

Prof. dr hab. Włodzisław Duch
Katedra Informatyki Stosowanej i Laboratorium Neurokognitywne
Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

Ocena osiągnięć naukowych doktor Kariny Maciejewskiej, w związku z ubieganiem się o stopień doktora habilitowanego, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria biomedyczna, opracowana na prośbę Rady Naukowej Instytutu Inżynierii Biomedycznej Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.

Uwagi wstępne.

Dr Karina Maciejewska studiowała fizykę medyczną na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii (obecnie Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych) Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach uzyskując licencjat w 206 i magisterium w 2008 roku, a pięć lat później stopień doktora nauk fizycznych za pracę „Wpływ leków antyretrowirusowych (indinawir i zidowudyna) na rozwój kości noworodków szczurzych.” Ma też dyplom ukończenia studiów podyplomowych „IT w medycynie”, w zakresie bioinformatyki otrzymany od Wydziału Informatyki i Nauki o Materiałach (2011), dyplom ukończenia studiów podyplomowych „Menedżer projektu badawczo-rozwojowego” od Wyższej Szkoły Bankowej, Wydział Zamiejscowy w Chorzowie (2013), a w 2022 uzyskała tytułu magistra kognitywistyki na Wydziale Humanistycznym Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Pracuje na tej uczelni od 2011 roku, od 2024 roku jako profesor uniwersytetu. Ma więc naprawdę szerokie kompetencje, które rozszerzyła w 2019 pracując przez 4 miesiące jako Visting Scholar na Uniwersytecie Kalifornijskim UC Davis, w Dynamic Memory Lab, oraz przez rok na Università Campus Bio-Medico di Roma, Rzym, Włochy w latach 2021 – 2023.

Dr Maciejewska złożyła wniosek o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w oparciu o zbiór ośmiu monotematycznych publikacji opublikowanych w latach 2019-2025, przedstawionych pod ogólnym tytułem „Badanie wpływu wybranych czynników endogennych i egzogennych na aktywność mózgu i ciała człowieka reprezentującą kluczowe procesy poznawcze za pomocą zaawansowanych metod przetwarzania i analizy sygnałów biomedycznych oraz odpowiedzi behawioralnych”. We wszystkich tych publikacjach jest pierwszą autorką. Jedna publikacja jest bez współautorów, 4 napisane z jedną osobą, a pozostałe mają w sumie 3-5 autorów. Habilitantka opisała szczegółowo swój wkład we wszystkie etapy powstawania tych publikacji, od zdefiniowania problemu badawczego, zarządzaniu projektem eksperymentu, opracowaniu metodyki badawczej, zaprojektowaniu protokołu badawczego, uzyskaniu zgody Komisji Etyki, zaprojektowaniu scenariuszy badawczych prezentowanych osobom uczestniczącym w badaniu, rekrutacji osób uczestniczących w badaniach, wykonaniu pomiarów, zarządzaniu oprogramowaniem, zarządzaniu zasobami, przetwarzaniu sygnału EEG zarejestrowanego w eksperymencie, analizie uzyskanych danych, interpretacji i dyskusji uzyskanych wyników, napisaniu manuskryptu i stworzeniu rysunków, odpowiedzi na uwagi recenzentów,

oraz stworzeniu ostatecznej wersji publikacji. Przeprowadzenie takich badań wymaga naprawdę dużego wysiłku. Dwie najstarsze publikacje dotyczące różnic w rozkładach czaso-przestrzennych potencjału ERP P3b kobiet i mężczyzn, oraz wpływu energetycznego suplementu na potencjał P300, zostały opublikowane w *Acta Neurobiologiae Experimentalis*. Pozostałe w *Physiological Reports* (Wiley), *Entropy*, *Neuropsychologia*, *Frontiers of Neuroinformatics*, dwie w *Neuroscience* (Elsevier). Są to bardzo dobre czasopisma specjalistyczne. Szczegółowe podsumowanie opublikowanych badań zamieszczono na 46 stronach autoreferatu.

Tematem przewodnim publikacji dr Maciejewskiej jest badanie wpływu czynników endogennych (różnic międzypłciowych i indywidualnych) oraz egzogennych (pobudzającego wpływu stymulacji biochemicznej i fizycznej), za pomocą analizy EEG i innych sygnałów biomedycznych oraz miar behawioralnych. To ważne zagadnienie zarówno z punktu widzenia badań podstawowych jak i możliwych zastosowań do oceny przygotowania mózgu do przetwarzania informacji. Liczba publikacji w tym obszarze w ostatnich latach bardzo szybko wzrasta. Jest coraz więcej metod analizy i zastosowania metod uczenia maszynowego wykorzystujących otwarte dane, ale Autorka słusznie zauważa w autoreferacie, że ma to słaby wpływ na zrozumienie rzeczywistych procesów neurofizjologicznych ze względu na ograniczoną wiedzę informatyków na temat neurofizjologii czy analizy sygnałów biomedycznych. Badania eksperymentalne są znacznie rzadsze i nie zawsze metodologicznie poprawne. Różnice indywidualne są zwykle bardzo duże, szczególnie w badaniach opartych na rejestracji rsEEG, czyli EEG w stanie spoczynku. Potencjały wywołane ERP mają typowo amplitudę o rząd wielkości mniejsze niż potencjały EEG. Różnice parametrów potencjałów związanych z procesami uwagi i pamięci u kobiet i mężczyzn są więc bardzo małe. Ostatnio zwraca się coraz większą uwagę na endogenne różnice, a także różnice międzykulturowe, bo większość badań robiona była na dość homogenicznych grupach studentów. W literaturze naukowej jest więc duża rozbieżność interpretacji wyników dotyczących takich procesów.

Rola szerszej grupy czynników zarówno egzogennych, pobudzających układ nerwowy, jak i endogennych, w tym różnic płciowych, jest obecnie znacznie częściej uwzględniana zarówno na poziomie korelatów behawioralnych jak i procesów neuronalnych. Większość badań efektów stymulacji dotyczy zmian behawioralnych obserwowanych w dłuższym terminie, wpływu dużych dawek stymulantów takich jak alkohol czy kofeina na zdrowie, ale dzięki badaniu potencjałów wywołanych można badać bezpośrednio reakcje układu nerwowego. Badania dr Maciejewskiej wpisują się w ten aktualny i ważny trend.

Warsztat naukowy.

Znaczna część opisanych badań prowadzonych w Instytucie Inżynierii Biomedycznej uniwersytetu Śląskiego oraz Dynamic Memory Laboratory w UC Davis, wymagała zaprojektowania i wykonania

eksperymentów z wykorzystaniem zaawansowanej aparatury do akwizycji sygnału EEG, programów do przetwarzania i analizy sygnałów EEG i ERP, oprogramowania do tworzenia eksperymentalnych procedur, perymetru okulistycznego do prezentacji bodźców w polu widzenia, oraz innych urządzeń do generowania bodźców. Wymagało to opracowania własnych skryptów w języku MATLAB i PYTHON do korekcji artefaktów, głębokiego rozumienia zakłóceń ze strony procesów pozaneuronalnych, analizy składowych niezależnych ICA i innych metod. Mierzono też sygnały EKG, określając parametry morfologiczne sygnału EKG oraz wykonując analizę zmienności rytmu serca (HRV). Z technicznego punktu widzenia prawidłowe pomiary i analiza tego typu sygnałów jest naprawdę trudnym zadaniem.

Dr Maciejewska podeszła do tego bardzo metodycznie. Przygotowując swój warsztat badawczy stworzyła wieloaspektowy zestaw uzupełniających się metod by zbadać wpływ czynników wewnętrznych i zewnętrznych na modulację sposobu przetwarzania bodźców przez procesy związane z uwagą i pamięcią. Jej metodyka obejmowała serię analiz miar behawioralnych oraz parametrów sygnałów fizjologicznych, takich jak EKG i analizy HRV, reprezentujących aktywności autonomicznego układu nerwowego. Analiza krytycznej częstotliwości fuzji (CFF) za pomocą perymetru pozwalającego na badanie rozdzielczości czasowej przetwarzania bodźców wzrokowych jest w tego typu badaniach rzadziej stosowana. To dodatkowa informacja o integracji szybkiej stymulacji przez układ wzrokowy i sieci korowe, która może służyć do oceny funkcji poznawczych, wpływu endo i egzogennych czynników na przetwarzanie informacji. Pomiary aktywności elektrycznej mózgu za pomocą EEG i ERP dostarczają bardziej szczegółowych informacji. W ocenianych publikacjach stosowano standardową analizę statystyczną amplitud i latencji potencjałów ERP, nieparametryczną analizę permutacyjną opartej na klastrach w celu określenia charakterystyki czasoprzestrzennej potencjału w określonym oknie czasowym, analizy wielowymiarowych wzorców MVPA, oraz „dekodowanie w celu interpretacji” do klasyfikacji ERP z wykorzystaniem kilku metod klasyfikacji: k-NN, Naiwnego Bayesa NB, lasów losowych RF i SVM. Użycie danych z własnych eksperymentów pozwoliło na pełną kontrolę nad całym procesem analizy.

Ocena głównego osiągnięcia naukowego.

Większość artykułów opiera się na analizie najsilniejszego efektu ERP, jakim jest amplituda i latencja składowej P300. Na tej podstawie wnioskować można o alokacji uwagi, aktualizacji kontekstu w pamięci roboczej, a latencja związana jest z szybkością wykrywania istotnych bodźców. W pierwszym artykule (A1) zastosowano typowy paradygmat „oddball” z prostymi geometrycznymi bodźcami wzrokowymi. Zgodnie z oczekiwaniami amplituda P300 w odpowiedzi na bodźce rzadkie (target) niż tła (standard) była wyższa. Pokazano też istotną różnicę w amplitudzie i latencji składowej P300 między grupą kobiet i mężczyzn, szczególnie w obszarach czołowo-centralnych, centralnych, i centralnopotylicznych lewej półkuli. Asymetria między półkulami była większa u mężczyzn niż u kobiet, czego również

należało się spodziewać. Na rys 1 tej pracy największe różnice wykazuje składowa N400 dla elektrod z lewej półkuli, ale dyskutowany jest tylko składowa P3b. Różnice nie uwidoczniły się w badaniach behawioralnych. Dane z tego samego eksperymentu posłużyły też w pracy A4 do dalszych analiz z użyciem hierarchicznej segmentacji i klasyfikacji ERP. Wydzielono krótkie 50 milisekundowe segmenty do klasyfikacji, największe różnice obserwując w interwałach 300–350 ms i 600–650 ms. Biorąc pod uwagę różnice w czasach latencji, wykres z rys 4 dokładności w zależności od segmentu dla różnych klasyfikatorów, wybór jednego krótkiego segmentu na obszar różnicujący to dość ryzykowne postępowanie. Stabilność tych wyników jest niewielka, w zależności od badanej osoby może wynosić 0 do 100% dla tych samych segmentów i danej metody klasyfikacji. Nie wydaje się, żeby te rezultaty mogły się przydać do klinicznych diagnoz. Miał to być krok w kierunku zrozumienia różnic w przetwarzaniu informacji w mózgach kobiet i mężczyzn, ale samo odróżnienie mężczyzn od kobiet za pomocą analizy ERP do tego nie wystarcza. Przyczyny obserwowanych różnic nie zostały w tych publikacjach przedyskutowane. W autoreferacie są ogólne uwagi o możliwych różnicach morfologicznych w strukturze i organizacji układu nerwowego czy różnicach w alokacji uwagi. Stopień komplikacji procedury badawczej i niewielu badanych pozwala jedynie na stawianie wstępnych hipotez. Warto jednak docenić wysiłki w opracowaniu metodologii takich badań i możliwości ich dalszej kontynuacji.

W pracy A5, wyniku stażu w UC Davis, podjęto próbę rozróżnienia za pomocą analizy potencjałów wywołanych procesów pamięci, polegających na rozpoznaniu czy bodziec jest tylko znajomy (familiar) czy jest związany ze znanym kontekstem, przypomnieniem epizodu. Teoria dwóch procesów pamięci epizodycznej znana jest od 1980 roku. Rozpoznanie dobrze znanych rzeczy nie wymaga przypominania szerszego kontekstu, dlatego zachodzi szybciej i jest łatwiejsze. Rozpoznanie związane jest z aktywacjami przyśrodkowego płata skroniowego i płata czołowego, a przypominanie skorelowane też z obszarami ciemieniowymi. Neuronalne korelaty pamięci epizodycznej zależą od hipokampa, kory okołowężowej i sieci skroniowo-czołowych.

Pomimo wielu publikacji z użyciem ERP brakowało badań pokazujących indywidualne różnice ocen behawioralnych z neuronalnymi korelatami tych procesów. W badaniach opisanych w pracy A5 brało udział 26 kobiet i 12 mężczyzn. Wyniki testów pamięci, czyli rozpoznawania znanych od nowych bodźców pokazują różnice amplitud komponentów typu N400 w oknie około 300–500 ms. To jest interpretowane jako korelat poczucia znajomości, czyli „widzę to kolejny raz”. Istotne różnice między przebiegami ERP dla tego testu były widoczne w dwóch oknach czasowych około 250 do 450 ms w obszarach czołowych i czołowo-centralnych na powierzchni głowy, oraz od około 500 do 600 ms w obszarach centralnych, środkowo-ciemieniowych i czołowo-centralnych po stronie prawej. W testach przypominania też były takie klastry czasoprzestrzenne, od około 250 do 450 ms o rozległej topografii, oraz drugi klaster w okolicach centro-ciemieniowych w oknie czasowym 550 do 700 ms. Taka składowa jest

zwykle identyfikowana jako LPC, późna składowa dodatnia, ale w dyskusji autorzy się do tego nie odwołują. Wyniki tych badań podważają ogólne przekonanie, że efekty rozpoznania są przed przypominaniem, bo w jednym i drugim przypadku dało się wyróżnić dwa klastry w podobnych okienkach czasowych. Również analizy korelacji między przebiegami ERP a miarami behawioralnymi na poziomie indywidualnych różnic dla rozpoznania znajomości (familiarity) pokazały istotny klaster w czasie 500 do 550 ms w prawym obszarze centralnym i środkowo-ciemieniowym, a w przypadku przypominania rozległy klaster od ok. 600 do 650 ms w obszarach centralnych i czołowo-centralnych. Te procesy trwają na tyle długo, że możliwa jest między nimi interferencja.

Druga grupa prac A2-A3 i A6-A8 odnosi się do wpływu czynników egzogennych. Użyto wieloskładnikowego suplementu pobudzającego o małej ilości kofeiny, oraz wysiłku fizycznego o submaksymalnym natężeniu. Efekty badano stosując metodę podwójnej ślepej próby, wykonując pomiary rsEEG i ERP, jak i analizując EKG w różnych stanach pobudzenia. To ciekawe, profesjonalnie przeprowadzone eksperymenty pomagające ocenić rzeczywiste oddziaływanie suplementów na organizm. Latencja składowej P300 w grupie placebo była po 30 minutach (seria 2) większa, a w grupie badawczej niższa niż w pozostałych seriach. Rosły również średnie amplitudy. To oznacza większy wysiłek, użycie więcej zasobów poznawczych. Przy reakcjach na 250 bodźców może to wynikać ze zmęczenia, ale by to dobrze uzasadnić warto porównać zmiany w początkowych i końcowych próbach, czego nie przedstawiono. Rys. 6 autoreferatu zawiera błędy i jest niewłaściwie opisany. Rys. 7 pokazuje średnią dokładność dekodowania ERP za pomocą MVPA. Ma to uzasadnić zahamowanie wzrostu amplitudy ERP w okolicach 500 ms. Wyniki wyglądają na wiarygodne, ale taki spadek amplitudy na bardzo krótki czas, 50 do 100 ms, jest zaskakujący i może być wynikiem zbyt małej liczby badanych.

Rozszerzona analiza była kontynuowana w pracy A6 z Neuroscience. Badani mieli oczy otwarte lub zamknięte w czasie pomiaru rs EEG trwającego 5 min, oraz 3 bloki bodźców, wzrokowych, słuchowych i ruchowych (szybkie naciskanie przycisku). Dodano też test matematyczny i test Stroopa. Kończącą konkluzją tej pracy jest stwierdzenie, że małe ilości kofeiny w suplementach nie tyle stymulują co odsuwają moment zmęczenia. Praca A7 dodała do tych rezultatów pomiary EKG. Różnica w parametrach mocy EKG przed i 30 min po suplementacji, oceniana przez znormalizowaną moc dla niskiej częstotliwości (nLF) i stosunek LF/HF, jest silnie skorelowana z różnicą mocy rsEEG między pomiarami przed i 90 min po suplementacji (seria badań początkowych i końcowych), a szczególnie w przypadku placebo i zamkniętych oczu.

W najnowszym artykule A8 "Decoding event-related potentials: single-dose energy dietary supplement acts on earlier brain processes than we thought" autorka napisała, że znaczenie jej pracy „polega na wykazaniu, że już pojedyncza dawka suplementu diety zawierającego znacznie mniej kofeiny niż filiżanka kawy zmienia fizjologię mózgu w stanie zmęczenia psychicznego” i że ta informacja może się

przydać w badaniu patofizjologii w zastosowaniach klinicznych. Ta hipoteza jest jednak dyskusyjna, bo może to być znany w psychologii efekt Hawthorne: sama świadomość otrzymania placebo i uczestnictwa w eksperymencie może na pewien czas zmienić zachowanie i wzmocnić uwagę, może to być proces endogenne, więc wzrost amplitud ERP nie musi oznaczać bezpośredniego działania składnika suplementu. Liczne korelacje opisane w tych publikacjach jak i ich brak wymagają z pewnością dalszego dokładniejszego zbadania. Klasyfikator SVM użyty w artykułach A4 i A8 korzystał z wielomianowego kernela nieokreślonego stopnia i wypadł słabo. Biorąc pod uwagę lepsze wyniki Naiwnego Bayesa warto było dopasować kernel Gaussowski, ale w publikacjach nie podano takich wyników.

W pracy A3 zastosowano odmienne podejście by zbadać wpływ wysiłku fizycznego na przetwarzanie bodźców wzrokowych, które docierają do człowieka z otoczenia. Perymetr pozwolił na zbadanie krytycznej częstotliwości fuzji (CFF) w różnych częściach pola widzenia. Wzrost CFF bezpośrednio po treningu w porównaniu z wartością początkową może wynikać z lepszego ukrwienia po wysiłku, które podnosi ciśnienie. Utrzymanie wyższego CFF po 30-minutowej przerwie już nie jest takie oczywiste. Większe efekty w centrum siatkówki, a nie w obszarze peryferyjnym, gdzie koncentrują się pręciki, jest też interesujące i może wskazywać na większą sprawność i szybszą synchronizację sieci wzrokowych. Skoro efekty utrzymuje się dość długo można to zbadać za pomocą EEG.

Pewną wadą tych wszystkich badań jest ich niewielka liczba uczestników. W części prac było to 20 osób (połowa to kobiety), a w części 47 (z tego 27 to kobiety) lub nieco mniej. Jednak niewiele tego typu badań prowadzi się z udziałem dużej liczby uczestników. Jest to zrozumiałe, bo pomiary EEG zajmują dużo czasu, a w opisanych badaniach niektóre trwały długo. Biorąc pod uwagę heterogeniczność mózgów i subtelne różnice obserwowanych efektów dobrym pomysłem była analiza danych indywidualnych osób, dekodowanie dla interpretacji, a nie tylko uśrednione wyniki dla całej podgrupy. Habilitantka starała się zwiększyć czułość stosowanych procedur, ale w efekcie optymalizacja wielu parametrów dla każdej badanej osoby też przyczynia się do niepewności interpretacji. Wyniki można więc traktować jako hipotezę wstępnie wspartą danymi, nie jako mocno ugruntowany fakt. Konkluzje artykułów to zresztą podkreślają.

W mojej ocenie niewiele mamy w Polsce laboratoriów, w których badania różnic indywidualnych i wpływu zewnętrznych stymulacji na zachowanie i procesy neuronalne zostały tak dobrze przeprowadzone.

Pozostała działalność badawcza.

Poza cyklem 8 prac dr Maciejewska opublikowała 18 artykułów naukowych i rozdziałów w monografii dotyczących fizyki medycznej, w takich czasopismach jak BioFactor, Photochemistry and photobiology, Journal of fluorescence, Computer Methods and Programs in Biomedicine. Obecna działalność

jest więc znaczną zmianą obszaru zainteresowań, świadczącą o samodzielnych planach badawczych. Od 2024 kieruje grupą badawczą „Sygnały biomedyczne w neuronauce - badanie funkcjonowania mózgu i ciała” w Instytucie Inżynierii Biomedycznej na Wydziale Nauk Ścisłych i Technicznych Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach. Od października 2025 kieruje też stworzonym przez siebie nowym laboratorium „NeuroLab – Laboratorium Neuroinżynierii i Neuronauki” w tym samym Instytucie, planując badania dotyczące mobilnego obrazowania mózgu i ciała (MoBI) w warunkach pozalaboratoryjnych.

Dr Maciejewska występowała na 17 konferencjach naukowych, z czego 11 po doktoracie, wygłaszając 8 wykładów na zaproszenie. Kierowała jednym grantem Miniatura NCN, a obecnie kieruje projektem MNiSW „Badanie procesu uwagi za pomocą EEG z wykorzystaniem mobilnego pomiaru aktywności mózgu w środowisku wirtualnej rzeczywistości (VR)”. Jest członkiem dwóch międzynarodowych organizacji FENS i IBRO zajmujących się badaniami mózgu, oraz 4 organizacji krajowych PTIB, PTBUN, PTF i PTFM.

Pełniła rolę promotora pomocniczego w zakończonym w 2020 roku przewodzie doktorskim i w trwającym od 2023 projekcie doktorskim. Prowadzi liczne zajęcia dydaktyczne na 4 kierunkach studiów, prowadziła zajęcia z ponad 30 modułów, koordynatora ponad 20 modułów z nich na 4 kierunkach studiów:: inżynierii biomedycznej, fizyki medycznej, kognitywistyki i komunikacji cyfrowej. Była promotorką prac inżynierskich i magisterskich. Recenzowała liczne prace naukowe dla wielu specjalistycznych czasopism. Współpracowała ze Śląskim Centrum Telemedycyny Sp. z o.o., Kardiotele przy Śląskim Centrum Chorób Serca w Zabrzu (2006), z specjalistycznymi szpitalami (dwa Centra Onkologii, ochrona radiologiczna). Jest też od wielu lat opiekunem praktyk zawodowych studentów fizyki medycznej. Wszystkie jej działania są dobrze udokumentowane w 110 załącznikach!

Dane bibliometryczne 8 prac stanowiących podstawę habilitacji to 890 pkt ministerialnych i sumaryczny impact factor około 17. Cytowania nie są jeszcze zbyt liczne, 31 wg Scopus (20 bez autocytowań), 28 wg WoS (20 bez autocytowań), oraz 42 cytowania wg Google Scholar (35 bez autocytowań). To dane przygotowane przez Uniwersytet Śląski, ale obecnie Google Scholar pokazuje już 173 cytowania, więc widać duży wzrost w ostatnim roku.

Konkluzja

Żadna z publikacji dr Maciejewskiej nie zdobyła jeszcze szerokiego uznania, ale nie jest to łatwe w przypadku badań eksperymentalnych, bo wykonanie podobnych badań wymaga odpowiedniego sprzętu, prowadzenie pomiarów przez wiele miesięcy, oraz opanowania skomplikowanej metodologii analizy takich eksperymentów. Nie mam wątpliwości, że habilitantka wykazał się dużą inwencją w pracy badawczej w wyjątkowo trudnej dziedzinie inżynierii biomedycznej, wymagające szerokiej

interdyscyplinarnej wiedzy. Jej publikacje są na wysokim poziomie dowodząc, że ma już odpowiednie kwalifikacje do samodzielnej pracy naukowo-badawczej.

Przedstawiony mi do oceny materiał uważam więc za w pełni wystarczający by spełnić ustawowe i zwyczajowe wymagania dotyczące nadania dr Maciejewskiej stopnia doktora habilitowanego. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

A handwritten signature in blue ink, reading "Piotr Dziel". The signature is fluid and cursive, with the first name "Piotr" and the last name "Dziel" clearly distinguishable.

Toruń, 19.06.2026