Poradnik” oraz uchwałą nr 11/2020 Rady Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej z dnia 26.02.2020r. dotyczącą kryteriów wyróżniania rozpraw doktorskich.

Podstawę merytoryczną opracowania recenzji stanowi rozprawa doktorska w formie monotematycznego cyklu pięciu publikacji, w których co istotne pierwszym autorem w każdej pracy jest Doktorant. Składają się na nią trzy artykuły ze współczynnikiem wpływu w czasopiśmie z listy JCR oraz dwie prace z recenzowanych konferencji o zasięgu światowym stowarzyszenia IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). Sumaryczna liczba



punktów wg. listy MNiSW, publikacji wskazanych w rozprawie doktorskiej jako cykl ilustrujący oceniane osiągnięcie badawcze to 380.

Dokumentacja została przygotowana zgodnie z wymogami formalnymi, w sposób kompleksowy i staranny, w języku polskim.

2. Znaczenie podjętej tematyki w kontekście dyscypliny naukowej inżynieria biomedyczna

Rozprawa poddana niniejszej recenzji przedstawia zestaw badań oraz uzyskane w ich realizacji wyniki dotyczące niezwykle istotnego w dyscyplinie inżynierii biomedycznej obszaru analiz związanego z wzajemnym powiązaniem i sprzężeniami różnych układów regulacji organizmów żywych, w szczególności układu krążeniowo-oddechowego (*CRC*, z *ang. cardiorespiratory coupling*), badaniem którego jest poświęcona niniejsza rozprawa. Jednym z pionierów tej dziedziny już w drugiej połowie XIX w. był Claude Bernard, który dokumentując swe badania konkludował, że czynności życiowe człowieka są wynikiem ciągłego balansu powiązanych ze sobą układów regulacji organizmu, która to teza i powiązane z nią rozwijane badania, pozwoliły Walterowi Cannon w latach 30-tch XX w. zdefiniować pojęcie homeostazy. Ten interdyscyplinarny obszar badań kontynuowany do czasów współczesnych pozwala aktualnie coraz dogłębniej wyjaśniać fenomeny, w tym m.in. jak organizm człowieka utrzymuje prawie stałe swoje warunki wewnętrzne, które pozwalają adaptować się do znaczących zmian otoczenia i przetrwać w skrajnie niesprzyjających środowiskach zewnętrznych (np. Goldstein and Kopin, 2017; Billman, 2020)

Przeprowadzona analiza stanu wiedzy oraz przedstawiona w rozprawie doktorskiej problematyka i zaproponowany metodyczny sposób modyfikacji, uzupełniania istniejących metod w celu poprawy jakości oceny stanu zdrowia probantów pozwala stwierdzić, że wybrany przez Kandydata temat jest w pełni uzasadniony oraz znacząco aktualny poznawczo.

Recenzowana rozprawa wpisuje się w zakres badawczy dyscypliny naukowej inżynieria biomedyczna, a podjętą w niej problematykę można zaliczyć do jednego z kluczowych w niej nurtów tj. modelowania systemów życiowych organizmów żywych, co prowadzi do doskonalenia metod wspomagania diagnostyki medycznej.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie w formie cyklu publikacji Doktorant właściwie opracował strukturę pracy, rozpoczynając od streszczenia w języku polskim i angielskim oraz wykazu stosowanych skrótów, co jest istotne dla multidyscyplinarnego charakteru opisanych prac badawczych a następnie w merytorycznym wstępie przedstawił istotne zagadnienia wprowadzające w istotę planowanych badań, definiując kluczową hipotezę oraz cel rozprawy, opisując jego realizację cząstkowe w podziale na publikacje cyklu. Po tym zwartym raporcie z realizacji najważniejszych etapów pracy, przedstawiono szczegółowo zakres badań, uzyskane



narzędzi parametryzujących związki przyczynowe modelu nieliniowego, który może być użyty do realizacji kolejnych badań w przyszłości, zgodnie z ideą dzielenia się doświadczeniem i narzędziami w społeczności twórców bibliotek Pythona.

Warty wspomnienia jest również szeroki wachlarz adekwatnych i profesjonalnie użytych zaawansowanych metod statystycznych w obszarze przygotowania danych badawczych ich walidacji jako użytecznych dla zasadniczej linii badawczej, jak również użytych narzędzi przetwarzania i wizualizacji sygnałów dla prezentacji i weryfikacji uzyskanych wyników.

Podkreślić należy jednocześnie bardzo wysoki poziom staranności przygotowania rozprawy i dbanie o istotne szczegóły procesu badawczego oraz jego raportowania, uzupełnionej o załączniki w postaci m.in. Opinii Komisji Bioetycznej oraz potwierdzonego podpisami współautorów udziału w powstaniu każdej publikacji cyklu.

4. Uwagi o charakterze dyskusyjnym i polemicznym

- 1) proszę rozwinąć wyjaśnienie kwestii weryfikacji wymaganej liczności zbiorów danych populacji testowych oraz ich jednorodności opisanych w publikacji nr 5 cyklu, w tym różnic w liczności poszczególnych grup. Czy uwzględniając specyfikę problemu badawczego oraz posiadanych zbiorów danych rozważano zastosowanie i użyteczność metod rozszerzania zbiorów danych? Jeśli tak, jakie argumenty za i przeciw zostały wzięte pod uwagę.
- 2) proszę wyjaśnić rozwiązanie typowego problemu wzorca ("gold standard") zastosowanego podczas badań porównawczych przedstawionych w rozprawie, dla wyznaczenia i interpretacji uzyskanych wskaźników poprawy oceny stanu zdrowia.
- 3) jak dobrano grupę optymalnych parametrów opisujących układ krążenia oraz oddechowy, spośród wielu miar możliwych do wyznaczenia w dziedzinie czasu (T), częstotliwości (F) oraz mieszanej T-F zastosowanych w modelowaniu sprzężenia między tymi dwoma systemami?



wyniki, ich dyskusję oraz wnioski w każdej z pięciu publikacji cyklu, co łącznie z podsumowaniem zostało rozmieszczone na 79 stronach rozprawy.

Monotematyczny cykl publikacji stanowi spójny raport z konsekwentnej realizacji zaprojektowanego procesu badawczego, gdzie można zauważyć logicznie w ciągu przyczynowo-skutkowym zaplanowane i połączone kolejne etapy badań, realizowane na wytypowanych populacjach grupy badawczej, pacjentów kardiologicznych oraz sportowców wyczynowych. Po dogłębnej analizie literaturowej stanu aktualnego wyników badań dotyczących sprzężenia krążeniowo-oddechowego Doktorant zgodnie ze współczesnymi trendami opracował zintegrowany zestaw metod, bazujący na wielomodalności, czyli dodaniu kolejnych kanałów informacyjnych, charakteryzujących aktywność oddechową i wnoszących parametry z domeny przyczynowej oraz informacyjnej, co pozwoliło uzyskać wierniejsze modele sprzężenia kardio-oddechowego, co skutkowało zweryfikowaną poprawą jakości oceny stanu zdrowia pacjenta. Zostało to przedstawione w ostatniej pracy cyklu, stanowiącej merytoryczne podsumowanie opracowanych metod dla wszystkich badanych grup populacyjnych probantów. Ten zakres przeprowadzonych badań i analiz pozwala pozytywnie i na wysokim poziomie ocenić kryterium oceny związane z wiedzą ogólną, teoretyczną prezentowaną przez Kandydata oraz weryfikację kolejnego kryterium, potwierdzającego umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej mgr inż. Macieja Rosoła, ubiegającego się o nadanie stopnia doktora.

Do najważniejszych osiągnięć, z elementami oryginalności, przedstawionych w rozprawie należy zaliczyć:

1. Optymalizację kombinacji parametrów charakteryzujących stan układu krążenia oraz oddechowego dla maksymalizacji wydolności w grupie sportowców wyczynowych, co pozwoliło na poprawę procesu personalizacji ćwiczeń oraz profilowania.
2. Opracowanie metod opartych o algorytmy uczenia maszynowego dla modelowania nieliniowych zależności badanego sprzężenia kardio-oddechowego, co stanowi rozwinięcie złożoności modelu względem obowiązującego liniowego paradygmatu Grangera.
3. Dodanie do analizy wielomodalnej parametrów z domeny przyczynowej i informacyjnej oraz adaptacja algorytmów opracowanych w ramach prac 1-2 cyklu dla pacjentów kardiologicznych.

Wymienione elementy pozwoliły pozytywnie zweryfikować kryterium oceny dotyczące oryginalności rozwiązania postawionego zadania badawczego.

Dodatkową wartością powstałą podczas realizacji badań, potwierdzającą również wysoki poziom umiejętności Doktoranta w zakresie implementacji opracowanych metod jest biblioteka, pakiet „*nonlincausality*” napisany w języku Python, stanowiąca otwarty zestaw



5. Wniosek końcowy

Podsumowując, biorąc pod uwagę przedstawioną linię badawczą, uzyskane wyniki oraz ich sposób dokumentacji przedstawiony w pracy, można bardzo wysoko ocenić zarówno elementy nowatorskie zawarte w poddanym recenzji rozprawie doktorskiej, potwierdzającej jednocześnie wiedzę teoretyczną jak i umiejętność dojrzałego prowadzenia pracy naukowej i badawczej Kandydata.

Wobec spełnienia wszystkich wymogów odpowiedniej Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, z dnia 20 lipca 2018 (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późniejszymi zmianami), wnoszę o dopuszczenie opiniowanej rozprawy doktorskiej mgr inż. Macieja Rosoła do publicznej obrony, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria biomedyczna.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę bardzo znaczący dorobek naukowy i aplikacyjny Kandydata, wyrażony imponującym sumarycznym wskaźnikiem punktów MNiSW wg. Bazy Wiedzy Politechniki Warszawskiej równym 1215, na który składa się 16 publikacji, w tym 9 z listy JCR, opublikowanych w relatywnie krótkim okresie czterech lat Szkoły Doktorskiej (2021-2025), ze znaczącym poziomem współautorstwa oraz ponadprzeciętną aktywność Doktoranta w obszarze inżynierii biomedycznej wnoszę również o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.



