



Politechnika
Wrocławska



RPW/34407/2026
Data: 2026-08-19

Wrocław, 14.08.2026 r.

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Nastaran Hamedisheihani
zatytułowanej: „Identifying objective EEG and eye-tracking biomarkers for
modulation of cognitive functions” (“Identyfikacja obiektywnych biomarkerów EEG i
śledzenia oczu do modulacji funkcji poznawczych”) przygotowanej pod kierunkiem:
dra hab. inż. Michała T. Kucewicza, prof. uczelni w Politechnice Gdańskiej; w
dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja.**

Recenzja została sporządzona w związku z powołaniem przez przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacji pana dra hab. inż. Jacka Raka, prof. PG na posiedzeniu w dniu 7.07.2026 roku do pełnienia funkcji recenzentki w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja pani mgr **Nastaran Hamedisheihani**.

Rozprawa złożona została w trybie art. 187 ust. 3, w formie cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, obejmującego część monograficzną (rozdz. 1-4 i 6) oraz dwie publikacje (rozdz. 5):

- **Badanie I: Hamedi, N.**, Garcia-Salinas, J. S., Berry, B. M., Worrell, G. A., & Kucewicz, M. T. (2025). Anterior prefrontal EEG theta activities indicate memory and executive functions in patients with epilepsy. *Epilepsia*, 66(4), 1274-1287. doi: 10.1111/epi.18246. Kandydatka jest pierwszą autorką.
- **Badanie II: Hamedi, N.**, Sarmiento, L.F., Lech, M. et al. Pupil size as an early and accessible biomarker of memory performance: a comparative intracranial EEG study. *Sci Rep* (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-64850-9> Kandydatka jest pierwszą autorką.

Powyższe prace zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Ponieważ przeszły one już proces niezależnych recenzji, niniejsza ocena koncentruje się na rozprawie jako zintegrowanej całości, na samodzielnym wkładzie Kandydatki oraz na aspektach wykraczających poza zakres wcześniejszej oceny czasopiśmienniczej.

Praca została napisana w całości w języku angielskim.

1. Problem naukowy (teza) rozprawy i ocena jego sformułowania

Problem naukowy podjęty w rozprawie polega na ustaleniu, czy sygnały fizjologiczne: elektroencefalograficzne (EEG), śródczaszkowe elektroencefalograficzne (iEEG) oraz pupilometryczne mogą zostać przekształcone metodami cyfrowego przetwarzania sygnałów, analizy statystycznej i uczenia maszynowego w ilościowe, obiektywne biomarkery sprawności poznawczej i pamięciowej.

Zastrzeżenie zgłaszam natomiast wobec sposobu sformułowania **tezy głównej** (podrozdz. 1.4). W obecnym brzmieniu stwierdza ona, że sygnały fizjologiczne „*can be transformed... into quantitative biomarkers that enable objective measurement of cognitive performance*”. Zdanie to opisuje wykonalność procedury badawczej, a nie twierdzenie o rzeczywistości, które mogłoby zostać obalone: przekształcenie sygnału w cechy ilościowe jest zawsze technicznie możliwe, wobec czego nie sposób wskazać wyniku empirycznego fałsyfikującego tak sformułowaną tezę. Ma ona zatem charakter **celu rozprawy**, nie zaś tezy w ścisłym rozumieniu. Dodatkowo pokrywa się treściowo z hipotezą H3, przez co nie pełni funkcji twierdzenia nadrzędnego wobec hipotez szczegółowych. Odnotowuję również, że sformułowanie „objective measurement” jest szersze niż uzyskane rezultaty, które dowodzą **różnicowania** stanów poznawczych, nie zaś ich pomiaru na skali.

Podkreślam, że uwaga ta dotyczy wyłącznie warstwy redakcyjnej i **działa na niekorzyść samej Autorki**: tak sformułowaną tezę spełniłby dowolny rezultat nieznacznie przewyższający poziom losowy, podczas gdy rzeczywiste ustalenia rozprawy są znacznie mocniejsze i w pełni fałsyfikowalne - ogólnodomenowy charakter markera theta przedczołowej, porównywalność cechy pupilometrycznej z cechami śródczaszkowymi oraz wyprzedzenie czasowe efektu źrenicowego wobec odpowiedzi behawioralnej. Dużo lepiej, w mojej ocenie, byłoby sformułowanie tezy tak, by odzwierciedlała te twierdzenia.

Tezę uszczegółowiono czterema hipotezami badawczymi:

- **H1**: Spectral EEG features differ systematically between groups characterized by different levels of cognitive performance. (*Cechy widmowe EEG różnią się systematycznie między grupami charakteryzującymi się różnymi poziomami sprawności poznawczej.*)
- **H2**: Pupil dynamics reflect trial-by-trial variability in memory performance. (*Dynamika źrenicy odzwierciedla zmienność wydajności pamięci w kolejnych próbach.*)
- **H3**: Physiological features derived from EEG, iEEG, and pupil responses contain information about cognitive and memory performance that can be extracted using statistical and computational approaches. (*Cechy fizjologiczne pochodzące z EEG, iEEG i reakcji źrenic zawierają informacje o wydajności poznawczej i pamięciowej, które można uzyskać za pomocą metod statystycznych i obliczeniowych.*)
- **H4**: Pupil-derived physiological features provide information about memory performance with timing and discriminative properties approaching those of simplified univariate iEEG power-in-band features. (*Cechy fizjologiczne pochodzące ze źrenicy dostarczają informacji o wydajności pamięci, a ich właściwości czasowe i dyskryminacyjne zbliżają się do właściwości uproszczonych, jednowymiarowych cech mocy w paśmie iEEG.*)

Odnotowuję ponadto, że **tytuł rozprawy antycypuje szerszy program badawczy, niż obejmuje jej treść**, gdyż zapowiada biomarkery „for modulation” funkcji poznawczych, podczas gdy oba badania mają charakter obserwacyjny, a modulacja pojawia się jako perspektywa dalszych prac. Podobnie pojęcie „eye-tracking” jest szersze niż zastosowana pupilometria. Rozprawę można zatem czytać jako pierwszy, diagnostyczny etap takiego programu.

Podsumowując - w mojej ocenie problem został sformułowany we właściwy (trafny) i jasny sposób. Jest dobrze osadzony w literaturze, precyzyjnie ograniczony i, co istotne, rozpisany na weryfikowalne hipotezy o odpowiednim stopniu szczegółowości, do których Autorka konsekwentnie wraca w rozdziale 6. Szczególnie wartościowe jest jednoznaczne rozdzielanie dwóch poziomów analizy (międzyosobniczego i wewnątrzosobniczego), które nadaje rozprawie klarowną oś konstrukcyjną i porządkuje relację między obydwoma badaniami.

2. Rozwiązanie zdefiniowanego problemu oraz ocena warsztatu metodologicznego i metodycznego

Postawiony problem został przez doktorantkę rozwiązany, a wszystkie cztery hipotezy zweryfikowane pozytywnie, z drobnymi zastrzeżeniami dotyczącymi mocy statystycznej **Badania II**.

H1 i H3 znajdują potwierdzenie w **Badaniu I**, gdzie cechy spektralne EEG różnicują systematycznie grupy o odmiennej sprawności poznawczej, przy czym efekt zlokalizowano w paśmie theta przedniej kory przedczołowej i wykazano jego spójność w czterech niezależnych domenach poznawczych (pamięć wzrokowa, przestrzenna, robocza, funkcje wykonawcze) na próbie 86 pacjentów.

H2 i H4 znajdują potwierdzenie w **Badaniu II**, gdzie analizy rozdzielcze czasowo wykazały, że dynamika źrenicy różnicuje próby o dobrej i słabej skuteczności pamięciowej podczas kodowania i odtwarzania, a skuteczność klasyfikacji na podstawie cechy pupilometrycznej okazała się zbliżona do skuteczności uzyskiwanej z jednowymiarowych cech PIB i EEG.

Realizacja rozprawy dowodzi opanowania warsztatu badawczego na poziomie wyraźnie przewyższającym wymagania stawiane rozprawie doktorskiej. Wskazuję w szczególności:

- Zaimplementowano trzy odrębne, dostosowane do modalności potoki przetwarzania wstępnego: filtrację FIR pasmowo-przepustową i separację składowych metodą ICA dla EEG; filtrację IIR pasmowo-zaporową, selekcję elektrod aktywnych metodą mieszanin gaussowskich (GMM) oraz dekompozycję STFT dla iEEG; a dla pupilometrii - ekstrakcję metodą dopasowania elipsy, kalibrację jednostek przez odległość międzyżreniczną i interpolację ubytków z uzasadnionym progiem 90 ms. Osobno na uznanie zasługuje interpolacja szeregów mocy iEEG do 150 Hz w celu uzgodnienia rozdzielczości czasowej z sygnałem źrenicowym, warunkująca poprawność analiz porównawczych.
- Doktorantka zastosowała wielopoziomową i konsekwentnie konserwatywną strategię: analizę klastrową opartą na permutacjach z kontrolą wielokrotnych porównań w

domenie czasu, uzupełnioną, wobec ograniczonej liczebności próby, wnioskowaniem na poziomie badanych z użyciem testu t, testu rangowanego Wilcoxa oraz dokładnego testu permutacyjnego typu sign-flip.

- Wykorzystano SVM z jądrem RBF w schemacie okien przesuwnych (67 ms / krok 33 ms), z walidacją krzyżową leave-pairs-out zachowującą równowagę klas, optymalizacją hiperparametrów wyłącznie wewnątrz zbioru treningowego oraz, co szczególnie istotne, walidacją permutacyjną opartą na statystyce maksymalnej, kontrolującą inflację wyników wynikającą z wielokrotnego przeszukiwania okien czasowych. Dobór metryk (macro-F1, weighted-F1, zbalansowana dokładność) świadczy o świadomości problemu niezbalansowania klas.
- Przeprowadzono analizę wrażliwości typu leave-one-subject-out, weryfikującą zarówno istotność, jak i kierunek efektów po wyłączeniu każdego uczestnika. Przy $n = 7$ jest to postępowanie nie tylko poprawne, lecz wręcz konieczne.

Wobec powyższych - obór metod jest (w mojej ocenie) właściwy i adekwatny do postawionego problemu, a sposób ich zastosowania dowodzi dojrzałego opanowania metodyki i metodologii badań naukowych w zakresie cyfrowego przetwarzania sygnałów, statystyki i uczenia maszynowego. Rygor metodologiczny w warunkach małej próby uznaję za jedną z najmocniejszych stron rozprawy.

3. Aktualność i waga tematyki

Tematyka jest aktualna i istotna, zarówno poznawczo, jak i aplikacyjnie. Poszukiwanie obiektywnych, ilościowych biomarkerów funkcji poznawczych należy do głównych zagadnień współczesnej neuronauki poznawczej i inżynierii biomedycznej. Konwencjonalna ocena neuropsychologiczna jest czasochłonna, zależna od kontekstu, obarczona efektami uczenia się przy powtarzaniu i z natury nieprzystosowana do wychwytywania szybkiej zmienności stanu poznawczego. Zapotrzebowanie na komplementarne miary fizjologiczne jest zatem realne i dobrze udokumentowane.

Waga tematu wzrasta w kontekście rozwoju interfejsów mózg-komputer i neurotechnologii zamkniętej pętli, dla których obiektywny, mierzalny w czasie rzeczywistym wskaźnik stanu poznawczego stanowi warunek konieczny działania. Zaburzenia poznawcze są ponadto częstym i klinicznie istotnym problemem w padaczkę, chorobach neurodegeneracyjnych i po urazach mózgu, co nadaje pracy bezpośredni wymiar translacyjny.

Osobno podkreślam aktualność wątku "pupilometrycznego": przy rosnącej dostępności taniej, noszonej aparatury okulograficznej pytanie o to, ile informacji poznawczej niesie sam rozmiar źrenicy, przestaje być pytaniem czysto akademickim i staje się pytaniem o wykonalność skalowalnego monitorowania poznawczego poza laboratorium.

Zewnętrznym potwierdzeniem wagi podjętej problematyki jest fakt, że **Badanie I** stało się przedmiotem "zaproszonego komentarza redakcyjnego" w czasopiśmie *Epilepsy Currents* (Zawar, I. (2025). An EEG in Time Saves Nine: Predicting Cognitive Decline in Epilepsy.

Epilepsy currents, 25(4), 277-279), w którym wskazano na jego potencjalne znaczenie translacyjne dla obiektywnej oceny funkcji poznawczych w padaczkę.

4. Oryginalny wkład Autorki oraz jego znaczenie poznawcze i praktyczne

Za oryginalny dorobek Autorki uznaję cztery elementy (trzy ustalenia empiryczne oraz jeden wkład metodyczny, odrębny od wyników obu badań):

1. **Identyfikacja aktywności theta przedniej kory przedczołowej jako ogólnego wskaźnika sprawności poznawczej.** Wykazano, że obniżona moc theta w rejonie przedczołowym wiąże się z gorszymi wynikami jednocześnie w czterech odrębnych domenach poznawczych, przy czym efekt utrzymuje się także w zadaniu kontrolnym MOT o charakterze sensomotorycznym. Wnioskowanie o ogólnodomenowym, a nie zadaniowo specyficznym charakterze tego markera stanowi ustalenie wykraczające poza proste potwierdzenie znanego związku theta-kontrola poznawcza.
2. **Bezpośrednie porównanie nieinwazyjnej pupilometrii z elektrofizjologią śródczaszkową jako punktem odniesienia.** Uznaję to za najbardziej oryginalny wkład rozprawy. Zestawienie dostępnej, taniej i całkowicie nieinwazyjnej modalności z jedną z najbardziej precyzyjnych fizjologicznie, lecz najmniej dostępnych metod pomiaru aktywności mózgu człowieka, przeprowadzone na tych samych pacjentach, w tym samym zadaniu i w tym samym oknie czasowym, jest podejściem rzadkim w literaturze i dostarcza argumentu, którego nie da się uzyskać w badaniach jednomodalnych.
3. **Wykazanie predykcyjnego wyprzedzenia czasowego sygnału źrenicowego.** Ustalenie, że informatywne różnice w dynamice źrenicy pojawiają się przed odpowiedzią behawioralną, ma znaczenie zarówno teoretyczne (temporalna organizacja procesów pamięciowych), jak i praktyczne (możliwość predykcji, a nie tylko rejestracji stanu poznawczego).
4. **Zunifikowana struktura obliczeniowa** integrująca przetwarzanie sygnałów, wnioskowanie rozdzielcze czasowo, analizę odporności i walidowaną permutacyjnie klasyfikację, zastosowana spójnie do trzech odmiennych modalności pomiarowych i dwóch poziomów zmienności. Struktura ta stanowi wkład metodyczny odrębny od wyników empirycznych obu prac.

Rozprawa dostarcza dowodów, że sprawność poznawcza posiada mierzalne korelaty fizjologiczne na dwóch odrębnych skalach czasowych: względnie stabilnych różnic międzypersonalnych oraz przejściowych fluktuacji między próbami. Wykazanie, że modalność niezwiązana bezpośrednio z aktywnością neuronalną (dynamika źrenicy, pośrednio odzwierciedlająca aktywność układu miejsc sinawe=noradrenalina) niesie informację porównywalną z lokalną aktywnością korową, wspiera pogląd, że poznanie wyłania się z interakcji między lokalnymi mechanizmami neuronalnymi a szerszymi układami regulacji fizjologicznej.

Znaczenie praktyczne pracy wynika wprost z asymetrii dostępności obu porównywanych modalności. Rejestracja iEEG wymaga implantacji elektrod i jest ograniczona do wąskiej populacji klinicznej; pupilometria wymaga kamery na podczerwień. Wykazanie zbliżonej wartości dyskryminacyjnej otwiera drogę do:

- skalowalnego monitorowania poznawczego w warunkach klinicznych, bez procedur inwazyjnych;
- adaptacyjnych systemów edukacyjnych i interfejsów reagujących na obciążenie poznawcze;
- monitorowania obciążenia poznawczego w środowiskach o wysokim ryzyku;
- pomiaru stanu poznawczego jako sygnału sterującego w neurotechnologiach zamkniętej pętli.

5. Ocena wiedzy Autorki dla dziedziny nauk technicznych oraz dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja

Rozprawa oraz jej charakter zdecydowanie świadczy o dostatecznej wiedzy Autorki, zarówno na poziomie podstawowym dla dziedziny nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, jak i szczegółowym dla obszaru prowadzonych badań.

Doktorantka wykazuje ugruntowaną znajomość cyfrowego przetwarzania sygnałów (projektowanie filtrów FIR i IIR, dobór parametrów i uzasadnienie wyboru typu filtru, analiza czasowo-częstotliwościowa metodą STFT z doбором okna i zakładki, estymacja gęstości widmowej mocy, transformacje stabilizujące wariancję, kwestie próbkowania i interpolacji szeregów czasowych). Równie kompetentnie operuje aparatem statystyki wnioskowania (analiza wariancji z korektą post hoc, testy nieparametryczne, metody permutacyjne, kontrola błędu I rodzaju przy wielokrotnych porównaniach) oraz uczenia maszynowego (klasyfikacja nieliniowa, dobór schematu walidacji krzyżowej, izolacja zbioru testowego, świadome przeciwdziałanie przeciekowi informacji i przeuczeniu, dobór metryk odpornych na niezbalansowanie klas).

Rozdziały 2 i 3 dowodzą swobodnego poruszania się w problematyce systemów pamięciowych, funkcji wykonawczych, procesów uwagowych i regulacji odtwarzania, a także w metodologii pomiarowej EEG, iEEG i pupilometrii wraz z krytyczną świadomością ograniczeń każdej z tych technik (przewodnictwo objętościowe i artefakty w EEG, uwarunkowana klinicznie heterogeniczność pokrycia elektrodowego w iEEG, wrażliwość na luminancję, zmęczenie i stan emocjonalny w pupilometrii).

Za dowód dojrzałości merytorycznej uznaję także trafność sformułowanych ograniczeń pracy (podrozdz. 6.3). Autorka samodzielnie identyfikuje wszystkie kluczowe słabości własnych badań, w tym te dla siebie najbardziej niewygodne, takie jak małą liczebność próby, wyłącznie kliniczny charakter obu kohort, zależność biomarkerów od paradygmatu oraz konieczność interpretowania wyników klasyfikacji jako dowodu wykonalności, a nie uogólnialnej skuteczności predykcyjnej. Umiejętność krytycznej oceny własnych rezultatów jest istotnym wyznacznikiem zdolności do samodzielnej pracy naukowej.

6. Podstawa literaturowa i aktualność stanu wiedzy

Rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i świadczy o dobrej znajomości współczesnej literatury dyscypliny., a wykaz literatury obejmuje 115 pozycji, w zdecydowanej większości anglojęzycznych publikacji z czasopism o zasięgu międzynarodowym i wysokiej renomie (Nature Neuroscience, Neuron, Nature Reviews Neuroscience, Trends in Cognitive Sciences, Annual Review of Neuroscience, Brain, NeuroImage, Journal of Neuroscience). Dobór źródeł jest właściwy i celowany.

Struktura cytowań łączy pozycje klasyczne, konstytutywne dla dziedziny (Scoville i Milner 1957; Miller i Cohen 2001; Tulving 2002; Aston-Jones i Cohen 2005), z literaturą bieżącą (Joshi i Gold 2020; Herweg i in. 2020; Mathôt i Vilotijević 2022; Ekstrom i Hill 2023; He i in. 2023; Rolls i Treves 2024; Cole 2024). Obecność pozycji z lat 2023-2025 potwierdza bieżącą orientację w stanie badań.

Kompetentnie zreferowano również literaturę metodologiczną, zarówno w zakresie ogólnym (Luck 2014; Cohen 2014; Buzsáki 2011; Nunez i Srinivasan 2006), jak i wąskospecjalistycznym, dotyczącym poprawnego przetwarzania danych pupilometrycznych (Kret i Sjak-Shie 2019; Mathôt i in. 2018), oraz przeglądy dotyczące usuwania artefaktów EEG (Urigüen i Garcia-Zapirain 2015; Mumtaz i in. 2021). Świadczy to o świadomości aktualnych standardów dobrej praktyki analitycznej, nie tylko stanu wiedzy przedmiotowej.

Uwagą porządkową, a nie merytoryczną, jest powielenie przez Doktorantkę kilkunastu pozycji w wykazie literatury (m.in. Cavanagh i Frank jako poz. 4 i 17; Poldrack jako 5 i 15; Fries jako 11 i 22; Klimesch i in. jako 29 i 30; Woo i in. jako 14 i 41; Cohen jako 81 i 109; Harvey jako 13 i 112; Hermann i in. jako 1 i 113; Helmstaedter jako 2 i 114). Wymagałoby to uporządkowania i renumeracji.

7. Uwagi krytyczne do rozprawy

Poniższe uwagi porządkuję według wagi. Podkreślam, że żadna z nich nie podważa poprawności ani wartości naukowej przedstawionych badań, a znaczna ich część dotyczy sposobu prezentacji, nie zaś jakości wykonanej pracy.

1. **Liczebność próby w Badaniu II ($n = 7$).** Ograniczenie najpoważniejsze, choć nieuniknione w badaniach śródczaszkowych. Moc statystyczna pozwala wykryć jedynie efekty duże i spójne; wyniki klasyfikacji należy odczytywać jako dowód wykonalności. Autorka sama tak je kwalifikuje, a zastosowane procedury odpornościowe i permutacyjne stanowią właściwą odpowiedź metodyczną na to ograniczenie.
2. **Wyłącznie kliniczny charakter obu kohort.** Patologia, historia napadów i farmakoterapia przeciwpadaczkowa mogą modyfikować zarówno aktywność elektrofizjologiczną, jak i reaktywność żrenicy. Ogranicza to możliwość uogólnienia wyników na populację niekliniczną. Odnotowuję, że w rozprawie nie przedstawiono analizy potencjalnego wpływu obciążenia farmakologicznego na raportowane

biomarkery, mimo że leki przeciwpadaczkowe są znane z oddziaływania na zawartość widmową EEG, w tym na pasmo theta.

3. **Rozbieżne definicje pasm częstotliwości między badaniami.** **Badanie I:** delta 1-4 Hz, siedem pasm, beta rozdzielona, high gamma 40-55 Hz. **Badanie II:** delta 2-4 Hz, sześć pasm, beta jako jedno pasmo, high gamma 60-150 Hz. Różnice te, istotne przy porównywaniu wyników dotyczących theta między badaniami, nie zostały w rozprawie omówione ani uzasadnione.
4. **Jednowymiarowy charakter cech neuronalnych.** Wprowadzenie motywuje pracę koncepcją rozproszonej, sieciowej komunikacji neuronalnej, podczas gdy zastosowane cechy to jednokanałowe miary mocy widmowej. Klasyfikator multimodalny, łączący cechy elektrofizjologiczne i pupilometryczne, wskazano wyłącznie jako kierunek przyszłych prac, mimo że komplementarność obu sygnałów stanowi jedną z głównych przesłanek pracy.
5. **Wykluczenie prób z zerowym odtworzeniem.** W **Badaniu II** jest to uzasadnione merytorycznie, lecz potencjalnie usuwa właśnie te próby, w których fizjologiczne sygnatyry dezangażowania byłyby najsilniejsze. Skutki tego wyboru nie zostały omówione.
6. **Całkowity brak materiału ilustracyjnego.** Rozdziały 1, 2, 3, 4 i 6 - obejmujące łącznie około stu stron - nie zawierają ani jednego rysunku, wykresu, schematu blokowego ani tabeli. Cały materiał wizualny znajduje się wyłącznie wewnątrz załączonych publikacji. Spis treści nie zawiera wykazu rysunków ani tabel. Jest to rozwiązanie nietypowe dla rozprawy w dyscyplinie technicznej.
7. **Brak konkretnych wyników liczbowych w rozdziale 6.** Dyskusja prowadzona jest wyłącznie jakościowo. Stwierdzenie o skuteczności klasyfikacji „approaching” skuteczność cech PIB nie jest opatrzone żadną wartością macro-F1; stwierdzenie o związku theta ze sprawnością - żadną statystyką testową ani wielkością efektu; stwierdzenie o wyprzedzeniu czasowym efektu żrenicowego - żadnym przedziałem czasowym. Czytelnik części monograficznej nie może ustalić rzeczywistych rezultatów bez sięgania do wklejonych artykułów. Odwraca to logikę rozprawy z cyklu i, co istotne, zaniża widoczność faktycznych osiągnięć Autorki.
8. **Niezwizualizowany rdzeń wkładu własnego.** Podrozdział 4.9 przedstawia zunifikowaną strukturę obliczeniową jako główny wkład metodyczny rozprawy, lecz struktura ta nie została ani razu przedstawiona graficznie. Brak schematu blokowego potoku analitycznego - elementu najbardziej wymagającego wizualizacji i najłatwiejszego do przedstawienia w tej formie.
9. **Zakres tytułu** - omówiony w punkcie 1 niniejszej recenzji.
10. **Oświadczenia o wkładzie autorskim.** Rozprawa zawiera opisowe oświadczenia o wkładzie Kandydatki (podrozdz. 5.1.3 i 5.2.3); nie dołączono natomiast podpisanych oświadczeń pozostałych współautorów. Odnoszę jednocześnie, że zweryfikowałam treść tych oświadczeń wobec obligatoryjnych sekcji “Author Contributions” opublikowanych wersji obu artykułów, a weryfikacja wypadła pozytywnie. W obu publikacjach Kandydatka jest jedyną osobą, której przypisano przeprowadzenie analizy danych (*conducted data analysis*), podczas gdy pozostałym współautorom przypisano wkład wspierający (*contributed to data analysis*). Kandydatce przypisano ponadto w obu pracach bezpośredni dostęp do danych źródłowych wraz z odpowiedzialnością za

ich weryfikację oraz przygotowanie pierwotnej wersji manuskryptu. Przy dziewięcioosobowym zespole autorskim publikacji w Scientific Reports wyodrębnienie to jest szczególnie wyraźne. Kandydatce nie przypisano projektowania badań ani akwizycji danych, pozostających wkładem zespołu klinicznego Mayo Clinic. Nie umniejsza to jednak jej roli w kontekście dyscypliny, w której rozprawa jest procedowana: treścią dyscyplinarną pracy w zakresie Informatyki Technicznej i Telekomunikacji jest warstwa cyfrowego przetwarzania sygnałów, wnioskowania statystycznego i uczenia maszynowego, a ta stanowi wiodący i samodzielny wkład Kandydatki. Uznaję samodzielność wkładu za w pełni udokumentowaną i nie zgłaszam w tym zakresie zastrzeżeń.

11. **Nazwisko publikacyjne.** Kandydatka publikuje pod nazwiskiem **Nastaran Hamedi**, przy pełnym brzmieniu **Nastaran Hamedisheihani** w rozprawie. Powiązanie jest odtwarzalne z samych publikacji: sekcja Author Contributions w Epilepsia podaje pełną formę nazwiska publikacyjnego, co jednoznacznie wiąże obie prace cyklu z osobą Kandydatki.
12. **Liczebność i spójność cyklu.** Cykl obejmuje dwie publikacje, co odpowiada minimum wynikającemu z art. 187 ust. 3 ustawy. Odnotowuję, że obie prace są niezbędne dla weryfikacji postawionej tezy: **Badanie I** odnosi się do zmienności międzypersonalnej, **Badanie II** do wewnątrzpessoalnej, wobec czego spójność cyklu wynika z konstrukcji problemu badawczego, nie zaś z niedostatku materiału. Ciężar dowodowy rozkłada się przy tym nierówno: **Badanie I** opiera się na kohorcie 86 pacjentów, podczas gdy **Badanie II** ma charakter bardziej eksploracyjny ($n = 7$). Spójność tematyczna cyklu ma charakter przede wszystkim konceptualny: oba badania oparto na odmiennych kohortach, paradygmatach i modalnościach, bez analizy łączącej oba zbiory danych. Wymóg ustawowy uznaję za spełniony, lecz odnotowuję ten charakter powiązania.
13. Podrozdział 5.2 zawiera powtórzone słowo („*Building Building upon...*”).
14. Podrozdział 4.7.3 zawiera powtórzone wskazanie Badania II w obrębie jednego zdania.
15. Powielone pozycje w wykazie literatury.
16. Wyniki CANTAB podano wyłącznie jako znormalizowane z-score, bez wartości surowych ani zakresów zbiorczych.
17. Rysunki i tabele uzupełniające reprodukowano w rozdzielczości utrudniającej odczyt niektórych paneli.

Pragnę podkreślić, iż powyższe uwagi nie ujmują merytorycznej wartości samej pracy.

8. Pytania i uwagi do dyskusji podczas obrony

Poniższe pytania mają umożliwić Kandydatce rozwinięcie wybranych aspektów pracy i nie stanowią zarzutów wobec jej wartości. Mają one głównie charakter dociekliwy.

1. W jaki sposób w schemacie leave-pairs-out zapewniono niezależność danych treningowych i testowych, skoro każdy uczestnik dostarczał wiele prób? Czy testowano generalizację międzypersonalną? (*How did the Leave-Pairs-Out design ensure independence of training and testing data when each participant provided multiple trials? Was inter-subject generalization tested?*)

2. Jakie kroki techniczne i walidacyjne uważa Pani za kluczowe, zanim biomarker pupilometryczny mógłby zostać przetestowany w zastosowaniach pozabadawczych? (*What technical and validation steps do you consider essential before a pupillometric biomarker could be tested in a non-research applied setting?*)
3. Czy wykluczenie prób z zerowym odwołaniem mogło wprowadzić błąd selekcji poprzez usunięcie właśnie tych prób, w których fizjologiczne oznaki wycofania byłyby najsilniejsze? (*Could the exclusion of zero-recall trials have introduced a selection bias by removing precisely those trials where physiological signatures of disengagement would be strongest?*)
4. Dlaczego preferowano metryki macro-F1, weighted-F1 i zbalansowaną dokładność nad AUC-ROC? Czy okna szczytowej skuteczności pozostałyby stabilne przy innej metryce? (*Why were macro-F1, weighted-F1 and balanced accuracy preferred over AUC-ROC, and would the peak-performance windows remain stable under a different metric?*)
5. Jak i czy zamierza Pani dalej kontynuować tę tematykę badawczą? (*How and if so, do you intend to continue this research topic?*)

9. Zaliczenie rozprawy do kategorii wskazanych w wytycznych

Uwzględniając: trafne i jasne sformułowanie problemu naukowego; rozwiązanie go przy użyciu właściwych metod, zastosowanych z rygiorem przewyższającym standard wymagany od rozprawy doktorskiej; oryginalność wkładu, w szczególności bezpośredniego porównania nieinwazyjnej pupilometrii z elektrofizjologią śródczaszkową; udokumentowaną wiedzę podstawową i szczegółową; opublikowanie obu prac cyklu w recenzowanych czasopismach międzynarodowych przy pierwszym autorstwie Kandydatki; a także zewnętrzne potwierdzenie znaczenia pracy w postaci zaproszonego komentarza redakcyjnego w czasopiśmie *Epilepsy Currents*, a jednocześnie mając na uwadze wskazane drobne słabości, takie jak przede wszystkim ograniczoną liczebność próby Badania II oraz mankamenty redakcyjne części monograficznej, zaliczam rozprawę do kategorii **d) wyrażnie wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem)**.

10. Podsumowanie

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr **Nastaran Hamedisheihani** pt. „Identifying objective EEG and eye-tracking biomarkers for modulation of cognitive functions” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, tj. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie Informatyka Techniczna i Telekomunikacja, jak również Jej umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Samą rozprawę oceniam jako wyrażnie przewyższającą przeciętny poziom prac doktorskich w tej dyscyplinie. Przemawiają za tym: trafne wyznaczenie problemu i poprawnie sformułowane hipotezy szczegółowe; rozwiązanie problemu metodami zastosowanymi z

rygorem powyżej wymaganego standardu; oryginalność wkładu, w szczególności porównania pupilometrii z elektrofizjologią śródczaszkową; opublikowanie obu prac cyklu w czasopismach międzynarodowych przy pierwszym autorstwie Kandydatki; a także zaproszony komentarz redakcyjny w *Epilepsy Currents* poświęcony Badaniu I.

Odrębnego podkreślenia wymaga **dorobek publikacyjny wykraczający poza cykl**. Według bazy Google Scholar Kandydatka jest współautorką **12** publikacji, cytowanych łącznie **119** razy, przy indeksie Hirscha równym **6**. Dorobek ten obejmuje prace w czasopismach o zasięgu międzynarodowym (*Scientific Reports, Scientific Data, Frontiers in Endocrinology, International Journal of Psychophysiology, Journal of Molecular Liquids, Journal of Healthcare Engineering*) i jest tematycznie zróżnicowany - od diagnostyki ADHD metodami łączności funkcjonalnej MEG, przez dekodowanie mowy wyobrażonej z EEG (praca nagrodzona w 3. Irańskim Konkursie BCI), po analizę sygnałów EEG w dziedzinie TQWT oraz badania biofizyczne. **Aktywność publikacyjna tej skali i o takim rozrzucie metodycznym jest na etapie kształcenia doktorskiego wynikiem wyjątkowym** i świadczy o ugruntowanej samodzielności badawczej Kandydatki, wykraczającej poza zakres samej rozprawy.

Jednocześnie uwzględniam wskazane słabości - przede wszystkim ograniczoną liczebność próby Badania II oraz mankamenty prezentacyjne części monograficznej, które nie pozwalają na przypisanie rozprawie kategorii najwyższej.

Zaliczam rozprawę do kategorii **d) - wyraźnie wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem)**.

Wnoszę o **przyjęcie rozprawy, dopuszczenie** mgr **Nastaran Hamedisheihani** do publicznej obrony oraz o **wyróżnienie rozprawy**.

Dr hab. inż. Aleksandra Kawala-Sterniuk, prof. uczelni

Katedra Sztucznej Inteligencji

Wydział Informatyki i Telekomunikacji

Politechnika Wrocławska

aleksandra.kawala-sterniuk@pwr.edu.pl