

Autoreferat

dra inż. Szczepana Paszkiel

orcid.org/0000-0002-4917-5712

Opole, 2021

Sz. Paszkiel

2. Posiadane dyplomy

1. Doktor nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka

Dyplom z wyróżnieniem

Podmiot nadający: Politechnika Opolska Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Rok uzyskania: 2011, tytuł rozprawy: *Zastosowanie modeli populacyjnych w interfejsach mózg-komputer.*

Promotor: prof. dr hab. inż. Dariusz Zmarzły

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Jerzy Świątek, prof. dr hab. inż. Ryszard Rojek

2. Magister inżynier informatyk

Dyplom z wyróżnieniem

Podmiot nadający: Politechnika Opolska Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Rok uzyskania: 2007, tytuł pracy: *Analiza sygnałów myślowych i wpływ artefaktów na sterowanie komputerem.*

Promotor: prof. dr hab. inż. Dariusz Zmarzły

Recenzent: prof. dr hab. inż. Tomasz Boczar

3. Inżynier zarządzania i inżynierii produkcji

Drugi kierunek studiów

Podmiot nadający: Politechnika Opolska Wydział Zarządzania i inżynierii produkcji

Rok uzyskania: 2009

Promotor: dr inż. Janusz Wielki

4. Technik elektronik

Specjalność: systemy komputerowe

Podmiot nadający: Technikum Elektryczne w Skarżysku-Kamiennej

Rok uzyskania: 2003

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1. Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Katedra Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej

01.09.2020 – do obecnie, stanowisko: adiunkt.

Kierownik Katedry: dr hab. inż. Sebastian Borucki

2. Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej

Katedra Inżynierii Biomedycznej

07.2016 – 30.08.2020, stanowisko: adiunkt.

Dyrektor Instytutu: prof. dr hab. inż. Dariusz Zmarzły

3. Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Instytut Automatyki i Informatyki

Katedra Automatyki i Systemów Informatycznych

07.2012 – 06.2016, stanowisko: adiunkt.

Dyrektor Instytutu: prof. dr hab. inż. Ryszard Rojek

4. Politechnika Opolska

Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki

Instytut Automatyki i Informatyki

Katedra Informatyki

07.2011 – 06.2012, stanowisko: asystent.

Dyrektor Instytutu: prof. dr hab. inż. Ryszard Rojek

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy

Działalność naukowo-badawcza kandydata od początku pracy zawodowej koncentruje się wokół zagadnień automatyki i robotyki, a w szczególności dotyczy problematyki związanej z technologią interfejsów mózg-komputer, w tym analizy sygnałów EEG na potrzeby realizacji procesów sterowania.

Po ukończeniu w 2007 roku studiów magisterskich na kierunku informatyka na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, w roku 2007 kandydat podjął studia doktoranckie w dyscyplinie automatyka i robotyka. Rozprawę doktorską obronił z wyróżnieniem w 2011 roku, a następnie podjął pracę na stanowisku asystenta na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Począwszy od roku 2011 po obronie pracy doktorskiej realizuje: **„Prace w zakresie rozwoju technologii interfejsów mózg-komputer na potrzeby sterowania obiektami rzeczywistymi oraz wirtualnymi z uwzględnieniem wyobrażenia ruchu (motor imagery).”**. Realizowane prace badawcze od początku aktywności zawodowej kandydata zaowocowały: 1 autorską monografią naukową indexowaną na Web of Sciences; 103 publikacjami (w tym 6 artykułami naukowymi w czasopismach ze współczynnikiem **Impact Factor**); 15 rozdziałami w monografiach naukowych, w tym indexowanymi na WoS; 1 podręcznikiem akademickim oraz 50 wystąpieniami na konferencjach naukowych, w tym międzynarodowych we **Francji** (International Decoder workshop on Brain-Computer Interfaces, 2012) oraz **Słowacji** (16th IFAC International Conference PDeS – Programmable Devices and Embedded Systems, 2019). W roku 2020 uczestniczył on-line jako Członek Komitetu programowanego m. in. w konferencji: **International Symposium on Automation, Information and Computing ISAIC 2020, Beijing, China**. Kandydat jest także redaktorem 3 monografii naukowych, w tym 2 indexowanych na Web of Sciences. Na podkreślenie w zakresie działalności naukowej kandydata zasługuje również fakt uczestnictwa w 170 zespołach oceniających wnioski (powoływanych m. in. przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju) o **finansowanie badań naukowych oraz prac rozwojowych w konkursach międzynarodowych** (m. in. **Polska-Chiny, Polska-Turcja, Polska-Izrael, Game Inn**) oraz ogólnokrajowych (m. in. TANGO, Polska Cyfrowa, INNOMOTO, POIR Małe projekty, Szybka Ścieżka). Od roku 2018 kandydat pełni rolę **Przedstawiciela NCBR**, mając bezpośredni wpływ na finansowanie badań przemysłowych i prac rozwojowych m. in. w zakresie rozwiązań w dyscyplinie automatyka i robotyka. Kandydat jest także członkiem Rad recenzentów w kilku czasopismach o współczynniku **IF**, w tym: Brain Sciences (**IF=3,3302**)

oraz Journal of Integrative Neuroscience (IF=1,193). Łączna liczba recenzji artykułów naukowych wykonana przez kandydata to 73 dla 22 różnych czasopism, w tym 13 czasopism z współczynnikiem Impact Factor. Index Hirsha według bazy Scopus kandydata na styczeń 2021 wynosi H=4 (48 cytowań); według bazy Web of Sciences: H=3 (32 cytowania). Kandydat wypromował łącznie 119 dyplomantów.

Istotne dla rozwoju naukowego, w tym dla wymiany wiedzy i doświadczenia kandydata było także zorganizowanie czterech edycji konferencji naukowych, w tym dwóch międzynarodowych z tematyki interfejsów mózg-komputer (IC BCI Opole: www.bci.po.opole.pl). Komitet naukowy konferencji to kilkudziesięciu Profesorów z zakresu nauk inżynierjno-technicznych, medycznych i nauk o zdrowiu oraz humanistycznych.

Jako osiągnięcie naukowe o którym mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym przedstawiony został cykl powiązanych tematycznie publikacji (Załącznik A), w tym: jedno autorska monografia naukowa pt.: „Analysis and Classification of EEG Signals for Brain-Computer Interfaces”. Tytuł serii wydawniczej w której została wydana to: Studies in Computational Intelligence, Series Volume 852. Monografię wydała grupa wydawnicza Springer Nature w roku 2020. Monografia indexowana jest m. in. w Web of Science oraz Scopus i składa się ze 132 stron. Recenzentem opracowania był prof. dr hab. inż. Janusz Kacprzyk (Sieć Badawcza Łukasiewicz - Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Warszawa). Ponadto jako uzupełnienie ww. monografii naukowej przedstawione zostały publikacje naukowe stanowiące o dorobku naukowym w zakresie: opracowania autorskiego systemu bazującego na technologii mózg-komputer w zastosowaniu do obrazowania motorycznego (motor imagery) [Publikacja: Brain-computer technology based training system in the field of motor imagery, IET Science Measurement and Technology, 2021, IF=1,975]; wpływu dźwięków na poziom stresu mierzonego m. in. na bazie wykorzystania elektroencefalografii, co stanowi wstęp do implementacji dodatkowej stymulacji dźwiękowej na potrzeby wspomagania realizacji procesów sterowania [Publikacja: The Impact of Different Sounds on Stress Level in the Context of the EEG, Cardiac Measures and Subjective Stress Level: A Pilot Study, Brain Sciences, 2020, IF=3,332]; zastosowania algorytmu genetycznego i charakterystyk spektralnych, jako metody doboru parametrów do jednokolumnowego modelu Jansena-Rita, celem wykorzystania w technologii mózg-komputer [Publikacja: A method to obtain parameters of one-column Jansen-Rit model using genetic algorithm and spectral characteristics, Applied Sciences, 2021, IF=2,474]; zastosowania konwolucyjnych sieci neuronowych w zakresie klasyfikacji wyobrażenia ruchu (motor imagery) [Publikacja: The

use of multilayer ConvNets for the purposes of motor imagery classification, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer 2021, indexowana na WoS]; aplikacyjnego zastosowania technologii mózg-komputer do procesu modelowania 3D [Publikacja: Using Brain-Computer Interface technology for modeling 3D objects in Blender software, *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems* 2020, indexowana w Scopus, 40 pkt. 2.0] oraz zastosowania mimiki twarzy w kontekście realizacji sterowania pojazdem mobilnym na bazie maszyny stanów [Publikacja: The use of facial expressions identified from the level of the EEG signal for controlling a mobile vehicle based on a State Machine, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, 2020, indexowana na WoS].

Opracowanie monograficzne podzielone jest na 14 rozdziałów i stanowi zbiór informacji w zakresie autorskiego rozwoju technologii mózg-komputer (BCI), ze szczególnym uwzględnieniem metod-narzędzi akwizycji i analizy danych jakie są używane w zakresie identyfikacji technicznej pracy ludzkiego mózgu. Tematyka poszczególnych rozdziałów dotyczy m. in. połączenia technologii BCI z wieloma rozwiązaniami, które to są aktualne ze względu na obserwowane trendy technologiczne, w tym m. in.: uczenie maszynowe, głębokie uczenie, rozszerzona rzeczywistość, wirtualna rzeczywistość, neurogaming, środowisko Unity, Internet rzeczy - IoT. Ze względu na wyposażenie Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych działającego na Politechnice Opolskiej autor skupił się na implementacji elektroencefalografii jako fundamentalnej metody w pomiarach na potrzeby rozwoju technologii BCI. W tym celu wykorzystano urządzenia firmy Emotiv, w tym: Emotiv EPOC+ NeuroHeadset, Emotiv EPOC Flex oraz NeurkoSky MindWave Mobile.

Pierwszy rozdział monografii stanowi wprowadzenie do opracowania, gdzie autor przedstawił w skrócie zawartość poszczególnych części pracy. W **rozdziale drugim** monografii autor opisał metody akwizycji danych pracy ludzkiego mózgu, w tym elektroencefalografię. Scharakteryzowany został sygnał EEG oraz artefakty w sygnale EEG. Wyodrębniono zakresy fal elektroencefalograficznych ze szczególnym podkreśleniem istoty ich występowania. Przedstawiony został podział na artefakty generowane przez organizm człowieka, jak także sprzęt go otaczający, co było również przedmiotem weryfikacji podczas prowadzonych badań. Ponadto autor przedstawił podrozdział dotyczący: magnetoencefalografii; funkcjonalnego obrazowania metodą rezonansu magnetycznego; metody PET (Positron Emission Tomography) podczas której rejestruje się promieniowanie powstające podczas anihilacji pozytonów oraz NIRS (Near Infrared Spectroscopy), czyli

techniki wizualizacji aktywności mózgu polegającej na przepuszczeniu promieni lasera przez czaszkę.

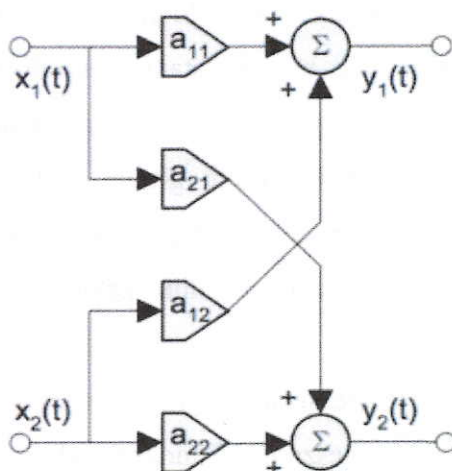
Rozdział trzeci monografii omawia obecnie dostępne rozwiązania w ramach technologii mózg-komputer. Omówiono szczegółowo wykorzystywaną w ramach prowadzonych badań metodę nieinwazyjną pomiaru. Przedstawiono, iż z fizycznego punktu widzenia mózg jest urządzeniem elektrycznym wytwarzającym podczas jego pracy prądy elektrycznie zmienne w obszarach zarówno częstotliwości jak również amplitud. Porównano urządzenia wiodących producentów sprzętu w zakresie rozwiązań BCI (Brain-Computer Interface), w tym przedstawiono te wykorzystane do prac badawczych.

Rozdział czwarty przedstawia wykorzystanie pseudoinwersji Moore-Penrose na potrzeby rekonstrukcji sygnału EEG. Sygnał EEG, który uzyskujemy w wyniku akwizycji za pomocą elektrod umieszczonych na powierzchni głowy osoby badanej podlega procesom weryfikacji i klasyfikacji. Często jednak istotne jest określenie źródła sygnału w mózgu człowieka, a tym samym wyodrębnienie w nim zakłóceń. Techniki eliminacji takich artefaktów jest wiele, w tym między innymi podejście bazujące na BSS (Blind Signal Separation), w którym to realizuje się separację nieznaną sygnałów przy jednoczesnym braku informacji o sposobie ich zmieszania. Fundamentalnym założeniem wykorzystania pseudoinwersji Moore-Penrose w rekonstrukcji sygnału EEG, jest możliwość identyfikacji lokacji – obszaru w mózgu z którego to pochodzi dany sygnał. Problem ślepej separacji źródeł jest mocno popularyzowany w ostatnim dziesięcioleciu. Szczególnie zasadne jest przytoczenie w tym miejscu nazwisk następujących badaczy: Jutten oraz Héroult (1991); Comon (1994) i Sejnowski (1995). Obecnie problem BSS obejmuje szeroki zakres zastosowań. Wykorzystywany jest do przetwarzania obrazów, analizy danych geofizycznych, analizy sygnałów biomedycznych takich jak: elektroencefalograficznych, elektrokardiograficznych, magnetoencefalograficznych etc., a także analizy mowy. Biorąc pod uwagę kwestię analizy sygnałów elektroencefalograficznych, szczególnie w zakresie eliminacji artefaktów istotne są prace: Fitzgibbon et al. (2007); Frishkoff et al. (2007); Halder et al. (2007); Vorobyov and Cichocki (2002). Analizując najprostszy przypadek, sygnał obserwowany $y(t)$, jest liniową kombinacją nieznaną statystycznie sygnałów od siebie niezależnych $x(t)$, co można wyrazić wzorem (1), gdzie: a_{ij} to współczynnik mieszania; $x_j(t)$ – sygnał wejściowy, $y_i(t)$ – sygnał i -tego pomiaru.

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j(t) \quad (1)$$

W przypadku analizy opartej na BSS istnieje możliwość pojawienia się pojedynczych sygnałów w niekoniecznie takiej kolejności w jakiej występowały sygnały źródłowe. Dlatego też zadanie separacji polega na uzyskaniu oryginalnych sygnałów źródłowych, ale mogących występować w innej kolejności niż sygnały źródłowe. Na rysunku 1 przedstawiono schemat przypadku mieszania sygnałów w oparciu o zapis matematyczny (2).

$$\begin{aligned} y_1(t) &= a_{11}x_1(t) + a_{12}x_2(t) \\ y_2(t) &= a_{22}x_2(t) + a_{21}x_1(t) \end{aligned} \quad (2)$$



Rys. 1. Mieszanie sygnałów wejściowych $x_1(t)$ oraz $x_2(t)$.

Na potrzeby należytej identyfikacji źródeł sygnałów, która jest niezmiernie ważna z punktu widzenia prowadzonych pomiarów, konieczne jest prawidłowe przedstawienie matematyczne wyżej wymienionych źródeł jak i sygnałów odczytywanych na powierzchni głowy oraz użycie wysoce wyspecjalizowanych narzędzi w celu eliminacji tych składowych sygnałów, które są artefaktami. Zostało to potwierdzone w przeprowadzonych badaniach z których to wynika, że sygnał EEG można poddawać analizie przy pomocy pseudoinwersji Moore-Penrose. Dla przykładu system opisany jest za pomocą równania (3), gdzie \vec{x}, \vec{b} to wektory, natomiast A to macierz. Zarówno A jak i \vec{b} są znane. Szukany jest natomiast wektor \vec{x} .

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (3)$$

Równanie (3) przekształcamy z postaci wektorowej na postać algebraiczną (4).

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_n \quad (4)$$

Następnie na bazie równań (4) możemy zdefiniować zapis macierzowy (5).

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ b_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

Zapis macierzowy (5) jest prawdziwy dla $m > n$.

$$[A]^T [A][x] = [A]^T [b] \quad (6)$$

Po przekształceniu równania (6), poprzez przeniesienie macierzy A oraz macierzy transponowanej A^T na prawą stronę uzyskujemy X równe (7). W tym celu musimy dokonać inwersji iloczynu macierzy $(A^T A)^{-1}$, następnie macierz wynikowa jest mnożona przez macierz transponowaną A^T oraz macierz b.

$$[X] = ([A]^T [A])^{-1} [A]^T [b] \quad (7)$$

Zapis $(A^T A)^{-1} A^T$ określa pseudoodwrotność (left-inverse) zapisaną jako A^+ (8). Pseudoodwrotność została opracowana niezależnie przez dwóch naukowców Moore'a E. H. oraz Penrose'a R.

$$[X] = [A]^+ [b] \quad (8)$$

W celu aproksymacji równania (1) przy użyciu pseudoinwersji, można określić zależność (9).

$$A^+ A \vec{x} \approx A^+ \vec{b} \quad (9)$$

Z czego wynika wniosek (10).

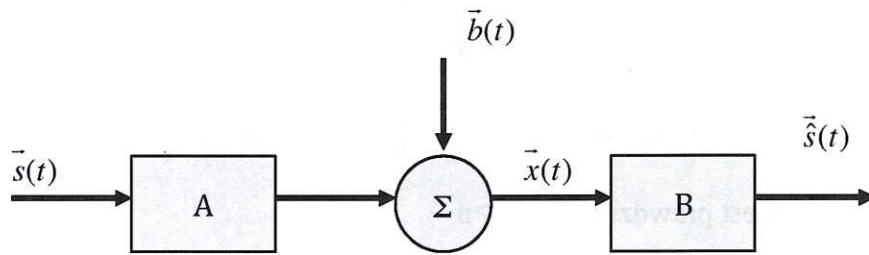
$$\vec{x} \approx A^+ \vec{b} \quad (10)$$

Aby w sposób dokładny zrealizować proces ślepej separacji sygnałów konieczne jest użycie w tym celu statystyk drugiego rzędu – Secound Order Statistic (np.: AMUSE, SOBI, EVD etc.), warto przy tym jednak pamiętać, że komponenty powinny być względem siebie nie skorelowane. Wektor sygnałów mierzonych możemy zdefiniować za pomocą równania (11).

$$\vec{x}(t) = A \vec{s}(t) + \vec{b}(t) \quad (11)$$

, gdzie A – macierz mieszająca; $\vec{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)]^T$ – sygnał obserwowany na powierzchni głowy, $\vec{s}(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)]^T$ – nieznaną przebieg czasowy źródła, składający się z określonych komponentów; $\vec{b}(t) = [b_1(t), b_2(t), \dots, b_m(t)]^T$ – nieznaną sygnał zakłócający – szum. Założenie polega na oszacowaniu co najmniej tylu źródeł ile jest

dostępnych w danej chwili czasu czujników pomiarowych. Rysunek 2 przedstawia model liniowy procesu mieszania sygnałów elektroencefalograficznych.



Rys. 2. Model liniowy mieszania sygnałów EEG wraz z estymacją

Warto zaznaczyć, że pomiar sygnału EEG, który zapisujemy jako wektor $\vec{x}(t)$ jest liniowym połączeniem – mieszaniną sygnałów źródłowych zapisanych w postaci wektora $\vec{s}(t)$. W przypadku problemu BSS, często opuszczamy wartość $\vec{b}(t)$, otrzymując (12).

$$\vec{x}(t) = A\vec{s}(t) \quad (12)$$

, po dalszych przekształceniach uzyskujemy szacunkową wartość wektora $\vec{\hat{s}}(t)$ (13):

$$\vec{\hat{s}}(t) = B^T \vec{x}(t) \quad (13)$$

, gdzie: B^T - macierz separująca – demixing. Wartość estymowana wektora $\vec{\hat{s}}(t)$ równa jest (14).

$$\vec{\hat{s}}(t) = \vartheta \vec{s}(t) \quad (14)$$

, gdzie:

$$\vartheta = B^T A \quad (15)$$

Pomiędzy macierzą A, a macierzą transponowaną B, zachodzi korelacja w oparciu o pseudoinwersję Moore-Penrose (16).

$$A = (B^T)^+ \quad (16)$$

Rozdział piąty opisuje wykorzystanie metody LORETA do lokalizacji źródeł sygnału EEG na potrzeby technologii interfejsów mózg-komputer. Odpowiednia lokalizacja źródła powstawania danego sygnału może być pomocna do budowy precyzyjnych interfejsów mózg-komputer. Problem odwrotny inaczej nazywany zagadnieniem odwrotnym jest często spotykany w zakresie nauk technicznych. Występuje on wówczas, gdy niektóre parametry danego modelu muszą być wyznaczone na podstawie wartości, które są obserwowalne. W przypadku badania elektroencefalograficznego jest to sygnał mierzony na powierzchni głowy

na bazie informacji powstałej w konkretnym jego źródle w postaci aktywności komórek nerwowych i ich wzajemnych korelacji. Zakładając, że $\Omega(t)$ to zbiór aktywnych dipoli źródeł sygnałów, można określić potencjały mierzone na powierzchni głowy jako (17):

$$x(t) = \sum_{i \in \Omega(t)} K_i j_i(t) \quad (17)$$

, gdzie: i – i -ta lokalizacja dipoli w oparciu o przestrzeń trójwymiarową: x, y, z , natomiast $x(t) = (x_1(t), \dots, x_N(t))^T$ to wektor danych z N elektrod pomiarowych pobrany w chwili czasu t , K – liczba macierzy/wystąpień danego zbioru, $j(t)$ – wektor szacowany. Dipol charakteryzuje się zmienną amplitudą i stałą orientacją.

$$K_q = (k_{q(x)}, k_{q(y)}, k_{q(z)}), K = (K_1, \dots, K_Q) \quad (18)$$

Ostatecznie występujący podczas pomiaru problem jesteśmy w stanie zapisać za pomocą równania liniowego (19):

$$x(t) = Kj(t) \quad (19)$$

, gdzie:

$$j = (j_1^T, \dots, j_Q^T)^T, j_q = (j_{q(x)}, j_{q(y)}, j_{q(z)})^T \\ q \in \{1, \dots, Q\} \quad (20)$$

Podstawową zasadą podczas budowy interfejsów mózg-komputer jest odpowiednia obserwacja i akwizycja danych odczytywanych z powierzchni głowy. Podczas tej operacji konieczne jest zlokalizowanie źródeł potencjałów w mózgu człowieka. Mamy wówczas do czynienia z problemem odwrotnym (ang. inverse problem), na potrzeby którego definiujemy wektor $j(t)$:

$$j(t) = T^T x(t) \quad (21)$$

, gdzie:

$$T^T = (T_1, \dots, T_Q)^T \quad (22)$$

, Q – ilość wokseli w przestrzeni korowej, $x(t)$ – potencjały mierzone na powierzchni głowy, $j(t)$ – szacowany wektor na potrzeby problemu odwrotnego. Voksel jest elementem objętości w przestrzeni mózgu, na którym to przyjmujemy stałą wartość dotyczącą gęstości i kierunku prądu, który przez niego przepływa. T^T jest inwersją macierzy K . Na potrzeby przeprowadzonego eksperymentu dokonano, charakterystyki metody LORETA. Można wyróżnić trzy rodzaje technik LORETA do obrazowania pracy mózgu – weryfikacji źródeł sygnałów w nim powstających: LORETA, sLORETA (ang. standardized LORETA), eLORETA (ang. exact LORETA). sLORETA cechuje się niską rozdzielczością przestrzenną, która maleje wraz ze zmniejszaniem poziomów identyfikacji. Unikalna cecha metody

sLORETA to fakt wysokiej dokładności źródeł punktowych w warunkach idealnych. eLORETA to metoda powstała na Uniwersytecie w Zurichu, rozszerzona została o metody quasi liniowe, dzięki czemu ma być możliwe zachowanie zerowej ilości błędów lokalizacji. Nie mniej jednak jak wynika z badań metoda sLORETA cechuje się większą dokładnością w aspekcie uwzględnienia artefaktów biologicznych niż eLORETA. Główna oryginalna macierz transformacji dla sLORETA, czyli standaryzowanej tomografii niskiej rozdzielczości to (23):

$$Z = (KK^T + \alpha H)^+ \quad (23)$$

, gdzie: $Z \in R^{N \times V}$ i jest symetryczne. H – centering matrix. α – współczynnik, dzięki któremu zwiększamy odporność na zakłócenia. $\Gamma_q(t)$ definiuje poniższa zależność (5.8) przy założeniu, że $q \in \{1, \dots, Q\}$.

$$\gamma_q(t) = j_q^T(t) [T^T K]_q^{-1} j_q(t) \quad (24)$$

, gdzie: $[T^T K]_q$ to macierz diagonalna o wymiarach 3×3 , T^T to minimalna norma macierzy transponowanej. Dzięki zastosowaniu metody sLORETA możliwe jest odseparowanie równocześnie aktywnych źródeł sygnału EEG. Metoda eLORETA opiera się na korelacji przekątnej macierzy z jej wagami. Technikę eLORETA definiuje poniższa zależność (25) w której $q \in \{1, \dots, Q\}$.

$$\Theta_q^{-1} = [K_q^T (K\Theta^{-1}K^T + \alpha H)^+ K_q^T]^{1/2} \quad (25)$$

Problem eLORETA opiera się na optymalizacji w oparciu o zapis (26):

$$\min_{\Theta} \|I - [\Theta^{-1}K^T (K\Theta^{-1}K^T + \alpha H)^+ K\Theta^{-1}]\|_F^2 \quad (26)$$

, którą spełnia następująca zależność (27), gdzie $q \in \{1, \dots, Q\}$

$$\Theta_Q^2 = K_q^T (K\Theta^{-1}K^T + \alpha H)^+ K_q \quad (27)$$

Θ określamy jako macierz (28).

$$\Theta^{-1} = \begin{bmatrix} \Theta_1^{-1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \Theta_Q^{-1} \end{bmatrix} \quad (28)$$

Dane do eksperymentu zostały pobrane w Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej. Pięć osób (średnia wieku 22 lata) na których dokonywany był pomiar znajdowało się w pozycji siedzącej – szczegółowy opis grupy badanej przedstawiono w monografii. W ramach przedstawionego eksperymentu dowiedziono, iż możliwe jest wykorzystanie metody LORETA do lokalizacji źródeł sygnału EEG na potrzeby technologii interfejsów mózg-komputer.

Rozdział szósty przedstawia zagadnienia dotyczące analizy danych pracy ludzkiego mózgu przy pomocy wykorzystania jednego z narzędzi informatycznym jakim jest środowisko MATrix LABORatory, ze szczególnym uwzględnieniem toolboxa EEGLab. Ponadto na potrzeby prowadzonych prac badawczych wykorzystane zostało środowisko Emotiv Xavier TestBench, z którego to pobrane dane biomedyczne autor wykorzystał do dalszej obróbki. Format danych (*.edf) obsługuje Toolbox EEGLAB. W wyniku przeprowadzonych analiz potwierdzono między innymi, iż filtr pasmowo-przepustowy jest adekwatnym narzędziem do filtracji artefaktów występujących w sygnale elektroencefalograficznym.

W **rozdziale siódmym** monografii autor przedstawił możliwość wykorzystania sieci neuronowych na potrzeby klasyfikacji zmian w sygnale EEG w oparciu o mimikę twarzy. Scharakteryzowany został problem uczenia maszynowego, w tym uczenia głębokiego oraz przedstawiono implementację sieci neuronowej. Głównym narzędziem podczas implementacji sieci neuronowej na potrzeby prowadzonych badań była biblioteka *Keras*. Dane zostały zebrane nieinwazyjną metodą pomiaru sygnału EEG z wykorzystaniem urządzenia *Emotiv EPOC+ Neuroheadset* działającego w zakresie technologii BCI w ramach prac Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej, którego to autor jest twórcą i kierownikiem. Laboratorium powstało w ramach realizacji: *POIŚ w działaniu 13.1 Infrastruktura Szkolnictwa Wyższego, tytuł projektu: „Przebudowa budynków 1 i 3 Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki w II Kampusie Politechniki Opolskiej”*. Schemat położenia elektrod w czasie badania zgodny był ze standaryzacją 10-20 (System Międzynarodowej Federacji ds Neurofizjologii Klinicznej). Za pomocą oprogramowania *Emotiv TestBench* zostały zapisane dane pochodzące z procesu akwizycji danych. W czasie zbierania danych osoba wykonywała takie czynności jak: mruganie oczami, zaciskanie zębów, wykonanie uśmiechu, czy podnoszeniu brwi. Czynności te powodowały pojawienie się w sygnale EEG artefaktów natury biologicznej, na podstawie których została wykonana klasyfikacja sygnałów EEG z wykorzystaniem sieci neuronowej. **Jak zostało zbadane wartość precyzji podczas procesu uczenia się z walidacją osiągnęła bardzo wysoki i satysfakcjonujący poziom 98%. Dodatkowo należy stwierdzić, że zależności pomiędzy elektrodami są możliwe do określenia przez algorytmy sztucznej inteligencji ze względu na fakt, iż model osiąga wysoki poziom predykcji już po 20 Epochs.** Z charakterystyki funkcji straty modelu można odczytać, że podczas uczenia nie nastąpiło przeuczenie, co świadczy o dobrej generalizacji wykonanego modelu. W celu sprawdzenia poprawności predykcji na danych nigdy nie widzianych przez sieć w procesie

uczenia zostały przedstawione macierze błędów. Badania prowadzono przy następującej koncepcji: 1. Uczenie sieci neuronowej przeprowadzone na danych pochodzących od jednej osoby, próba predykcji na danych od osoby, której to dane nie były wykorzystane podczas procesu uczenia się; 2. Uczenie sieci neuronowej na podstawie danych pochodzących od wszystkich osób badanych, próba predykcji na danych pochodzących od tych samych osób, lecz nie biorących udziału w procesie uczenia; 3. Uczenie sieci neuronowej na podstawie danych pochodzących od wszystkich osób badanych z wyłączeniem osoby na której będzie badana skuteczność modelu.

Rozdział ósmy monografii omawia możliwość wykorzystania technologii BCI do sterowania mobilnym pojazdem, co programistycznie zostało zrealizowane w oparciu o język Python. Istotne przy zaprezentowanym sterowaniu jest dobranie odpowiedniej czułości sygnału mierzonego, w stosunku do generowanego na pojazd czterokołowy, co odbyło się podczas prac eksperymentalnych w Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej. Jak wynika z przeprowadzonego eksperymentu zbyt częste mruganie powiekami bądź intensywny uśmiech może powodować brak komfortu zauważalny w procesie sterowania. Warto przy tym podkreślić, iż program odbierający dane został napisany w taki sposób, że nie jest potrzebne utrzymywanie charakterystycznego artefaktu, aby utrzymać wymagany ruch podczas realizacji procesu sterowania.

Rozdział dziewiąty monografii omawia wykorzystanie środowiska LabVIEW do sterowania mobilnym pojazdem przy wykorzystaniu technologii mózg-komputer. Na potrzeby prowadzonego eksperymentu badawczego zdecydowano o wyborze urządzenia Emotiv EPOC+ NeuroHeadset. Do komunikacji urządzenia z komputerem zaimplementowano LabView Emotiv Toolkit V2. Wtyczka współdziała jedynie z wersją 32-bitową LabView oraz wymaga wskazania dokładnej lokalizacji oryginalnego pliku *edk.dll*. Sygnał elektroencefalograficzny uzyskano dzięki będącej na wyposażeniu Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej licencji badawczej do urządzeń firmy Emotiv Inc. zawierającej Emotiv SDK z dostępem do danych w formacie *.raw. Testy przeprowadzone na bazie generowania potencjałów wywołanych były podstawą do stworzenia systemu sterowania. Eksperyment opierał się na znalezieniu takich sygnałów, których skuteczność identyfikacji będzie bliska stu procent u operatora robota. W tym celu wykorzystany został program EPOC Control Panel. Jak wynika z przeprowadzonych badań takie czynności jak: uśmiech, zaciśnięcie szczęki, mruganie oczami realizowano z wysoką skutecznością oraz wysoką odpornością na zakłócenia. Na podstawie wykonanych studiów literaturowych można stwierdzić, iż ilość podobnych realizacji wykorzystania potencjału

urządzenia firmy Emotiv Inc. w korelacji z LabView jest bardzo mała. Tym bardziej w kwestii analizy i klasyfikacji artefaktów EEG realizowanych na potrzeby sterowania robotem w oparciu o Emotiv EPOC+ NeuroHeadset, jest to pierwsza tego typu próba implementacyjna, zgodnie z dostępną w publikacyjnych bazach danych literaturą.

Rozdział dziesiąty omawia implementację technologii rozszerzonej rzeczywistości AR (Augmented Reality) w korelacji z technologią interfejsów mózg-komputer. Podczas wykorzystania urządzenia bazującego na technologii interfejsów-mózg: NeuroSky MindWave Mobile w Laboratorium Politechniki Opolskiej, możliwe było przy jego pomocy wywołanie zamierzonych działań w aspekcie procesu sterowania. Stymulacja mózgu poprzez wprawianie go w określone stany: medytacji oraz wzmożonego wysiłku umysłowego, przyniosła praktyczne efekty. Identyfikacja zmian amplitudy sygnału EEG w korelacji z potencjałami wywoływanymi, umożliwiła zastosowanie ww. interfejsu BCI do realizacji zaplanowanych zadań. W monografii przedstawiono wizualizację aktywności fal mózgowych zidentyfikowanych przy użyciu aplikacji dostępnej z NeuroSky MindWave Mobile. Ponadto w opracowaniu monograficznym przedstawiono przykładowe związki pomiędzy stanem mózgu człowieka, aktywnością fal mózgowych, prezentowanym obrazem, a planowaną akcją, a także zarys koncepcji zastosowania Augmented Reality wraz z technologią BCI.

Rozdział jedenasty dowodzi możliwości wykorzystania technologii interfejsów mózg-komputer w korelacji z technologią wirtualnej rzeczywistości na potrzeby neurogamingu. Technologia mózg-komputer w wersji nieinwazyjnej znajduje coraz większe możliwości praktycznego zastosowania w wielu dziedzinach życia, w tym między innymi w neurogamingu. Główny atut tej technologii to kwestia możliwości oddziaływania na przebieg akcji w grze video przy użyciu sygnałów mózgowych, bez konieczności bezpośredniego wykorzystania ich do zasilania mięśnia efektorowego danej kończyny, tak jak to ma miejsce w przypadku metod standardowego sterowania dostępnymi na rynku kontrolerami. Analizy potwierdzają fakt, iż neurogaming jest stosunkowo mało kompetytywny przez fakt istnienia dużych opóźnień sygnału transmitowanego z powierzchni głowy człowieka na stację roboczą, a także dużej liczby towarzyszącym pomiarom artefaktom, trudnym do wyeliminowania w praktyce. W tym celu konieczne jest zastosowanie filtracji sygnału. Jedną z metod jest FFT, czyli Szybka Transformata Fouriera. Z przeprowadzonych testów wynika, że sterowanie wirtualnymi przedmiotami za pomocą umysłu jest złożonym i trudnym procesem. Dodatkowo podczas przesyłu informacji pojawiają się opóźnienia, które wpływają w sposób negatywny na proces sterowania. Aplikacją neurogamingową poddawaną testom na bazie Emotiv EPOC+ NeuroHeadset na potrzeby prowadzonego eksperymentu był Cerebral Constructor. W

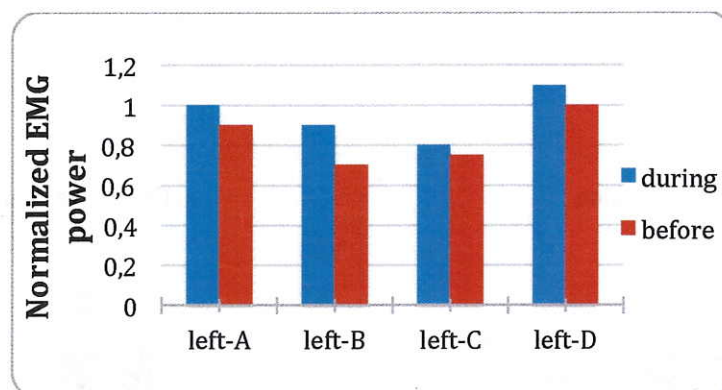
tym przypadku sterowanie pozwala na identyfikację do siedmiu stanów pracy mózgu, związanych z przesuwaniem: w dół, w górę, w lewo, w prawo, podnoszeniem, przyciąganiem oraz opuszczaniem służącym obracaniu konkretnego przedmiotu. Jak wynika jednak z przeprowadzonych testów z punktu widzenia praktycznego, wystarczą jednak tylko trzy komendy: jedna do rotacji oraz dwie do przesuwania, aby móc realizować sterowania obiektem wirtualnym.

W **rozdziale dwunastym** przedstawiono autorską grę komputerową opracowaną w technologii Unity na potrzeby weryfikacji możliwości wykorzystania interfejsów mózg-komputer będących na wyposażeniu Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej. Do realizacji neurogamingu w ramach projektu gry 'Labirynt' użyto sprzętu Emotiv EPOC+ NeuroHeadset firmy Emotiv Inc.

Rozdział trzynasty to praktyczne przedstawienie wykorzystania technologii mózg-komputer w połączeniu z Internetem Rzeczy – IoT. Przedstawione rozwiązanie polega na udostępnieniu użytkownikowi platformy, w ramach której będzie mógł połączyć posiadane urządzenia jednym wspólnym kanałem wymiany danych. Dane te w przedstawianej implementacji wykorzystywane będą do zmiany stanu urządzenia lub grupy urządzeń jako reakcja na zdarzenia zachodzące w innym urządzeniu. Rozwijany system prezentuje wysoki poziom uniwersalności, tak aby mógł być stosowany z szeroką gamą, szybko rozwijających się urządzeń, bez znaczącej ingerencji w najważniejsze elementy samego systemu. Ponadto podczas implementacji systemu szczególna uwaga została zwrócona na stosowanie nowoczesnych technologii w tworzeniu oprogramowania (NodeJS, Angular framework, JSON), tak aby system nie tracił na aktualności. W ramach prowadzonych prac wykonano szkielet systemu, który umożliwił obsługę możliwie dużej ilości urządzeń wraz z przykładowymi modułami działającymi w obrębie tego systemu. Moduły te pozwalają zobrazować możliwości zastosowania utworzonej platformy, na przykładzie sterowania domowym urządzeniem audio oraz kontaktami elektrycznymi przy pomocy urządzenia mobilnego, pracującego pod kontrolą systemu Android. Aplikacja obsługująca to urządzenie, a wchodząca w zakres systemu posiada możliwość podłączenia oraz wykorzystania w sterowaniu interfejsów mózg-komputer (BCI).

Monografię kończy **rozdział czternasty** podsumowujący uzyskane wyniki prac, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości ich zastosowania w aspekcie prowadzenia dalszych prac rozwojowych nad technologią mózg-komputer.

W artykule pt.: „Brain-computer technology based training system in the field of motor imagery” opublikowanym w: IET Science Measurement and Technology, WILEY, London, UK, 2021, IF: 1,975, Szczepan Paszkiel wspólnie z dr-em nauk medycznych Pawłem Dobrakowskim (Wyższa Szkoła Humanitas w Sosnowcu, Instytut Psychologii, współpraca od marca 2019) opracował system do treningu Motor Imagery pracujący na bazie technologii mózg-komputer. Doktor inżynier Szczepan Paszkiel odpowiadał w niniejszym zakresie m. in. za: opracowanie systemu pod kątem technicznym w zakresie obrazowania motorycznego oraz przeprowadzenie testów niniejszego systemu na bazie rozwiązań technologii mózg-komputer. W przedmiotowym eksperymencie zrealizowano system szkoleniowy w oparciu o nieinwazyjne BCI (Emotiv EPOC Flex) oraz pomiary EMG. Prowadzone prace badawcze składały się z dwóch sesji obrazowania motorycznego: sesji szkoleniowej oraz sesji monitorującej EEG. W celu weryfikacji prowadzonego eksperymentu monitorowano sygnał z elektromiogramu EMG pochodzący z elektrod umieszczonych na przedramionach osób badanych. Rys. 3 przedstawia zmiany mocy sygnału EMG rejestrowane zarówno przed jak i podczas wykonywania zadania obrazowania motorycznego przez wyszkoloną grupę (A, B, C, D). Brak znaczącej różnicy pomiędzy dwoma zestawami danych EMG, czyli mniej niż 10% wariacje znaleziono dla wszystkich uczestników, wskazując, że nie poruszyli ręką, gdy próbowali wykonać zadanie.



Rys. 3. Zmiany mocy sygnału EMG rejestrowane zarówno przed jak i podczas wykonywania zadania obrazowania motorycznego

W ramach prowadzonych badań usunięto artefakty z sygnału EEG w tym zakłócenia pochodzące z ruchów gałek ocznych oraz mrugania oczami, choć nie były one znaczące. Do analizy sygnałów EEG użyto oprogramowania Matlab oraz oprogramowania dostarczonego od producenta urządzeń firmy Emotiv Inc. W ramach Tab. 1 przedstawiono liczbę kombinacji czas-częstotliwość, które wykazały znaczącą różnicę między obrazowaniem motorycznym prawej ręki przed i po prowadzeniu sesji treningowej obrazowania motorycznego oraz w

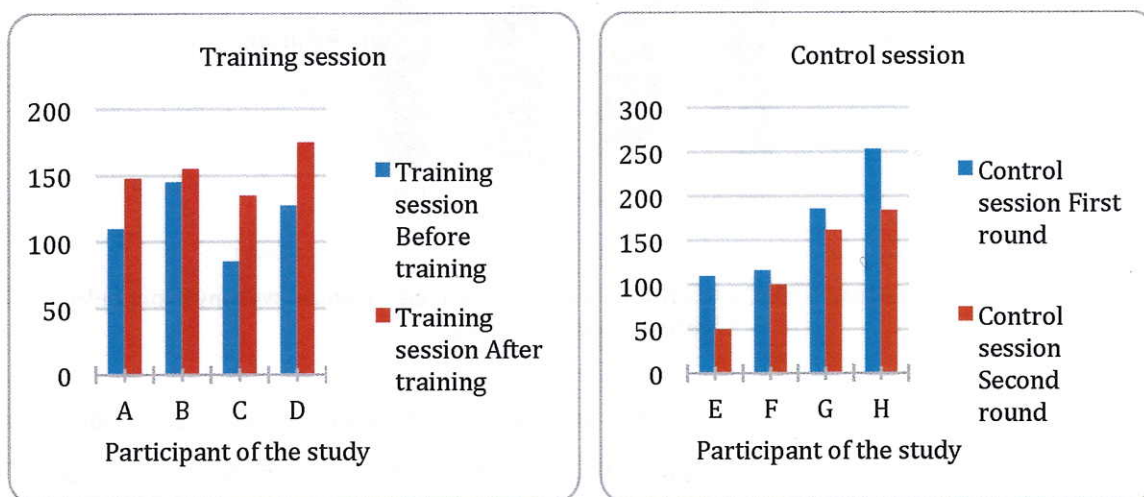
ramach pierwszej i drugiej tury sesji kontrolnej. Można zaobserwować że znaczące zmiany aktywności mózgu wystąpiły u wszystkich uczestników przeszkolonej grupy po sesji treningowej. Niemniej jednak dla grupy kontrolnej nie można było zaobserwować żadnych stałych zmian w liczbie znaczących kombinacji czas-częstotliwość między pierwszym i drugim zestawem danych EEG (tab. 1).

Tab. 1. Łączna liczba kombinacji czas-częstotliwość przed i po prowadzeniu sesji treningowej obrazowania motorycznego oraz w ramach pierwszej i drugiej tury sesji kontrolnej.

Training session		
Participant of the study	Before training	After training
A	110	148
B	145	155
C	85	135
D	127	175

Control session		
Participant of the study	First round	Second round
E	110	50
F	116	100
G	186	162
H	253	184

Na podstawie tych wyników potwierdzono, że możliwe jest przeszkolenie uczestników w zakresie generowania określonych wzorców aktywności mózgu na korze czuciowo-ruchowej przy użyciu proponowanego systemu.



Rys. 4. Wykres łącznej liczby kombinacji czas-częstotliwość przed i po prowadzeniu sesji treningowej obrazowania motorycznego oraz w ramach pierwszej i drugiej tury sesji kontrolnej.

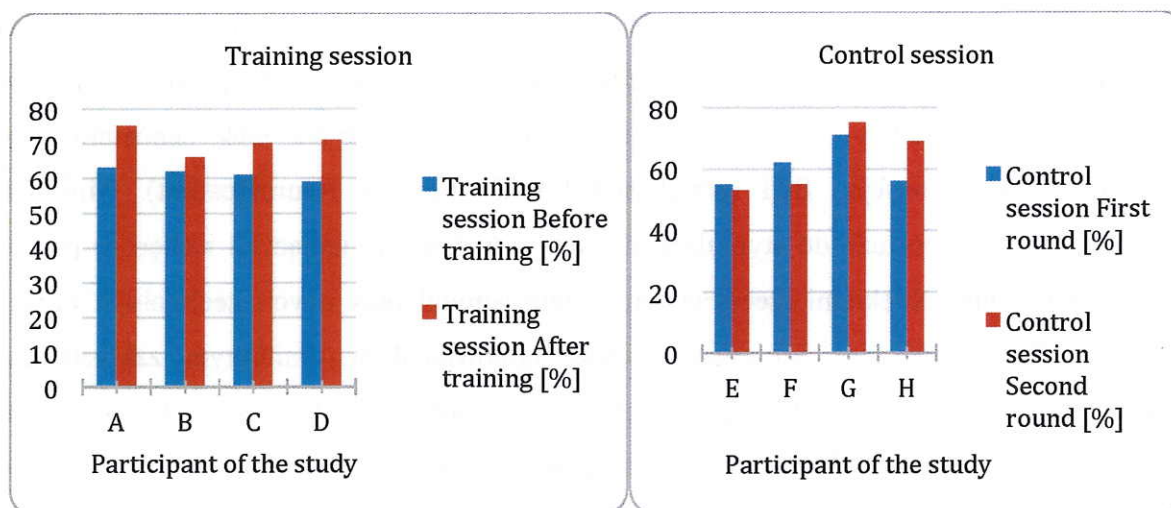
W ramach prac badawczych dokonano również identyfikacji zmian w dokładności klasyfikacji przed i po treningu obrazowania ruchowego. Tabela 2 pokazuje dokładność

klasyfikowania wyobrażenia ruchu ręką dla wszystkich uczestników, biorących udział w badaniu.

Tab. 2. Zmiany dokładności klasyfikacji przed i po prowadzeniu sesji treningowej obrazowania motorycznego oraz w ramach pierwszej i drugiej tury sesji kontrolnej.

Participant of the study	Training session	
	Before training [%]	After training [%]
A	63	75
B	62	66
C	61	70
D	59	71
Participant of the study	Control session	
	First round [%]	Second round [%]
E	55	53
F	62	55
G	71	75
H	56	69

Algorytm odległości euklidesowej został następnie użyty do oszacowania dokładności klasyfikacji. Analiza wyników wskazała, że dokładność klasyfikacji została znacznie zwiększona dla wszystkich czterech osób w wyszkolonej grupie po treningu obrazowania motorycznego. Natomiast wyniki analizy dla zestawu danych kontrolnych EEG nie wykazały spójnego przyrostu dokładności klasyfikacji, wykazując, że proponowany system szkolenia obrazowania motorycznego może być wykorzystany do zwiększenia wydajności systemów BCI opartych na wyobrażeniach motorycznych.



Rys. 5. Wykres zmian dokładności klasyfikacji przed i po prowadzeniu sesji treningowej obrazowania motorycznego oraz w ramach pierwszej i drugiej tury sesji kontrolnej.

Spośród 100 prób dla wyobrażenia ruchu prawej ręki, losowo wybrano 50 prób, które wykorzystano jako zestaw treningowy, podczas gdy pozostałe testy motoryczne wykorzystano jako zestaw testowy do obliczania dokładności klasyfikacji. Dla każdej próby

zestawu testowego porównano odległości euklidesowe od dwóch średnich wektorów cech obliczonych na zbiorach danych referencyjnych prób motorycznych.

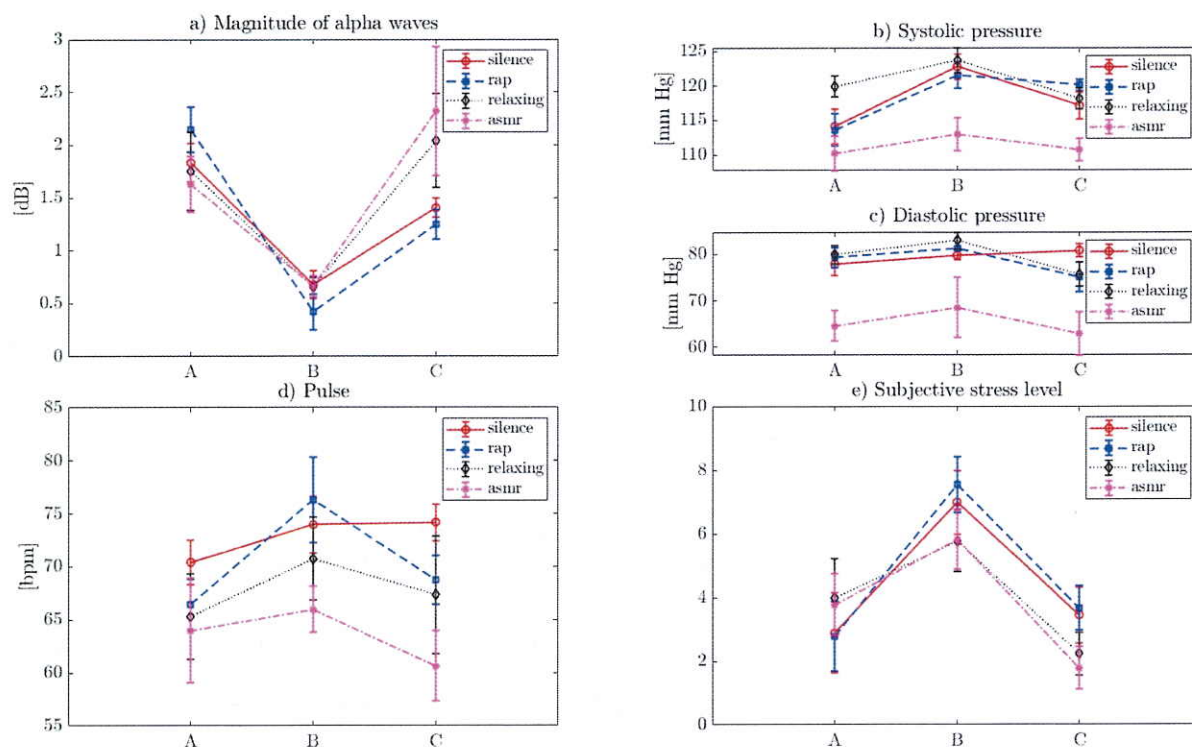
Jak wynika z przeprowadzonych pomiarów średnia dokładność klasyfikacji dla wyszkolonej grupy wynosiła około 70%. Warto nadmienić, iż częstotliwość rytmu Mu może się różnić w zależności od osoby, oscylacje te ograniczają się jednak do pasma: 7-12 Hz. Rytm Mu czasem określa się mianem rytmu bramkowego i jest on prawidłowym zjawiskiem w EEG. Jak wynika z przeprowadzonego badania wszystkim jego uczestnikom udało się wygenerować aktywację tych obszarów mózgu, które związane są z obrazowaniem motorycznym, a mianowicie w obrębie kory czuciowo-ruchowej. Autorzy mają świadomość pewnych ograniczeń badania Rytm Mu, iż to nie tylko ruch i jego wyobrażenie. Desynchronizacja Mu może mieć również miejsce podczas obserwacji ruchu, a nawet obserwacji narzędzia, jest to najpewniej przejaw działania neuronów lustrzanych. Warto również zauważyć, że u części zdrowych ludzi można podczas powyższych aktywności zauważyć synchronizację rytmu Mu zamiast spodziewanej desynchronizacji.

W artykule pt.: „**The Impact of Different Sounds on Stress Level in the Context of the EEG, Cardiac Measures and Subjective Stress Level: A Pilot Study**” opublikowanym w: *Brain Sciences* 10(10), 728, 2020, **IF: 3,332** Szczepan Paszkiel wspólnie z dr-em nauk medycznych Pawłem Dobrakowskim (Wyższa Szkoła Humanitas w Sosnowcu, współpraca od marca 2019) oraz doktorantem mgr-em inż. Adamem Łysiak (Politechnika Opolska) przeprowadził prace mające na celu zbadanie wpływu dźwięków na poziom stresu w kontekście m. in. analizy sygnału EEG odczytanego przy użyciu elektroencefalografu, będącego częścią interfejsu BCI (urządzenie Emotiv EPOC+ NeuroHeadset). Niniejsze badania pilotażowe posłużą do stymulacji dźwiękowej osób realizujących następnie proces sterowania różnymi obiektami rzeczywistymi i wirtualnymi przy użyciu technologii mózg-komputer. Doktor inżynier Szczepan Paszkiel odpowiadał w niniejszym zakresie za: opracowanie metodologii badań, przeprowadzenie badań/pomiarów z wykorzystaniem technologii BCI oraz weryfikację prowadzonej analizy statystycznej danych. Aby określić wpływ gatunku muzycznego na poziom stresu, dla każdego pomiaru uzyskano stosunek CBA (29):

$$(C-B)/A \quad (29)$$

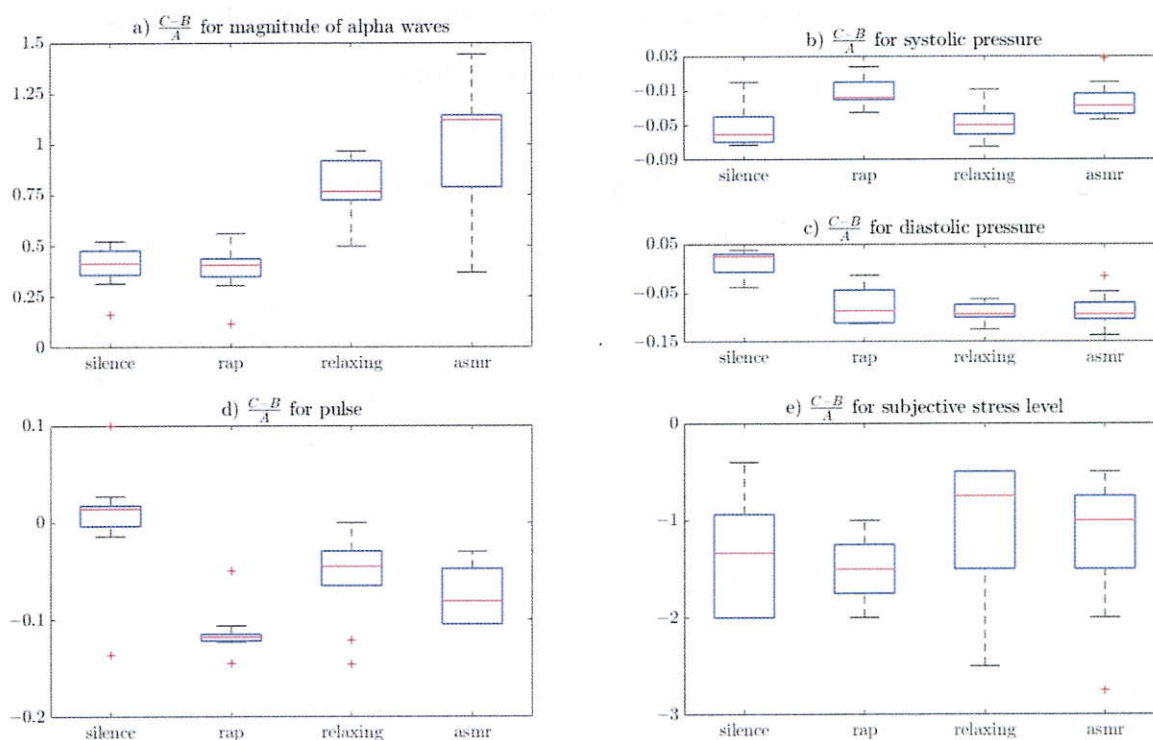
Pokazuje on, jak duża jest różnica między fazą odsłuchu muzyki (C), a fazą stresora (B) w porównaniu z wartością odniesienia (A), czyli wartością przed pomiarem. Innymi słowy, jak szybko można się zrelaksować w „normalnym” stanie. Aby sprawdzić hipotezę, że reakcja na

stres jest różna dla badanych gatunków muzycznych, przeprowadzono test **Kruskala-Wallisa** (ANOVA), a następnie test wielokrotnych porównań **Dunna**, który rozróżnia każdą parę gatunków muzycznych. Zastosowano te testy, gdyż test Pearsona nie wykazał poprawności w uzyskanych danych. Średnie wartości i odchylenie standardowe danych zebranych w trakcie eksperymentu przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wizualizacja pomiarów; tj. wartość średnia i odchylenie standardowe: a) pomiary EEG, b) i c) miara ciśnienia, d) puls, e) subiektywny poziom stresu.

Wyniki współczynnika CBA przedstawiono w postaci wykresu pudełkowego na rysunku 7. Na wykresie pudełkowym czerwona linia wskazuje medianę, niebieska ramka wskazuje rozstęp między kwartyłowy.



Rys. 7. Wizualizacja współczynnika CBA:
a) pomiary EEG, b) i c) miara ciśnienia, d) puls, e) subiektywny poziom stresu.

W eksperymencie przeprowadzonym w ramach prac badawczych obserwowane było w sytuacji stresowej zmniejszenie częstotliwości fal Alfa w mózgu i jednocześnie wzrost ciśnienia krwi i tętna osoby badanej. Istotnym wnioskiem, jaki nasuwa się po przeprowadzonych badaniach, jest fakt, że muzyka wyzwalająca ASMR równie dobrze obniża poziom stresu u pacjentów, jak odprężające dźwięki. Zaobserwowano również, że upływający czas ma duży wpływ na redukcję stresu. Do takiego wniosku można dojść analizując i porównując wyniki uzyskane w przypadku braku stymulacji i stymulacji muzyką rap. Analiza wskazuje, że ten rodzaj dźwięku ma najmniejszy wpływ na redukcję stresu badanych, a nawet opóźnia ich relaksację. Jedną z obserwacji jest prawidłowy dobór stresora nałożonego na uczestników testu. Okazał się on wystarczająco skuteczny, co wynika z uzyskanych wyników przedstawionych w niniejszej publikacji.

W artykule pt.: „A method to obtain parameters of one-column Jansen-Rit model using genetic algorithm and spectral characteristics”, opublikowanym w: Applied Sciences 11(2), 677, 2021, IF: 2,474, Szczepan Paszkiel wspólnie z doktorantem mgr inż. Adamem Łysiak (Politechnika Opolska) przeprowadził badania mające na celu wykorzystanie algorytmów genetycznych, charakterystyk spektralnych w celu prawidłowego doboru

parametrów do jednokolumnowego modelu Jansena-Rita (J-R). Doktor inżynier Szczepan Paszkiel odpowiadał w niniejszym zakresie m. in. za: opracowanie koncepcji pracy, metodologii, walidacji, analizę formalną, pełnił także rolę kierownika prowadzonych prac badawczych.

Na potrzeby prowadzonych badań przeanalizowano jednokolumnowy model Jansena – Rita. W dotychczasowych pracach naukowych parametry modelu uzyskiwano w sposób ciągły; tj. stanowiły macierz parametr-czas, z zestawem wartości parametrów dla każdego określonego momentu. Podczas prowadzonych badań przedstawiono natomiast odmienne podejście do uzyskiwania parametrów modelu J-R, poprzez metodę off-line. Uzyskane parametry mogą posłużyć do klasyfikacji sygnałów. Oznacza to, że mogą hipotetycznie stanowić cechy sygnału EEG dla określonej osoby, umożliwiając klasyfikację otrzymanych sygnałów w trybie off-line. Do uzyskania parametrów dla całego sygnału wykorzystano algorytm genetyczny. Zminimalizowaną funkcję zdefiniowano jako średni błąd kwadratowy (modelowanego i rzeczywistego sygnału) widma mocy o określonych częstotliwościach. Celem szczegółowym badań było sprawdzenie, czy tak zdefiniowana funkcja minimalizująca byłaby właściwa. Porównanie empiryczne pokazuje, że wygenerowane sygnały wykazują bliskie podobieństwo do mierzonych sygnałów w zawartości widma.

Ze względu na małą zmienność stałych czasowych parametrów membrany oraz opóźnienia w drzewie dendrytycznym przyjęto, że model może charakteryzować się zmianami w ośmiu parametrach tj. A , B , C , e_0 , v_0 , r , p - dolny limit, zakres (przedstawionych i opisanych w niniejszym artykule). Te parametry wpływają głównie na sygnał. Ze względu na stosunkowo dużą liczbę argumentów w funkcji do procesu minimalizacji wykorzystano algorytm genetyczny (GA). Wraz z innymi heurystykami jest on często używany do estymacji parametrów. Przeprowadzono wstępne badanie, porównując GA z różnymi popularnymi heurystykami, w tym m. in. rojem cząstek (PS). Szczegółowe wartości czasu obliczeń i znalezione optimum przedstawiono w tabeli 1 artykułu w którym opisane zostały niniejsze badania. Należy zwrócić uwagę, że zarówno czas, jak i wartość optymalna zostały znormalizowane do najwyższej wartości.

Aby zminimalizować funkcję (MSE widma mocy), wykorzystano Global Optimization Toolbox środowiska Matlab. Aby zapewnić solidność i uniknąć ewentualnych problemów z minimami lokalnymi, algorytm został przeprowadzony na populacji 256 osobników. Proces uzyskiwania parametrów zatrzymał się po 150 populacjach, gdy wydajność uległa stagnacji. Selekcję rodziców dla kolejnych pokoleń przeprowadzono metodą losowania stochastycznego uniwersalnego. Na etapie reprodukcji 13 (5% liczebności populacji) najlepszych osobników

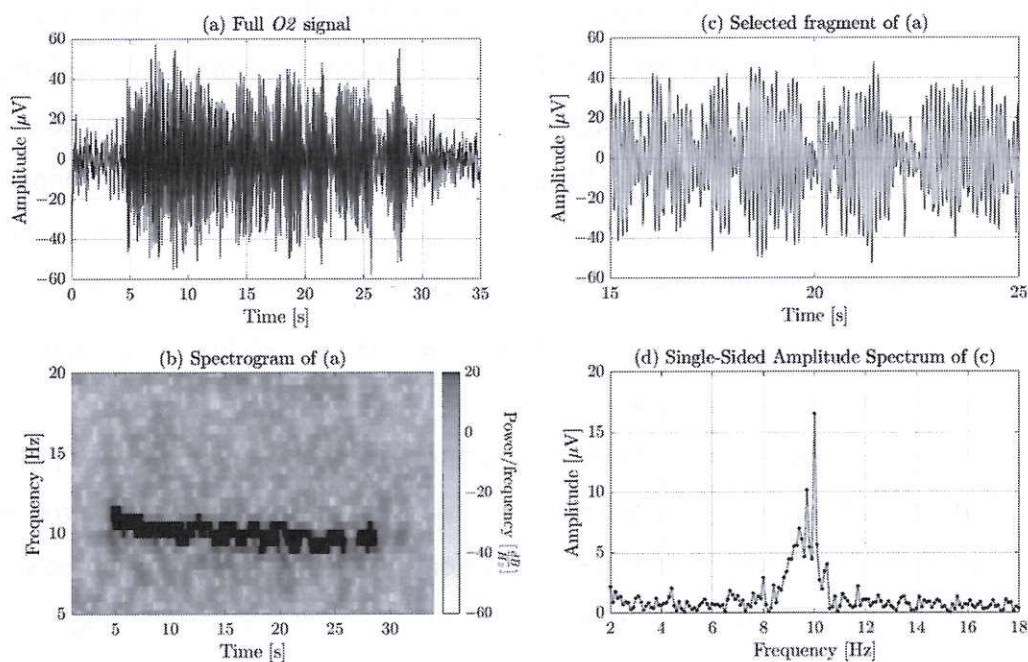
miało zapewnione przeżycie do następnego pokolenia. Pozostałe 243 osobniki uzyskano w 80% przez krzyżowanie, a w 20% przez mutację Gaussa.

Aby określić powtarzalność zaproponowanej metody, należy zastosować korelację wewnątrzklasową - współczynnik ICC. Aby uzyskać ICC (29), należy przeprowadzić k pomiarów, każdy z n obiektów.

$$ICC = \frac{MSBS - MSE}{MSBS + \frac{MSBM - MSE}{n}} \quad (29)$$

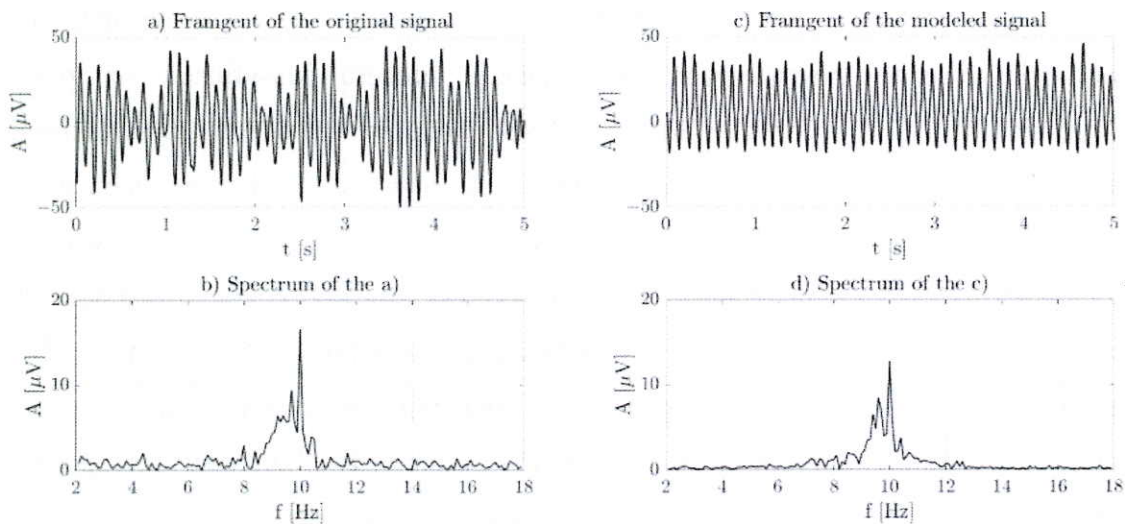
, gdzie: MSBS to średnia kwadratowa między modelowanymi sygnałami, MSE to średni błąd kwadratowy, MSBM to średnia kwadratowa między pomiarami (procesy uzyskiwania parametrów), a n to liczba zmierzonych sygnałów. Na potrzeby niniejszych badań współczynnik został zdefiniowany jako „ICC (A, k)” - szczegółowy opis przedstawiono w artykule.

Zaproponowana metoda została dodatkowo przetestowana na rzeczywistym sygnale. Do pomiaru wykorzystano 14-kanałowy elektroencefalograf Emotiv EPOC + NeuroHeadset. Po założeniu elektroencefalografu uczestnicy odprężyli się, zamknęli oczy, a po pewnym czasie ponownie je otworzyli. Aby uniknąć wzrostu częstotliwości i amplitudy sygnału, bezpośrednio po zamknięciu oczu utrzymującym się przez kilka sekund, do dalszej analizy wykorzystano tylko część sygnału (sekundy 15–25 na rys. 8a, 8b). Ta część, z odpowiednią dyskretną transformatą Fouriera (DFT), jest pokazana na rysunku 8c, 8d.



Rys. 8. Wykresy mierzonego sygnału: (a) pełny sygnał, (b) spektrogram pełnego sygnału, (c) analizowany fragment z najbardziej widocznymi falami alfa, (d) dyskretna transformata Fouriera wykresu (c).

Aby zminimalizować wpływ artefaktów, w tym niedoskonałego przylegania elektrod do skóry głowy, pozyskany sygnał był najpierw filtrowany w zakresie 2–20 Hz, a więc w zakresie większym niż typowe częstotliwości fal alfa (8–12 Hz). Charakteryzują się one amplitudą średnio od 3 do około 50 μV . W przeprowadzonych badaniach zastosowano cyfrowy filtr pasmowo-przepustowy o parametrze stromości 0,85 i tłumieniu zaporowym 60 dB. Rysunek 9 przedstawia 5-sekundowe fragmenty oryginalnego sygnału (9a) i modelowanego sygnału (9c) z odpowiadającymi im widmami (odpowiednio wykresy 9b i 9d). Chociaż sygnały są nieco inne w płaszczyźnie czasu, ich płaszczyzny częstotliwości są prawie identyczne. Należy się tego spodziewać, ponieważ funkcja zminimalizowana przez algorytm została zdefiniowana w płaszczyźnie widmowej.



Rys. 9. Wizualna ilustracja optymalnych parametrów - porównanie sygnałów modelowanych i rzeczywistych.

Po ocenie zdefiniowanej funkcji 100 000 razy, średni czas potrzebny do jednej oceny określono na około 0,013 s. Mnożąc tę wartość przez liczbę osobników w każdej populacji (256) i liczbę populacji (150), obliczono maksymalny czas pracy całego algorytmu genetycznego na około 9 min (procesor Intel Core i7-3740QM z czterema rdzeniami 2,7 GHz, 16 GB pamięci RAM). Czas jest główną wadą proponowanej metody. Jednak celem tego badania nie było uzyskanie wyników w trybie online. Aby wygenerować najbardziej optymalne parametry dla określonej osoby, zminimalizowano funkcję podobieństwa widmowego. Ta metoda okazała się powtarzalna i dokładna, ale dość kosztowna obliczeniowo. Jednak biorąc pod uwagę krzywą konwergencji prezentowaną w artykule najlepszą wartość uzyskano jako najlepszy wynik już w około 30. populacji. Oznacza to, że algorytm mógłby potencjalnie dawać wyniki szybciej. Z drugiej strony zbieżność algorytmów

stochastycznych zwykle silnie zależy od populacji początkowej. Wyniki przeprowadzonych badań powtarzalności z zaproponowaną populacją maksymalną sugerują, że algorytm nie utknie w lokalnych minimach. Wyniki powtarzalności i dokładności mogą wskazać, które parametry mają największy wpływ na wartość zminimalizowanej funkcji, a zatem w przyszłych badaniach, które parametry mogą stanowić najbardziej informatywne cechy sygnału. Wyniki uzyskane podczas prac badawczych pokazują, że algorytm genetyczny sprawdza się prawidłowo w zadaniu uzyskiwania parametrów modelu J-R. Zdefiniowaną funkcję można skutecznie zminimalizować.

W artykule pt.: „**The use of multilayer ConvNets for the purposes of motor imagery classification**”, opublikowanym w: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer 2021, Szczepan Paszkiel wspólnie z dr-em nauk medycznych Pawłem Dobrakowskim (Wyższa Szkoła Humanitas w Sosnowcu) użył wielowarstwowych konwolucyjnych sieci neuronowych do realizacji procesu klasyfikacji na potrzeby wyobrażenia ruchu. Doktor inżynier Szczepan Paszkiel odpowiadał w niniejszym zakresie za: opracowanie metodologii badań, treningu wielowarstwowych sieci, nadzorowaniu prac nad eksperymentem badawczym od strony technicznej. W wyniku przeprowadzonych badań należy stwierdzić, iż konwencjonalne uczenie maszynowe zapewniło ograniczoną dokładność poprawy klasyfikacji sygnału elektroencefalograficznego w zakresie Motor Imagery. Należy także stwierdzić, iż techniki głębokiego uczenia wykazują lepsze wyniki dla tego samego zadania. W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, iż zaproponowane wielowarstwowe modele oparte na ConvNet sprawdzają się w zakresie różnych rozmiarów i głębokości filtrów, w aspekcie wyodrębniania różnych typów funkcji reprezentujących dane EEG. Z prowadzonego eksperymentu wynika również, iż zastosowanie wstępnie wyszkolonych modeli ConvNet może pomóc poprawić dokładność oraz czas szkolenia modeli głębokiego uczenia się. Zaproponowane w ramach niniejszego artykułu rozwiązanie pokazuje ogólną wydajność dekodowania EEG dla wszystkich klas wyjściowych. Wyniki uzyskane za pomocą zaproponowanych metod dowodzą, iż ConvNet cechujące się różnymi architekturami, głębokościami i rozmiarami filtrów mają duży wpływ na dokładność i mogą wyodrębnić inną funkcję reprezentacji, które to w wyniku łączenia mogą zwiększyć precyzję klasyfikacji.

W artykule pt.: „**Using Brain-Computer Interface technology for modeling 3D objects in Blender software**”, opublikowaną w: *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems* 2020, Szczepan Paszkiel wspólnie z Panem inż. Mateuszem Zajac (Politechnika Opolska) przedstawił aplikacyjne zastosowanie technologii mózg-komputer do

modelowania obiektów 3D w jednym z popularnych środowisk graficznych. Szczepan Paszkiel odpowiadał w niniejszym zakresie za: analizę rozwiązania pod kątem poprawności technicznej oraz weryfikacji pod kątem użycia technologii BCI. W niniejszej pracy badawczej system oparty na BCI jest oceniany jako narzędzie w procesie modelowania 3D w Blenderze. Jednak przedstawioną koncepcję można wykorzystać w wielu innych zastosowaniach. Blender to tylko jeden przykład. Wiele aplikacji 3D korzysta z interfejsu WIMP opartego na myszy i klawiaturze i wymaga zapamiętania wielu naciśnień klawiszy, aby wykonywać określone czynności, tak jak w Blenderze. Zastosowanie tej koncepcji w popularnym oprogramowaniu 3D może mieć duży wpływ na branżę 3D i zmienić sposób modelowania obiektów 3D w wielu aplikacjach. Badania koncentrowały się na rejestrowaniu sygnałów EEG i przekształcaniu ich w działania określone przez użytkownika przy użyciu zestawu Emotiv EPOC + Neuroheadset i wbudowanych interfejsów API. Przetworzone informacje są następnie wykorzystywane do modelowania 3D w Blenderze. Przeprowadzono kilka testów, aby ocenić użyteczność tej koncepcji. Testy obejmowały szkolenie w zakresie manipulowania wirtualną kostką 3D w Panelu sterowania EPOC przy użyciu sygnałów mózgowych i mimiki twarzy. Po testach można stwierdzić, że stopień złożoności manipulacji kostką rośnie wraz z liczbą wyuczonych akcji. Sterowanie kostką za pomocą ruchu mięśni twarzy jest znacznie bardziej responsywne i intuicyjne dla użytkownika, a także wymaga mniej czasu na trening niż generowanie potencjałów czynnościowych w mózgu. Jednak w przypadku kontroli poznawczej liczba możliwych funkcji, które można przypisać ludzkim myślom, jest prawie nieograniczona. To największa zaleta w stosunku do kontroli mimiki twarzy.

W artykule pt.: „**The use of facial expressions identified from the level of the EEG signal for controlling a mobile vehicle based on a State Machine**”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, Szczepan Paszkiel zrealizował w praktyce sterowanie robotem mobilnym w oparciu o mimikę twarzy klasyfikowaną w oparciu o maszynę stanów. Prace badawcze zostały pomyślnie wdrożone jako oprogramowanie realizujące postawione cele. Cały problem został najpierw podzielony na oddzielne komponenty, które miały jasno zdefiniowane punkty interakcji poprzez pojęcie interfejsu. Wykorzystanie bibliotek narzędziowych do tworzenia makiet obiektów pozwoliło na testowanie komponentów w izolacji. W związku z tym można było sprawdzić, czy komponent realizujący odwzorowanie danych wejściowych użytkownika na ruchy pojazdów daje oczekiwane wyniki dla odpowiednich danych. Jednym z ważnych szczegółów implementacji było wykorzystanie wzorca projektowania stanów - ogólny opis klas realizujących maszynę stanu.

W zakresie wartościowych aspektów przedmiotowej Monografii naukowej wymienić należy:

- omówienie problemów uczenia maszynowego, w tym nowego podejścia głębokiego uczenia w zakresie jego wykorzystania na potrzeby technologii mózg-komputer (BCI). Przedstawienie metody sprawdziany krzyżowego oraz podziału danych z wykorzystaniem metody hold-out;
- przedstawienie pseudoinwersji Moore-Penrose jako potencjalnego narzędzia do rekonstrukcji sygnału EEG. Prezentacja modelu liniowego mieszania sygnałów EEG wraz z estymacją;
- zastosowanie metody LORETA służącej do obrazowania pracy mózgu bazując m. in. na zapisie elektroencefalograficznym w kontekście lokalizacji źródeł sygnału na potrzeby technologii BCI. Przedstawienie różnic pomiędzy metodami: LORETA, sLORETA, eLORETA;
- charakterystykę metod monitorowania pracy ludzkiego mózgu oraz akwizycji danych w niniejszym zakresie, począwszy od EEG, poprzez MEG, fMRI, PET, NIRS. Omówienie zasady działania powyższych metod w zakresie technologicznym;
- charakterystykę sygnału EEG ze szczególnym uwzględnieniem częstotliwości i amplitudy poszczególnych fal elektroencefalograficznych w aspekcie sterowania. Szczegółowo omówiono charakterystykę niniejszych oscylacji;
- przeprowadzoną analizę artefaktów w sygnale EEG z uwzględnieniem wpływu na proces sterowania obiektami. Podział artefaktów na techniczne i biologiczne;
- charakterystykę technologii mózg-komputer z przedstawieniem aktualnie dostępnych rozwiązań technologicznych w niniejszym zakresie;
- opisanie metod analizy danych w zakresie pracy ludzkiego mózgu, w tym między innymi metod statystycznych w implementacji w środowisku MATrix LABORatory. Przedstawienie konfiguracji filtrów pasmowo-przepustowych.

W zakresie oryginalności zrealizowanych prac badawczych (zarówno opisanych w Monografii jak i w ww. artykułach) wymienić należy:

- opracowanie systemu do obrazowania motorycznego przy użyciu rozwiązań technologii interfejsów mózg-komputer oraz pomiarów EMG;
- zbadanie wpływu dźwięków na poziom stresu przy użyciu m. in. metod akwizycji i analizy sygnału EEG, co stanowi istotne źródło informacji w kontekście identyfikacji dźwięków i ich wpływu na realizację procesów sterowania obiektami;

- oryginalne zastosowanie algorytmów genetycznych do doboru parametrów jednokolumnowego modelu Jansena-Rita na potrzeby rozwoju technologii mózg-komputer;
- użycie wielowarstwowych konwolucyjnych sieci neuronowych na potrzeby klasyfikacji w zakresie Motor Imagery;
- aplikacyjne zastosowanie technologii interfejsów mózg-komputer w procesie modelowania obiektów 3D;
- opracowanie maszyny stanów do identyfikacji mimiki twarzy z wykorzystaniem sygnału EEG na potrzeby sterowania robotem mobilnym;
- praktyczne autorskie wykorzystanie sieci neuronowych na potrzeby klasyfikacji zmian w sygnale EEG w oparciu o mimikę twarzy. Opracowanie schematu uczenia nadzorowanego dla identyfikacji mimiki twarzy. Wykorzystanie naukowe biblioteki Keras oraz języka Python;
- przeprowadzenie eksperymentu badawczego, w tym zebranie danych – sygnałów EEG na potrzeby weryfikacji poprawności działania sieci neuronowych w zakresie identyfikacji artefaktów w sygnale EEG oraz prezentacja wyników w tym zakresie. Jak wynika z przeprowadzonych badań poziom predykcji na danych testowych pochodzących od osoby badanej w pojedynczym przypadku jest bardzo wysoki. Fakt ten można wykorzystać do tworzenia modułów sztucznej inteligencji uczonych bezpośrednio na osobie, która będzie sterowała aplikacją lub urządzeniem z wykorzystaniem artefaktów biologicznych. Za pomocą sieci neuronowych można dokonać generalizacji danych EEG pochodzących od wielu osób pomimo tego że mózg każdego badanego biorącego udział w procesie uczenia zachowuje się w sposób odmienny.
- część implementacyjną monografii dotyczącą autorskiego wykorzystania technologii BCI w procesach sterowania, w tym m. in. przedstawiono autorską ideę sterowania pojazdem mobilnym w oparciu o mimikę twarzy, która to generująca artefakt w sygnale EEG adekwatny do wykonania danej czynności została sklasyfikowana na potrzeby procesu sterowania robotem mobilnym;
- wykorzystanie oryginalnego w zakresie dotychczasowych metod realizacji sterowania w ramach technologii BCI, środowiska LabVIEW, jako rozwiązania alternatywnego do powszechnie wykorzystywanego oprogramowania MATrix LABORatory i językach wysokiego poziomu;

- opracowanie autorskiej koncepcji połączenia technologii rozszerzonej rzeczywistości AR z technologią interfejsów mózg-komputer BCI. W rozdziale przedstawiono ogólną architekturę pracy systemu opartego na Augmented reality w korelacji z technologią Brain-Computer Interface;
- charakterystykę zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości VR w korelacji z technologią interfejsów mózg-komputer BCI;
- oryginalną implementację technologii BCI w zakresie technologii IoT w aspekcie domów inteligentnych. W tym m. in.: opracowanie diagramu sekwencji oraz komponentów zaprojektowanego systemu. Przeprowadzenie testów technologii, zarówno wydajnościowych jak i funkcjonalnych;
- opracowanie gry video w środowisku Unity, na potrzeby jej wykorzystania w ramach szeroko rozwijanego neurogamingu bazującego na technologii BCI. Przeprowadzenie testów wykorzystania urządzenia Emotiv EPOC+ NeuroHeadset w zakresie opracowanej gry video.

Reasumując, należy podkreślić, iż w ramach prowadzonych prac badawczych rozważono wykorzystanie w praktyce pseudoinwersji Moore-Penrose do rekonstrukcji sygnału EEG. Fundamentalnym założeniem wykorzystania pseudoinwersji Moore-Penrose w rekonstrukcji sygnału EEG jest możliwość identyfikacji lokacji z której pochodzi dany sygnał. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt iż problematycznym, choć nie kluczowym zagadnieniem podczas konstruowania interfejsów mózg-komputer jest kwestia prawidłowej identyfikacji źródeł sygnału EEG. W tym zakresie w niniejszej monografii opisano również wykorzystanie techniki LORETA, bazującej na idei rozwiązania problemów odwrotnych szacującą rozkład aktywności elektrycznej neuronów w przestrzeni trójwymiarowej. LORETA jest metodą ułatwiającą wizualizację źródeł sygnału EEG identyfikowanych jako dipole elektryczne na potrzeby opracowywania modelu 3D mózgu. Dzięki technice LORETA możliwe jest dokładniejsze określenie, a tym samym zrozumienie zjawisk neurologicznych zachodzących w mózgu człowieka w oparciu o informacje zwarte w sygnale EEG. Jak wynika z przeprowadzonych testów jednym z narzędzi do analizy danych pracy ludzkiego mózgu w postaci sygnału EEG może być środowisko Matlab wraz z Toolboxem EEGLab opisany w niniejszej monografii. Podczas prac badawczych określono również, iż za pomocą sieci neuronowych można dokonać generalizacji danych EEG pochodzących od wielu osób pomimo tego. Zauważone podczas wstępnych analiz własności sygnału EEG można z powodzeniem wykorzystać do sterowania obiektami zewnętrznymi, takimi jak na

przykład roboty mobilne. Zostało to wykorzystane z powodzeniem w zakresie sterowania obiektem w oparciu o software firmy Emotiv Inc., jak także poprzez wtyczkę LabView Emotiv Toolkit V2 do środowiska LabView. Jak wynika, z przeprowadzonych testów sterowanie robotem w czasie rzeczywistym jest możliwe przy maksymalnym skupieniu, mimo wszystko zawsze mogą pojawić się pewne artefakty zakłócające stąd istotna jest odpowiednia filtracja sygnału, na przykład poprzez FFT. Ciągłe doskonalenie i powstawanie nowych algorytmów do celów identyfikacji i filtracji zakłóceń umożliwi z pewnością jeszcze większe wykorzystanie elektroencefalografów w automatyce i robotyce. Roboty mobilne sterowane z wykorzystaniem interfejsów BCI mogą być w przyszłości implementowane w wielu gałęziach przemysłu, obecnie natomiast są coraz częściej wykorzystywane w sektorze rozrywkowym. Nie ulega wątpliwości, że technologia BCI jest coraz powszechniejsza między innymi poprzez rozwijanie jej przez coraz więcej firm i instytucji, dzięki czemu można zaobserwować ogromny postęp w tej dziedzinie, jak i również spadek kosztów zakupu sprzętu bazującego na tej technologii. W związku z rozwojem technologii BCI oraz robotyki już w chwili obecnej rezultaty prac badawczych w ramach wyżej wymienionej technologii są wykorzystywane np.: do sterowania wózkami inwalidzkimi przez osoby sparaliżowane, niepełnosprawne ruchowo lub osoby starsze, których na świecie przybywa.

Rozwój nauk technicznych oraz korelacja wniosków płynących z prowadzonych w ich zakresie badań naukowych, między innymi z coraz to większą wiedzą na temat mechanizmów działania ludzkiego mózgu, implikuje możliwość opracowywania nowych rozwiązań, które mogą mieć bardzo duże pole do zastosowań. Rozszerzona rzeczywistość to stosunkowo nowa dziedzina, która wyrosła na bazie środowiska technologicznego, mająca swoje początki w latach 60-tych XX wieku. Rozwijające się od kilku lat dynamicznie interfejsy mózg-komputer są doskonałym przykładem technologii, która w parze z rzeczywistością zanurzoną, może stanowić narzędzie, do zastosowania między innymi w zakresie realizacji procesów sterowania w tym robotów mobilnych. Kolejnym przykładem zastosowania technologii BCI jest neurogaming. Pozytywny wpływ neurogamingu na organizm ludzki w praktyce potwierdzony jest poprzez wykorzystanie go do realizowania zdolności neuroplastycznych mózgu w ramach danych potrzeb. Praca mózgu zmienia się w zależności od tego jaką aktywnością cechuje się dana jednostka w konkretnym interwale czasowym. W praktyce technologia BCI bazuje obecnie na trzech paradygmatach: SCP, czyli wolnych potencjałach korowych, potencjale wywołanym P300 oraz ERD/ERS – desynchronizacji/synchronizacji związanej z bodźcem. W ramach monografii przedstawiono także rozwiązania umożliwiające

połączenie kilku urządzeń IoT oraz sterowanie tymi urządzeniami z wykorzystaniem technologii BCI.

Warto podkreślić, iż dorobek naukowy kandydata jest jednak w praktyce znacznie szerszy i nie dotyczy jedynie prac nad rozwojem technologii mózg-komputer. Kandydat posiada w swoim dorobku naukowym także publikacje z zakresu m. in.: inżynierii oprogramowania; wykorzystania metod statystycznych do wykrywania gestów przez dopasowanie do krzywych Béziera (publikacja „Detection of gestures without begin and end markers by fitting into Bézier curves with least squares method” w **Pattern Recognition Letters, Elsevier, IF=3,294**); pomiarów aktywności mięśni, w tym analizy sygnału elektromiograficznego; procesu produkcji włókien światłowodowych; analizy rozkładu ładunków elektrycznych. Publikacje z powyższego zakresu zostały wymienione w Wykazie osiągnięć naukowych kandydata w pkt. II.4.

Kopie publikacji wykazanych w ramach głównego osiągnięcia przedstawiono jako Załącznika A do Autoreferatu.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

Kandydat wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej Uczelni, co zaowocowało wspólnymi wysoko punktowanymi publikacjami naukowymi z pracownikami spoza Politechniki Opolskiej. Ponadto kandydat był prelegentem na zagranicznych konferencjach naukowych: **1st International DECODER Workshop on Brain-Computer Interfaces Francja** oraz **16th IFAC International Conference PDeS – Programmable Devices and Embedded Systems – 2019 - Słowacja**), pełnił także rolę członka komitetu naukowego międzynarodowych konferencji, w tym m. in.: **International Symposium on Automation, Information and Computing ISAIC 2020 (Chiny)**; **16th International Conference on Systems ICONS 2021 (Portugalia)**; **15th International Conference on Systems ICONS 2020 (Portugalia)**, **2nd World Congress on Neurology and Brain Disorders NEUROSCIENCE 2020 (Portugalia)**, a organizując na macierzystej Uczelni międzynarodową konferencję z tematyki interfejsów mózg-komputer współpracuje z ośrodkami naukowymi m. in. z **Włoch, Hiszpanii, Chin, Tajwanu, Wielkiej Brytanii**. Szczegółowy wykaz aktywności przedstawiono poniżej:

1. **Współpraca z Instytutem Psychologii Wyższej Szkoły Humanitas w Sosnowcu** w zakresie: prowadzenia prac badawczych mających na celu opracowanie systemu szkoleniowego w zakresie obrazowania motorycznego, wykorzystania wielowarstwowych sieci ConvNet na potrzeby klasyfikacji w zakresie Motor Imagery oraz badania wpływu dźwięków na poziom stresu. Proponowany system szkoleniowy pomaga osobom badanym generować wyobrażenia motoryczne na podstawie prezentowanych im przykładowych map aktywności frakcji komórek neuronalnych. Do badania zaangażowano ośmiu studentów w Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów decyzyjnych Politechniki Opolskiej. Grupę podzielono na dwie równe podgrupy z czego jedna została zapoznana z działaniem systemu, druga – uznana za kontrolną - nie. Zarejestrowano sygnały EEG, kiedy to użytkownicy wyobrażali sobie ruch kończyną górną dla dwóch podgrup przed i po treningu obrazowania, aby zweryfikować wprowadzenie proponowanego systemu szkoleniowego. Obszar wykorzystywany do akwizycji danych w ramach sesji monitorującej realizowanej przy

pomocy urządzenia Emotiv EPOC Flex to kora czuciowo-ruchowa. **Jak wynika z przeprowadzonej analizy literaturowej była to pierwsza próba wykorzystania 32-kanalowego urządzenia Emotiv EPOC Flex w zakresie konstrukcji systemu szkoleniowego w zakresie obrazowania motorycznego.**

Sygnal elektroencefalograficzny cechuje się dużą złożonością i dynamicznie zmieniającym się w czasie charakterem. Sygnały EEG w zakresie Motor Imagery są coraz to częściej wykorzystywane przez naukowców między innymi do pomocy osobom niepełnosprawnym. Dekodowanie niniejszych sygnałów jest istotne z punktu widzenia nowoczesnych rozwiązań bazujących na technologii interfejsów mózg-komputer. Za pomocą sieci ConvNet można wyodrębnić zarówno cechy przestrzenne, jak i czasowe z sygnału EEG. W ramach prowadzonych badań zaproponowano połączenie wielu modeli ConvNet - *Convolutional Neural Network* w zakresie sygnału EEG. **Jak wynika z badań proponowane wielowarstwowe sieci ConvNet wykazują wysokie współczynniki wydajności na zestawie danych testowych. Opracowana w niniejszym zakresie metoda uzyskuje stopień dokładności na zbiorze danych na poziomie 74,5% precyzji.**

Ponadto w ramach niniejszej współpracy realizowane są prace w zakresie badania wpływu dźwięków na poziom stresu w kontekście neurofeedback-u z wykorzystaniem technologii interfejsów mózg-komputer. Przeprowadzone dotychczas testy obejmowały cztery rodzaje bodźców dźwiękowych, w tym ciszę (próbka kontrolna), rap, muzykę relaksacyjną oraz muzykę wyzwalającą zjawisko autonomicznej odpowiedzi południka sensorycznego (ASMR). Wpływ poszczególnych rodzajów dźwięków oceniano na podstawie danych uzyskanych z czterech źródeł: czternastokanałowego elektroencefalografu, ciśnieniomierza, pulsometru oraz subiektywnej percepcji stresu uczestnika. **Wnioski z przeprowadzonych badań wskazują, m. in. iż muzyka relaksacyjna i ASMR uspokajają badanych znacznie szybciej niż cisza ($p < 0,05$).** Tytuł realizowanego projektu: „Rozwiązania w zakresie obrazowania motorycznego oraz wpływu dźwięków na poziom stresu bazujące na technologii mózg-komputer”. Projekt realizowany od 03.2019 do obecnie. Opracowane publikacje w niniejszym zakresie to:

- „Brain-computer technology based training system in the field of motor imagery”, Czasopismo: IET Science Measurement and Technology, WILEY, London, UK, IF: 1,975;

- „The Impact of Different Sounds on Stress Level in the Context of the EEG, Cardiac Measures and Subjective Stress Level: A Pilot Study”, *Czasopismo Brain Sciences*, **IF: 3,332**;
- „The use of multilayer ConvNets for the purposes of motor imagery classification”, **Monografia naukowa indexowana w Web of Science**: *Advances in Intelligence Systems and Computing*, Springer.

Charakter udziału: Kierownik i wykonawca prac badawczych.

Osoba odpowiedzialna po stronie Wyższa Szkoła Humanitas: dr n. med. Paweł Dobrakowski.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

2. **Współpraca z Katedrą Fizyki Medycznej Uniwersytetu Opolskiego** w zakresie: doboru urządzeń pomiarowych do badań w zakresie elektroencefalografii oraz technologii mózg-komputer na potrzeby prac Katedry; prezentacja wyników badań w ramach Konferencji naukowej organizowanej w roku 2018 przez Instytut Fizyki UO o nazwie: *Metody spektroskopii niejonizacyjnej w diagnostyce i terapii medycznej*; wymiana wyników badań w zakresie technologii BCI podczas organizowanych: *I Konferencji Mózg-Komputer 2014*, *II Konferencji Mózg-Komputer 2016*, *3rd International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2018*, *4th International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2021*; koordynowanie badań w ramach pracy inżynierskiej realizowanej na kierunku fizyka medyczna w ramach pracy Katedry Fizyki Medycznej UO; prowadzenie zajęć dydaktycznych na kierunku fizyka medyczna z przedmiotów: *Metody diagnostyczne w pomiarach medycznych*; *Neuroinformatyka na Uniwersytecie Opolskim* w roku akademickim: 2015/2016 oraz 2016/2017. Osoba odpowiedzialna po stronie Katedry Fizyki Medycznej: dr hab. Dariusz Man, prof. UO, Kierownik Katedry.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

3. **Współpraca z Wrocławskim Centrum Badań EIT+ spółka z o.o.** w zakresie: wykonania recenzji projektu badawczego z zakresu neuromarketingu oraz udział w panelu ekspertów. Misją Wrocławskim Centrum Badań EIT+ jest wytwarzanie i popularyzacja wiedzy w wielu dziedzinach nauki. Okres współpracy: 2011.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

4. **Współpraca z International Academy, Research, and Industry Association IARIA** w ramach prac Komitetu naukowego 15th International Conference on Systems ICONS 2020, February 23 - 27, 2020 – Lisbon, Portugal oraz 16th International Conference on Systems ICONS 2021, April 18 - 22, 2021 - Porto, Portugal. Celem IARIA jest promowanie wymiany naukowej i przemysłowej między członkami istniejących stowarzyszeń, organów normalizacyjnych i forów oraz ustanowienie pomostów między różnymi kulturami naukowymi, akademickimi i przemysłowymi. Okres współpracy: 2019 - do obecnie.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

5. **Współpraca z: National Health Research Institutes, Taiwan; The University of Western Australia; Cardiff University, United Kingdom; University of Cadiz, Spain; University of Trento, Italy; Nanjing Normal University, China; Columbia University, USA** w zakresie organizacji trzeciej oraz czwartej edycji International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI Opole. Współpraca naukowa w ramach prac Komitetu naukowego konferencji z: prof. Feng-Huei Lin, National Health Research Institutes, Taiwan; prof. Karol Miller, The University of Western Australia; Cardiff University, United Kingdom; prof. Daniel Sánchez-Morillo, University of Cadiz, Spain; prof. Eleuterio Toro, University of Trento, Italy; prof. Yudong Zhang, Nanjing Normal University, China; Columbia University, USA. Okres współpracy: 2017 – do obecnie. Pełniona funkcja: Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego Konferencji.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

6. **Współpraca z firmą Neurostimulus Sp. z o.o.** m. in. w zakresie naukowo-technologicznym. Szczepan Paszkiel odbył spotkania z założycielem firmy Neurostimulus Sp. z o.o. mające na celu wymianę informacji naukowych w zakresie technologii mózg-komputer. Podczas prowadzonej współpracy realizowana była wymiana wyników badań w zakresie technologii BCI, pomiędzy dr-em inż. Szczepanem Paszkiel, a pracownikami firmy Neurostimulus Sp. z o.o., biorącymi udział m. in. w: *3rd International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2018*. Okres współpracy: 2017 - do obecnie. Osobą odpowiedzialną po stronie firmy Neurostimulus Sp. z o.o. za realizację współpracy jest dr Rafał Szewczyk.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

7. **Współpraca z Narodowym Bankiem Polskim, Oddział Okręgowy w Opolu.** Współpraca na płaszczyźnie naukowo-badawczej. Prowadzone prace naukowo-badawcze zaowocowały m. in. powstaniem publikacji naukowej: *Mach Ł., Paszkiel S., Grubiak M.: Subannual, Seasonal and Interannual Variability of Data on Residential Construction market - Case Study for Poland*, która uzyskała pozytywne recenzje i zostanie wydana w monografii naukowej **Springer Nature, indexowanej na Web of Sciences**. Wiedza doktora Szczepana Paszkiel w zakresie analizy statystycznej danych oraz rozwiązań informatycznych została w praktyce wykorzystana w ramach zrealizowanej publikacji. Okres współpracy: 2020 - do obecnie. Osobą odpowiedzialną po stronie NBP za realizację współpracy jest prof. dr hab. inż. Paweł Frącz.

Potwierdzenie współpracy przedstawiono w Załączniku B do Autoreferatu.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Kandydat posiada znaczne doświadczenie jako wykładowca akademicki. Prowadził wszystkie rodzaje zajęć dydaktycznych tj. wykłady, ćwiczenia tablicowe i laboratoryjne, zajęcia projektowe, seminaria, które realizował na studiach stacjonarnych, niestacjonarnych, magisterskich, inżynierskich na Politechnice Opolskiej oraz Uniwersytecie Opolskim. Warto także podkreślić, iż kandydat od kilku lat prowadzi zajęcia w języku angielskim dla grupy dwujęzycznej na kierunku informatyka oraz na kierunku Computer Engineering. Ponadto kandydat wykazuje się ponadprzeciętną ilością zajęć, które prowadzi w ramach wymiany międzynarodowej ERASMUS+. Poniżej przedstawiono w sposób syntetyczny główne osiągnięcia dydaktyczne kandydata:

1. **Wybór na Przewodniczącą Rady dydaktycznej** dla kierunku inżynieria biomedyczna – Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, od roku 2019.
2. **Autor jednego z pierwszych w Polsce podręczników akademickich** z zakresu technologii interfejsów mózg-komputer pt.: „Interfejsy mózg-komputer. Neuroinformatyka”, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2014.
3. **Promotor pomocniczy** w ramach 3 przewodów doktorskich:
 - mgr inż. Piotr Szpulak, 2017 - 2020, tytuł przewodu doktorskiego: Numeryczna analiza rozkładu natężenia pola elektromagnetycznego w złożonych układach dielektryków płaskich i jego weryfikacja eksperymentalna, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, **Doktorat obroniony z wyróżnieniem w dniu 23.09.2020**;
 - mgr inż. Natalia Browarska, 2018 - 2020, tytuł przewodu doktorskiego: System bezinwazyjnej stymulacji mózgu z wykorzystaniem metod monitorowania oraz cyfrowej analizy sygnałów biomedycznych, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej;

- mgr inż. Michał Górski, 2019 - 2020, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej.
4. **Twórca oraz kierownik Laboratorium Neuroinformatyki i systemów decyzyjnych** Politechniki Opolskiej działającego w ramach Instytutu Automatyki Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Laboratorium wyposażone jest w stanowiska naukowo-dydaktyczne do pracy w zakresie technologii interfejsów mózg-komputer. Od roku 2016 – do obecnie.
 5. **Członek Wydziałowej Komisji ds. Programów Kształcenia** Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki PO od roku 2011 – do roku 2016 odpowiedzialny za kierunek: automatyka i robotyka, od roku 2017 do obecnie za kierunek inżynieria biomedyczna.
 6. **Koordynator grupy roboczej** opracowującej siatkę studiów dla kierunku: inżynieria biomedyczna zgodną z wymogami Ustawy 2.0 o Szkolnictwie Wyższym na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej (październik 2019).
 7. **Koordynator grupy roboczej** opracowującej nowe siatki studiów (kierunek: inżynieria biomedyczna) na Wydziale Elektrotechniki Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej (2015-2016).
 8. **Koordynator utworzenia siatki pol.-ang.** od roku akadem. 2020/2021 dla kierunku informatyka, studia dziennie.
 9. **Koordynator kształcenia na odległość** w ramach Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej dla dwóch kierunków kształcenia: inżynieria biomedyczna, technologie energii odnawialnych, od roku 2020.
 10. **Promotor 119 prac dyplomowych** (wykaz w Załączniku C), w tym: **90** prac inżynierskich oraz **29** magisterskich, lata 2012-2021, prace realizowane na kierunkach:
 - **Automatyka i Robotyka,**
 - **Informatyka,**

- **Mechatronika,**
- **Inżynieria biomedyczna**

na Politechnice Opolskiej. W tym: 1 praca inżynierska nagrodzona w ramach Konkursu Młodzi Innowacyjni (na kierunku automatyka i robotyka) Warszawa 2017; 1 praca magisterska nagrodzona w ramach Konkursu na najlepszą pracę dyplomową absolwentów Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej (na kierunku automatyka i robotyka) Opole 2018, 1 praca magisterska nagrodzona w ramach Konkursu na najlepszą pracę dyplomową absolwentów Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej (na kierunku automatyka i robotyka) Opole 2019.

11. **Recenzent 3 prac inżynierskich** w latach 2012-2020, prace realizowane na kierunkach: Automatyka i Robotyka, Elektrotechnika na Politechnice Opolskiej.
12. **Promotor 1 pracy inżynierskiej na kierunku: Fizyka medyczna** na Uniwersytecie Opolskim, Katedra Fizyki Medycznej, 2018.
13. **Recenzent 1 pracy inżynierskiej w ramach Ogólnopolskiego Konkursu PTI na najlepsze prace magisterskie z informatyki.** Recenzja wykonana na zaproszenie Dolnośląskiego Oddziału PTI z siedzibą we Wrocławiu, 2020.
14. **Opiekun naukowy w ramach Indywidualnego Programu Studiów IPS** oraz Indywidualnej Organizacji Studiów, od roku 2012, Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, liczba Studentów (z uwzględnieniem semestrów) nad którymi sprawowano opiekę: **29**.
15. **Opiekun naukowy nad Kołem naukowym Bioinżynierów,** www.inzynieriabiomedyczna.po.opole.pl, od roku 2016, Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej.
16. **Prowadzący zajęcia w ramach programu LLP Erasmus oraz Erasmus+ z przedmiotów (szczegółowy wykaz w załączniku D):**
 - Algorithm Design,
 - Data Structure,

- Software engineering,
- Statistical Interference and Operational Research,
- Internet Technology,
- Data Base,
- Information technology,
- Designing of data bases.

Łączna liczba studentów w latach: od 2013/2014 do 2020/2021 – łącznie **136** Kursów/Studentów z zagranicy, Politechnika Opolska.

- Opiekun naukowy na Międzynarodowym Seminarium Kół Naukowych** nad Studentem Łukaszem Debita, kierunek informatyka – Olsztyn maj 2014, Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.
- Opiekun naukowy w ramach CERN OpenLab Summer Student Programme**, nad studentem Robertem Kania, kierunek informatyka 2015, Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.
- Opiekun naukowy w ramach Fulbright Graduate Student Award**, nad studentem Robertem Kania, kierunek informatyka 2017, Politechnika Opolska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki.
- Prowadzenie zajęć dydaktycznych w tym wykładów w języku angielskim na Politechnice Opolskiej w ramach kształcenia na kierunkach** (szczegółowy wykaz w załączniku C):

- **Informatyka w języku angielskim**
- **Computer Engineering**

Nauczane przedmioty na przestrzeni lat, począwszy od roku 2013/2014, w formie: wykłady/ćwiczenia to:

- Methodology of Scientific Research,
- Fundamentals of Automatics,
- Internet Technology,
- Information Technology,
- Data Base I,

- Data Base II,
- Modeling of Databases,
- Software Engineering,
- Designing of Databases,
- Computer Networks I,
- Computer Networks II,
- Algorithms and Data Structures.

21. Prowadzenie zajęć dydaktycznych w języku polskim na Politechnice Opolskiej na kierunkach (szczegółowy wykaz w załączniku E):

- **automatyka i robotyka,**
- **inżynieria biomedyczna,**
- **informatyka.**

Nauczane przedmioty na przestrzeni lat, począwszy od roku 2008, w formie: wykłady/ćwiczenia/laboratoria/seminaria/projekty to:

- Techniki internetowe w Automatyce,
- Wykład monograficzny,
- Podstawy Automatyki i Regulacji Automatycznej,
- Systemy operacyjne,
- Systemy ekspertowe,
- Problemy neuroinformatyki w zastosowaniach automatyki (*autorski przedmiot wchodzący w regularny plan studiów*),
- Metody sztucznej inteligencji,
- Informatyka w automatyce,
- Nowoczesne techniki w automatyce i robotyce (*autorski przedmiot wchodzący w regularny plan studiów*),
- Programowanie systemowe,
- Podstawy teorii sygnałów i systemów,
- Eksploracja danych,
- Systemy operacyjne II,
- Algorytmy i Struktury danych,
- Informatyka II (Programowanie w języku JAVA),
- Informatyka I,

- Technologia Informacyjna,
- Programowanie III (C#),
- Techniki wytwarzania wyrobów medycznych,
- Interfejsy mózg-komputer,
- Programowanie systemowe.

22. Prowadzenie zajęć dydaktycznych na Uniwersytecie Opolskim na kierunku:

- **Fizyka medyczna**

Nauczane przedmioty w formie wykładów/laboratoriów w roku akademickim 2015/2016, 2016/2017:

- Metody diagnostyczne w pomiarach medycznych,
- Neuroinformatyka.

23. Prowadzenie autorskich przedmiotów w ramach Indywidualnych planów studiów oraz Indywidualnej organizacji studiów z zakresu technologii IT od roku 2012 na Politechnice Opolskiej:

- Wirtualizacja w systemach dostarczania oprogramowania,
- Nowoczesne Interfejsy Programistyczne I,
- Wzorce projektowe w oprogramowaniu zorientowanym obiektowo,
- JavaScript - język programowania,
- RxJS w Angular,
- Nowoczesne interfejsy programistyczne II,
- Zwinne metody wytwarzania oprogramowania,
- Programowanie natywnych aplikacji mobilnych,
- Sass – Preprocesor języka CSS,
- ReactJS - Biblioteka JavaScript do tworzenia interfejsów użytkownika,
- Angular - Framework JavaScript do tworzenia aplikacji SPA.

24. Ukończenie Kursu pedagogicznego dla nauczycieli akademickich (Opole). 2012.
Politechnika Opolska.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Kandydat bierze aktywny udział w różnych działaniach organizacyjnych swojej macierzystej Uczelni, a w szczególności w zakresie:

1. **Organizator czterech edycji konferencji naukowych** (dwóch krajowych i dwóch międzynarodowych) z tematyki interfejsów mózg-komputer w latach: 2014-2021, w tym m. in. 3rd International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2018 oraz 4th International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2021. Komitet naukowy konferencji to kilkudziesięciu Profesorów z zakresu nauk medycznych, technicznych oraz humanistycznych, w tym z zagranicy. Strona www konferencji: www.bci.po.opole.pl Pełnienie funkcji: przewodniczącego komitetu organizacyjnego czterech konferencji.
2. **Pomysłodawca i organizator wizyt studyjnych** studentów kierunku inżynieria biomedyczna w roku akadem. 2017/2018 oraz 2018/2019 do jednostek medycznych (szpitali uniwersyteckich) oraz firm medycznych (Hasco-Lek, Herbapol Wrocław). Współuczestnik spotkań z Zarządami jednostek medycznych w zakresie rozwoju współpracy na linii: Uczelnia-jednostka medyczna/koncern farmaceutyczny. Politechnika Opolska.
3. **Członek Rady Dziekańskiej** Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, od roku 2019 – do obecnie.
4. **Członek Rady Wydziału** Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, kadencja 2012-2016.
5. **Twórca oraz kierownik Laboratorium Neuroinformatyki i systemów decyzyjnych** Politechniki Opolskiej działającego w ramach Instytutu Automatyki Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej. Laboratorium wyposażone jest w stanowiska naukowo-dydaktyczne do pracy w zakresie technologii interfejsów mózg-komputer. Od roku 2016 – do obecnie.

1. **Laureat Nagrody JM Rektora** za działalność dydaktyczną, 2020, Politechnika Opolska, Nagroda m. in. za zaangażowania w tworzenie nowych programów kształcenia na kierunku inżynieria biomedyczna.
2. **Laureat Nagrody JM Rektora** za działalność organizacyjną, 2012, Politechnika Opolska, Nagroda za zaangażowania w tworzenie nowych programów kształcenia na kierunku automatyka i robotyka.
3. **Laureat Nagrody Dziekana** Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej za organizację 3rd International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces BCI 2018, 2018, Politechnika Opolska, Konferencja przyciągnęła blisko 500 uczestników i była największym tego typu wydarzeniem na uczelni w roku 2018.
4. **Koordynator współpracy** ze strony Politechniki Opolskiej ze Społecznym Językowym Liceum Ogólnokształcącym im. Alberta Einsteina od roku 2019 – do obecnie.
5. **Pełnomocnik Prodziekana ds. nauki** WEAI PO w zakresie współpracy z firmami w ramach przedmiotu Nowoczesne Technologie w Automatyce (kierunek: AiR). Opracowanie bazy firm z branży Automatyki i robotyki na potrzeby wykładu Nowoczesne Technologie w Automatyce – Politechnika Opolska (2012-2016).
6. **Członek Komisji ds. przyznawania dotacji celowej** na finansowanie działalności NBS dla młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, 29.10.2018.
7. **Członek Komisji ds. Promocji** Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, od 01.2017.
8. **Członek Komisji ds. 50-lecia** Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej, wrzesień-listopad 2016.

9. **Członek kolegium elektorów** w ramach wyborów dziekańskich na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Opolskiej w roku 2020.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

Kandydat popularyzował naukę poprzez następujące działania:

1. **Udział w projektach:** „Techniczna PObudka – program rozwoju zainteresowań technicznych dzieci i młodzieży z regionu opolskiego”, „Techniczna PObudka – program rozwoju zainteresowań technicznych dzieci i młodzieży z regionu brzeskiego”, „Techniczna PObudka – program rozwoju zainteresowań technicznych dzieci i młodzieży z regionu kędzierzyńsko – kozielskiego” – przygotowanie serii wykładów pt.: Magia sterowania komputerem za pomocą mózgu, Opole 2017, projekty finansowane przez MNiSW. Politechnika Opolska.
2. **Prowadzenie wykładu** pt.: „Interfejsy mózg-komputer – przyszłość inżynierii biomedycznej” w ramach **Ogólnopolskiego Tygodnia Kariery 2018**, Organizator: Akademickie Biuro Karier PO, 18.10.2018, Aula WWFiF Politechniki Opolskiej.
3. **Prowadzenie wykładu** pt.: „Interfejsy mózg-komputer” w ramach **Ogólnopolskiego Tygodnia Kariery 2017**, Organizator: Akademickie Biuro Karier PO, 19.10.2017, Aula WWFiF Politechniki Opolskiej.
4. **Współpraca z mediami:** wywiad w GW Opole (08.2013); wywiad w Radio Opole – audycja Wyzwania, prowadzący Z. Górniak (10.2013); wywiad w Radio Opole – współpraca transgraniczna Polska-Czechy (04.2015); wywiad na temat Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych wyemitowany w TVP1, TVP2, TVP3 (01.2016); wywiad w programie TVP: O!polskie o poranku na temat BCI (02.2016); udział w Programie Technologie w Radio Opole, prowadzący: W. Kolbusz (03.2016); wywiad w Radio Opole na temat kierunku inżynieria biomedyczna (16.03.2016); wywiad w radio TOK FM na temat technologii BCI (luty 2017); wywiad w Radio Opole na temat sztucznej inteligencji (02.2018); wywiad w Radio Opole na temat Konferencji IC BCI 2018 Opole (13.03.2018).


5. **Prowadzenie kursu z Podstaw programowania dla Uczniów I Publicznego Liceum Ogólnokształcącego im. M. Kopernika w Opolu w roku szkolnym 2019/2020, 2020/2021.**
6. **Promocja Laboratorium Neuroinformatyki i Systemów Decyzyjnych Politechniki Opolskiej w dniu 23 maja 2016 – warsztaty dla uczniów szkół średnich z województwa łódzkiego.**
7. **Prowadzenie wykładu w ramach XI Opolskiego Festiwalu Nauki, Tytuł wykładu: Brain Computer Interfaces, Organizator: Politechnika Opolska i Uniwersytet Opolski, uczelnie z regionu Opolszczyzny, 27 czerwiec 2013 godz. 9.00, Opole, Wykład popularno-naukowy.**
8. **Prowadzenie wykładu w ramach X Opolski Festiwal Nauki, Tytuł wykładu: Brain Computer Interfaces, Organizator: Politechnika Opolska i Uniwersytet Opolski, uczelnie z regionu Opolszczyzny, 25 czerwiec 2012, Opole, Wygłoszenie referatu.**
9. **Prowadzenie wykładu w ramach Opolskiego Salonu Maturzystów Perspektywy 2013, wykład popularno-naukowy pt. Innowacyjne sposoby sterowania komputerem, 20 września 2013, Opole, Politechnika Opolska.**
10. **Udział w projekcie: Dziecięca Politechnika Opolska, wykłady w Opolu oraz Strzelcach Opolskich, 14 kwietnia 2018, Politechnika Opolska.**

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej

Kandydat systematycznie bierze udział w różnych szkoleniach doskonalących umiejętności, w tym m. in. organizowanych przez czołowe firmy z zakresu nowych technologii: **Huawei, IBM, Intel, HP:**

1. Udział w szkoleniu – Huawei Eco-Connect, Organizator: Huawei, Warszawa, 24 listopad 2020
2. Udział w szkoleniu - Think Digital Summit Poland, Organizator: IBM, Warszawa, 16-17 września 2020
3. Udział w szkoleniu – ScienceDirect – wyszukiwanie zaawansowane – 09.06.2020, Organizator: Elsevier Polska
4. Udział w szkoleniu – The Book Publishing Process: An Elsevier Author Workshop – 03.06.2020, Organizator: Elsevier
5. Udział w szkoleniu – HPE Technology Roadshow 2020 – Idealny sposób dostarczania rozwiązań IT: EaaS. E = Everything – 9 czerwca 2020, Organizator: Intel, HP, (Warszawa)
6. Udział w szkoleniu – „VMware@IBM Cloud – chmura hybrydowa w praktyce” - 27 maja 2020, Organizator: IBM (Warszawa)
7. Udział w szkoleniu – Best in Cloud 2020 – 20 maja 2020, Organizator: IDG Poland S.A. (Warszawa)
8. Udział w szkoleniu – Huawei ICT Day – 28 kwietnia 2020, Organizator: Huawei (Warszawa)

9. Udział w szkoleniu – Obsługa Jednolitego Systemu Antyplagiatowego (JSA) – 21.01.2018, Organizator: Ośrodek Przetwarzania Informacji (Warszawa)
10. Udział w szkoleniu – Możliwości aplikowania o środki na badania naukowe z różnych źródeł – 24.10.2016, Organizator: Biuro Obsługi Badań Naukowych PO (Opole)
11. Ukończenie kursu – Społeczne skutki korupcji – 14.09.2016, Organizator: Centralne Biuro Antykorupcyjne
12. Ukończenie kursu – Korupcja w biznesie – 13.09.2016, Organizator: Centralne Biuro Antykorupcyjne
13. Ukończenie kursu – Korupcja w administracji publicznej – 12.09.2016, Organizator: Centralne Biuro Antykorupcyjne
14. Członek Wolnego Stowarzyszenia Edukacyjnego Regionu Opolskiego z siedzibą w Opolu do roku 2019 – do obecnie.
15. Członek Sądu Koleżeńskiego Wolnego Stowarzyszenia Edukacyjnego Regionu Opolskiego z siedzibą w Opolu do roku 2019 – do obecnie.


.....
(podpis wnioskodawcy)

**ZAŁĄCZNIK A – PUBLIKACJE WYKAZANE JAKO
GŁÓWNE OSIĄGNIĘCIE STANOWIĄCE WKŁAD DO
DYSCYPLINY**

**ZAŁĄCZNIK B – POTWIERDZENIA WSPÓŁPRACY Z PKT.
5 AUTOREFERATU**

ZAŁĄCZNIK C – WYPROMOWANI ABSOLWENCI

**ZAŁĄCZNIK D – WYKAZ PROWADZONYCH ZAJĘĆ W
RAMACH WYMIANY MIĘDZYNARODOWEJ ERASMUS+**

**ZAŁĄCZNIK E – WYKAZ PROWADZONYCH ZAJĘĆ
DYDAKTYCZNYCH NA PRZESTRZENI LAT 2008-2021**