

# **BADANIA ELEKTROENCEFALOGRAFICZNE W OCENIE AKTYWNOŚCI PRACY MÓZGU**

TOMASZ PRAUZNER<sup>1</sup>, KACPER PRAUZNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Pedagogiki  
Wydział Nauk Społecznych  
Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy  
im. Jana Długosza w Częstochowie

<sup>2</sup>Warszawski Uniwersytet Medyczny w Warszawie

## **Streszczenie**

Praca posiada charakter pogładowy, pomimo iż zawartość merytoryczna dotyczy badań naukowych. Przedstawiono w niej znaczenie badań elektroencefalograficznych EEG nie tylko w medycynie, ale przede wszystkim skupiono się na wykorzystaniu badań QEEG w rozwiązywaniu problemów w naukach pedagogicznych. Metoda ta posłużyła do obserwacji występowania określonych fal generowanych przez mózg w ocenie aktywności poznawczej w trakcie uczenia się. Ze względu na obszerność tematyczną rozważanego problemu, należy ją rozpatrywać jako pracę przekrojową, a osoby zainteresowane szczegółowymi wynikami badań autorów zachęcamy do analizy literatury zamieszczonej w podsumowaniu pracy.

**Słowa kluczowe:** programy symulacyjne, badania elektroencefalograficzne, QEEG, proces poznawczy, modelowanie

## **Wstęp**

Jedną z metod diagnostycznych służącej do badania bioelektrycznej czynności mózgu zaliczanych do metod bezinwazyjnych, są badania elektroencefalograficzne, występujące w literaturze pod nazwą badań EEG, (czyli elektroencefalografia). Innym pojęciem, towarzyszącym tej metodzie badań jest biofeedback, czyli w tłumaczeniu „biologiczne

sprężenie zwrotne”. Inne określenie towarzyszące tej metodzie to neurotrening znany jest również jako: neurofeedback, eeg biofeedback, biofeedback eeg, mindfeedback, brainfeedack, cerebrofeedback, neurologiczne biologiczne sprzężenie zwrotne, neuroterapia, rehabilitacja mózgu, trening mózgu. Nie wchodząc w głębsze dyskusje, co do definicji pojęć, biofeedback jest to metoda, która dostarczająca badaczowi informacji zwrotnej za pomocą aparatury pomiarowej, opartej na technologii odczytu impulsów elektrycznych na skórze człowieka. Monitorowanie jest, więc jedną z funkcji takiej aparatury do określenia stanu fizjologicznego i psychicznego człowieka. Biofeedback wykorzystywany jest również w celach terapii w różnych dolegliwościach stanu psychicznego osoby. Pojęcie biofeedbacku jest niezwykle obszerne, albowiem istnieją różne odmiany tej metody w zależności od specyfiki czynnika pomiaru i co z tym jest związane budową aparatury. W literaturze wspomina się oprócz badań EEG również o: Biofeedback EMG, GSR, HEG, HRV, oddechowy, RSA, SCP, temperaturowy itd. Każda z tych metod może występować jako pojedyncza metoda jak i również jako połączenie. Wszystko zależy, co i kiedy chce się mierzyć.

Powracając do myśli przewodniej rozważań, oprócz znaczenia medycznego, można metodę EEG, a ściślej QEEG (mapowanie badań EEG) wykorzystać również i do innych celów. Jednym z takich przykładów, jest pomiar aktywności mózgu w trakcie uczenia się. W ujęciu pedagogicznym pojęcie uczenia się jest definiowane często, jako proces poznawczy prowadzący do modyfikacji zachowania osobnika pod wpływem doświadczeń. W ujęciu medycznym, pod tym pojęciem kryją się oczywiście określone procesy biologiczne, a ściślej reakcje chemiczne zachodzące w naszym układzie nerwowym. Tu wkracza się ponownie w aspekt pamięci krótko i długotrwałej oraz procesów poznawczych prostych i złożonych. Przykładem takiego praktycznego wykorzystania aparatury pomiarowej są badania prowadzone od 2013 roku w Laboratorium Badań Eksperymentalnych Biofeedback, które funkcjonuje w Uniwersytecie Humanistyczno-Przyrodniczym im. Jana Długosza w Częstochowie. Laboratorium to działa, jako ośrodek naukowo-badawczy skategoryzowany, jako Centrum Doskonałości. Celem prac ośrodka jest prowadzenie badań nad ludzkim mózgiem, w szczególności w ramach badań biofeedback. W zakresie prac naukowych prowadzone są tam między innymi autorskie badania laboratoryjne nad aktywnością poznawczą w dydaktyce. Co istotniejsze, głównym zainteresowaniem autorów jest ocena tej aktywności dydaktycznej w procesie uczenia się politechnicznego z wykorzystaniem programów komputerowych - symulacyjnych. Obecnie funkcjonuje się w epoce swobodnego dostępu do Internetu i wykorzystywania technologii informatycznych w wielu aspektach życia. Dlatego też, proces cyfryzacji w procesie kształcenia będzie coraz bardziej

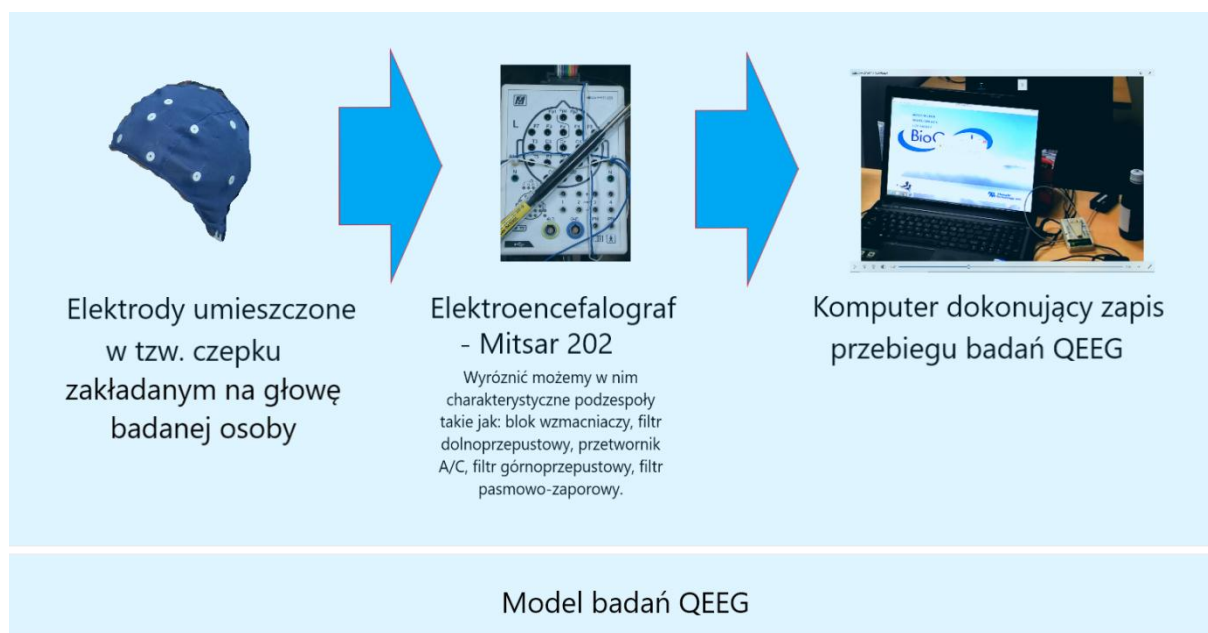
dostrzegalny, a więc kolejnym etapem badań mogą być badania dotyczące zdefiniowania metodycznego nowych platform edukacyjnych (środowisk kształcenia ustawicznego) wykorzystujące neuronowe sprzężenie zwrotne, jako element samokontroli jakości procesu uczenia się. W tym obszarze zainteresowań, można również wykorzystać metodę badań elektroencefalograficznych do realizacji indywidualnego procesu uczenia się i jego sterowaniem dzięki bezpośredniej obserwacji aktywności mózgu.

### **Założenia badań encefalograficznych EEG**

Przyjęcie określonej metodologii badań nad aktywnością poznawczą jest w dużym stopniu uzależnione od możliwości technicznych aparatury pomiarowej w badaniach EEG. Elektroencefalograf to w uproszczeniu wzmacniacz o dużym współczynniku wzmocnienia napięć elektrycznych (ich amplitudy), rejestrowanych przez czujniki o niezwykle małych wartościach, jakie występują na powierzchni skóry głowy. Neurony w mózgu połączone są ze sobą poprzez synapsy. Kiedy ładunek elektryczny przekazywany jest do synapsy może wywołać uwolnienie niewielkiej ilości substancji chemicznej zwanej neuroprzekaźnikiem. Neuroprzekaźniki przenikają przez synapsy, przenosząc impulsy z jednej komórki nerwowej na drugą. Dotychczas zidentyfikowano dziesiątki rodzajów neuroprzekaźników. Neuroprzekaźnik jest, więc związkem chemicznym, którego cząsteczki przenoszą sygnały pomiędzy neuronami (komórkami nerwowymi) poprzez synapsy, a także z komórek nerwowych do mięśniowych lub gruczołowych. Najbardziej rozpowszechnionymi neuroprzekaźnikami są: glutaminian, GABA, acetylocholina, noradrenalina, dopamina i serotonina. Napięcia te, (czyli różnice potencjałów) pojawiają się w różnych częstotliwościach i wartościach oraz w różnych miejscach naszego ciała, a najbardziej zauważalne są właśnie na skórze głowy. Bliskość naszego mózgu sprawia, iż potencjały te w tym obszarze są największe. Analiza literatury medycznej, pokazuje że istnieje ścisły związek występowania poszczególnych fal (zmiany częstotliwości potencjałów napięć) pomiędzy różnymi punktami na naszej głowie, a bliskością występowania poszczególnych części naszego mózgu (np. płatów). Co więcej, korelacja tych sygnałów ma swoje źródło również w różnych stanach psychofizycznych człowieka. Możemy, więc nie tylko badać impulsy tzw. wywołane (ERP), ale możemy również określić ich prawidłowość występowania, które są efektem poprawnej czy też zaburzonej pracy organizmu.

W badaniach autorskich metodą QEEG, wykorzystuje się między innymi aparaturę pomiarową marki Mitsar 202. Badania QEEG (inaczej - mapowanie mózgu; z ang. quantitative - czyli "ilościowe" EEG) są metodą pomiarową opartą na większej ilości

czujników w odróżnieniu do typowych badań EEG, dzięki czemu możemy wyznaczyć topologię występowania określonych fal na obserwowanej powierzchni. Do podłączania elektrod stosuje się międzynarodowy system 10-20.



**Ryc. 1.** Model badań QEEG z wykorzystaniem aparatury Mitsar 202

Jeśli chodzi o badania EEG prowadzone w kierunku czysto medycznym, to przede wszystkim stosuje się je w diagnostyce epilepsji. Dzięki badaniu możliwe jest sprawdzenie, jakie formy leczenia będą najbardziej odpowiednie. Oprócz tego, badania te są również niezwykle pomocne przy wskazaniach przyczyn zaburzeń snu (pozwalają określić, w jakim rodzaju śpiączki jest chory). Niekiedy EEG przydaje się przy ocenie, w jakim stanie jest mózg po zatruciu środkami neurotoksycznymi. Lekarz prowadzący może zlecić EEG głowy po różnego rodzaju urazach. Wskazaniem do wykonania EEG są też zmiany, które mają podłoże w układzie nerwowym. Chodzi tu zwłaszcza o niewyjaśnione omdlenia, zasłabnięcia, utratę równowagi czy symptomy dotyczące narządy zmysłów np. zaburzenia wzroku czy słuchu. Badanie EEG zlecane jest również przy częstych bólach głowy. Elektroencefalografia głowy pozwala również wykryć w niektórych przypadkach przyczyny jąkania się [1]. Neurofeedback polega również na świadomej obserwacji zmian zachodzących w aktywności naszego mózgu i zamianie nieprawidłowego rytmu na pożądany. Oscylacje fal, czyli ciągłe zmiany amplitudy określonych pasm częstotliwości są rejestrowane za pomocą EEG podłączonego do komputera. Informacja zwrotna, jaką otrzymuje pacjent o aktywności swoich fal mózgowych, wyświetlana jest na monitorze obserwowanym przez pacjenta. Jego zadaniem jest zmiana aktywności fal mózgowych podczas obserwowania bieżącej rejestracji

sygnału EEG. Taki trening dla pacjenta ma za zadanie wzmocnienie fal pożądaných, a osłabienie tych zbędnych.

## **Cel i zakres badań naukowych**

Od roku 2010 w ramach dofinansowania z środków unijnych, prowadzone są badania naukowe również w Laboratorium Badań Eksperymentalnych Biofeedback Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego im. Jana Długosza w Częstochowie. Badania prowadzone są w różnych kierunkach naukowych, jednak głównym kierunkiem autorów dotyczy głównego problemu badawczego: *Czy i w jakim stopniu wykorzystanie deterministycznych symulacji komputerowych w kształceniu technicznym ma wpływ na wzrost efektywności kształcenia w porównaniu do tradycyjnych metod dydaktycznych stosowanych na zajęciach laboratoryjnych?* Na tle dotychczasowych badań, wydane zostały dwie monografie naukowe [2, 3]. Próba odpowiedzi na postawiony problem badawczy oparta została nie tylko na klasycznych badaniach pedagogicznych opartych na statystycznych obliczeniach uzyskanych ocen w tzw. grupach porównawczych (eksperymentalnych i kontrolnych), ale również za pomocą obserwacji zmian zachodzących w układzie nerwowym metodą QEEG. Zauważono, iż w trakcie nauki, a uściślając podczas rozwiązywania zadań problemowych przy użyciu komputera, uwydatniają się określone częstotliwości fal generowanych przez mózg. Poprzez obserwację tych fal, możemy z większym czy mniejszym prawdopodobieństwem określić określoną aktywność układu nerwowego. Mózg jest złożonym narządem regulacji aktywności człowieka i składa się on z wielu rozmaitych struktur pełniących różną rolę w regulacji zachowania się. W procesie uczenia się i zapamiętywania zaangażowane są różne części mózgu, szczególnie: układ limbiczny (układ przekazujący efekty nastroju na zachowanie się człowieka i utrzymujący wewnętrzną równowagę organizmu - homeostazę) oraz hipokamp (niewielka struktura znajdująca się w płacie skroniowym kory mózgowej kresomózgowia, przechowuje on wspomnienia o przeszłości.) Wszystkie części mózgu, które przekazują informacje z narządów zmysłów (np. wzgórze) do półkul, są szczególnie istotne w procesie uczenia się. Ogólnie ujmując, im większą ilością kanałów impulsy napływają do kory mózgowej i im bardziej są one wzmocnione przez np. pozytywne emocje lub wrażenia zmysłowe, tym większe prawdopodobieństwo ich zapamiętania „na zawsze”. W procesie nauki należy angażować cały mózg: prawą, lewą półkulę, układ limbiczny oraz zmysły. Dlatego też uczenie opiera się na obserwacji (korzystaniu ze zmysłów), doświadczeniu (zapamiętywaniu) i zmianie zachowania w nowych okolicznościach [4]. W badaniach

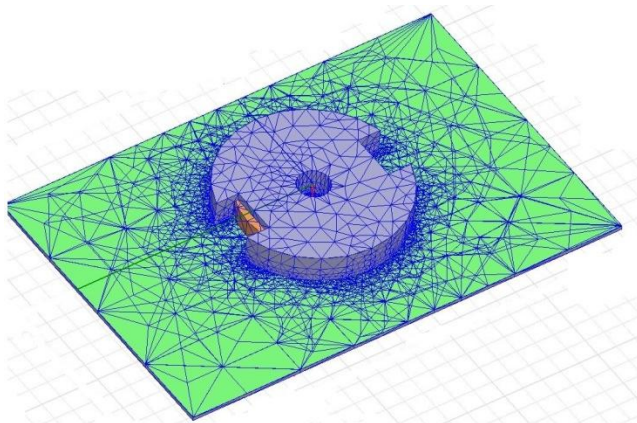
obserwowano sygnały z czujników umiejscowionych na skórze głowy, a więc sygnały powstałe na różnych poziomach przestrzeni budowy mózgu. Odzwierciedleniem pracy neuronów w postaci rejestrowanych impulsów może być również interpretowane poprzez określoną aktywność zarówno poznawczą, zachodzącą w mózgu jak i typowo ruchową ciała. Określone sygnały wyodrębniono i poddano analizie komputerowej. Osoby badane (studenci) wykonywali różne zadania problemowe w oprogramowaniu symulacyjnym, a aparatura mierzyła w tym czasie aktywność różnych częstotliwości fal w mózgu. Fale te dzieli się na podstawie ich częstotliwości, i tak wyróżniamy fale: Theta, Alfa, Beta1, Beta2, SMR i Gamma. Porównując otrzymane wyniki z wydzielonymi obszarami funkcjonalnymi oraz literaturą medyczną, można z dużym prawdopodobieństwem ustalić określoną aktywność człowieka w trakcie pracy. Należy nadmienić również, że różne częstotliwości fal powstają u człowieka również w określonych jego stanach aktywności biologicznej czy psychicznej.

Analizie poddane zostały następujące zarejestrowane przebiegi fal:

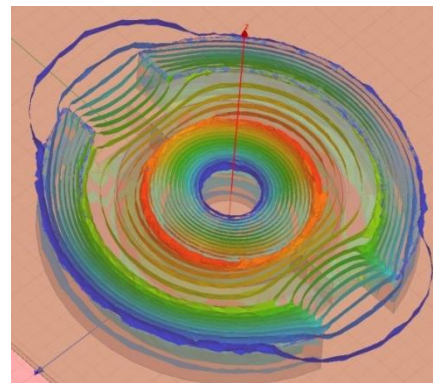
- a) THETA (fala wolna o częstotliwości 6Hz) - jest nazywana bramą do nauki i pamięci. Towarzyszy zwiększaniu kreatywność, procesom uczenia się. Redukuje stres, budzi intuicję i inne pozazmysłowe percepcje i umiejętności. Subiektywne stany emocjonalne: intuicyjny, twórczy, fantazjujący, obrazowy, twórczy.
- b) BETA1 (z grupy BETA, fala szybka o częstotliwości 16Hz) - sprzyja inspirującej energii, towarzyszy działaniu, charakteryzuje logiczne i analityczne myślenie, zaangażowanie intelektualne, werbalną komunikację. Wyższe częstotliwości fal Beta obrazują stres, agresję, strach. Subiektywne stany emocjonalne: Pobudzenie i czujność, umysł jest skupiony. Zadania wykonywane są szybko, łatwo, pracuje z pełną uwagą. W tym stanie neurony przekazują impulsy w błyskawicznym tempie. Towarzyszy szybkiemu rodzeniu się nowych pomysłów. Są też pomocne w przygotowywaniu się do egzaminu, uprawianiu sportu, prezentacji. Umożliwiają prezentację, szybką analizę i organizowanie informacji i każdą inną działalność, gdzie potrzebny jest świeży, szybko działający mózg, kluczowe narzędzie dla uzyskania sukcesu.
- c) GAMMA (fale szybkie o częstotliwości 40Hz) - obrazuje subiektywne stany emocjonalne: integracyjne myślenie, procesy skojarzeniowe. Czynności i zachowania: przetwarzanie informacji o najwyższym stopniu trudności, wiążące różne modalności i skojarzenia. Uważa się, iż prezentują najbardziej wydajną pracę umysłową i twórczą. Jak wykazały badania, ich amplituda wzrasta, gdy osoba badana koncentruje uwagę na źródle bodźca. Funkcjonalna rola tych oscylacji wydaje się być związana z łączeniem cech obiektu w jego spójną reprezentację wstecznego modelu [5].

Po wstępnym omówieniu podstawowych pojęć oraz wiadomości z zakresu badań EEG, przedstawiona zostanie przyjęta metodologia badań własnych w zakresie przyjętego problemu badawczego. Poniżej przedstawione zostaną również przykładowe efekty takich badań oraz uogólnione z tego płynące wnioski końcowe. Jak już wstępnie wspomniano, w niniejszym przypadku interesować nas będą przede wszystkim te częstotliwości przebiegów (fal), których moc oraz dysproporcja występowania w ściśle określonym etapie badań, wskazywałyby na zmianę charakteru pracy mózgu pod wpływem określonych bodźców. Badania przeprowadzane były w laboratorium celowo do tego przygotowanym. Chodzi tu przede wszystkim o przygotowanie miejsca badawczego, które byłoby w jak najmniejszym stopniu poddane zakłóceniom ze źródeł zewnętrznych, co wpływa niekorzystnie na ostateczny wynik pomiaru. W tym celu stanowisko badawcze znajdujące się w budynku Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego UJD, zostało odseparowane od wszelkich dźwięków zewnętrznych, drgań jak i zakłóceń elektrycznych sieci energetycznej oraz pól elektromagnetycznych pochodzących z sąsiednich laboratoriów i w nich znajdujących się urządzeń elektrycznych. Jak ukazały autorskie badania, na dokładność rejestrowanych sygnałów służących do dalszej obróbki, mają czynności przygotowawcze i organizacyjne stanowiska pracy [6]. Do badań przystąpili ochotnicy, albowiem badania te w powszechnej ocenie studentów są spostrzegane za niezwykle inspirujące i wzbudzające ciekawość. Oczywiście przed badaniami wykonywany był tzw. wywiad odnośnie stanu zdrowia badanych osób, dotyczących chociażby takich informacji o przebytych chorobach, przyjmowanych lekarstwach itp. Każda z badanych osób, a byli nimi studenci studiów inżynierskich na kierunku Inżyniera Bezpieczeństwa, miała za zadanie opracowanie określonego projektu technicznego z wykorzystaniem komputera i programu symulacyjnego. W badaniach wykorzystywano różne rodzaje programów, co również dokładniej opisano w autorskich publikacjach. Reasumując, programy te różniły się pod względem stopnia ich złożoności (budowy algorytmicznej) oraz trudności w ich obsłudze wynikających chociażby z języka obsługi menu, użytej terminologii oznaczeń pulpitu obsługi itp. Przykładowo, jednym z projektów, jakie otrzymali studenci do wykonania było opracowanie modelu symulacyjnego czujnika elektromagnetycznego wykorzystywanego w urządzeniach do pomiaru warstw zewnętrznych nieferromagnetycznych na materiałach ferromagnetycznych. Obrazując w skrócie, czujnik taki zbudowany jest z rdzenia ferromagnetycznego z nawiniętymi na nim dwoma cewkami - nadawczą i odbiorczą. Przez uzwojenie nadawcze podaje się określone częstotliwości napięć zmiennych, które rozchodzą się w badanej

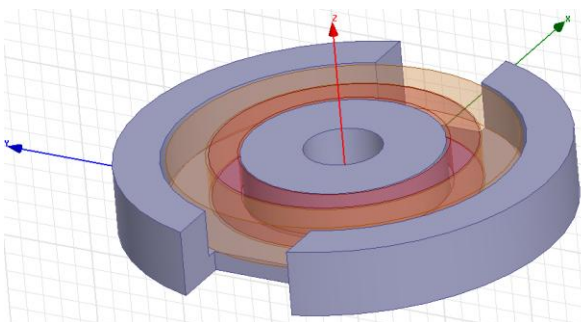
warstwie ferromagnetycznej, a w uzwojeniu odbiorczym pod ich działaniem indukuje się siła SEM (siła elektromotoryczna), której amplituda uzależniona jest od grubości badanej warstwy ochronnej materiału (nie-ferromagnetycznej). Zmiany te rejestruje się na oscyloskopie cyfrowym, następnie dokonuje się szczegółowych pomiarów i na tej podstawie określa grubość warstwy nie-ferromagnetycznej np. ochronnej na konstrukcji metalowej. Takie czujniki wykorzystuje się na przykład w technice do pomiaru grubości warstw lakierniczych (ochronnych) konstrukcji stalowych. Punktem wyjścia dla pracy były założenia zadania projektowego, według którego student miał zaprojektować taki czujnik, który spełniłby wszelkie wymagania konstrukcyjne w projekcie. W tym celu, student mógł wykorzystać specjalistyczne oprogramowanie Ansys Maxwell z grupy programów opartych na MES tzw. metodzie elementów skończonych. Jak widać, jest to zadanie złożone, albowiem polega nie tylko na graficznym zaprojektowaniu modelu symulacyjnego czujnika, ale również na przeprowadzeniu w tym programie pełnej symulacji komputerowej oraz opracowanie układów elektronicznych mierzących parametry jego pracy (ryc.2-5).



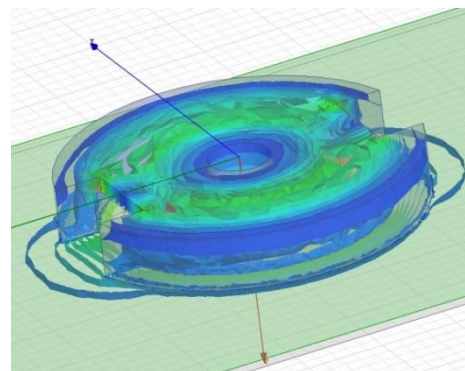
**Ryc. 2** Model czujnika z nałożoną siatką MES



**Ryc. 3** Wizualizacja rozchodzenia się indukcji magnetycznej w cewce odbiorczej



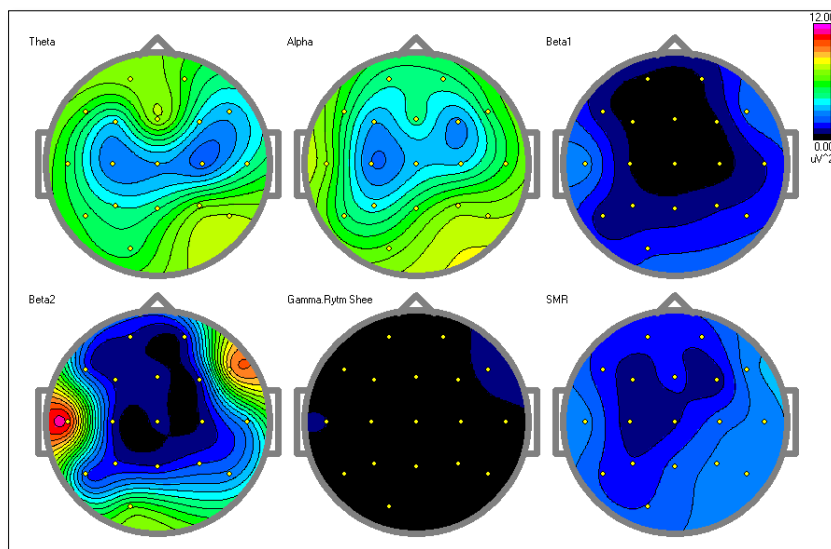
**Ryc. 4** Uproszczony model rdzenia ferro z dwoma cewkami



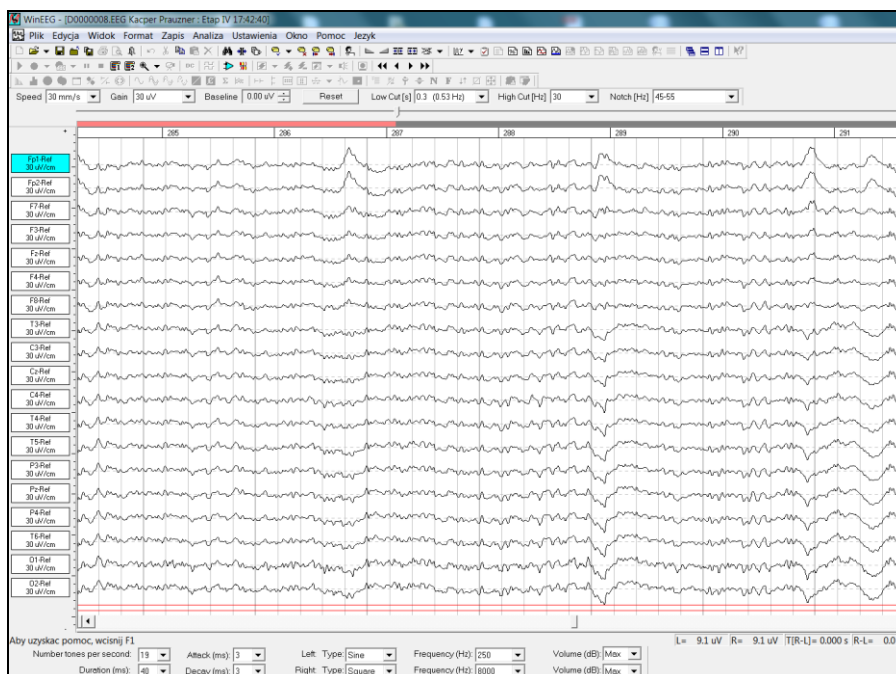
**Ryc. 5** Wizualizacja natężenia pola magnetycznego w czujniku



W tym samym czasie na stanowisku badawczym metodą QEEG, dokonano pomiarów aparaturą Mitsar 202. Uzyskany efekt pomiarów poddany został następnie obróbce, przede wszystkim pozbawieniu wszelkich zbędnych artefaktów. Oczyszczony przebieg posłużył w końcowym etapie badań do wizualizacji pracy mózgu i obserwacji aktywności poszczególnych fal. Na tej podstawie wizualizowano mapę mocy widma (ryc. 6, 7).



Ryc. 6 Przykładowa mapa mocy widma EEG dla wybranych częstotliwości [7]



Ryc. 7 Rejestracja fal w programie WINEEG [8]

Podobną mapę mocy wykonywano wielokrotnie dla określonych, wcześniej oznaczonych na przebiegu fal, etapów pracy studenta. Przedstawiona powyżej metodologia badań, przedstawiona w formie niezwykle uproszczonej, posłużyła do obserwacji aktywności interesujących nas fal w trakcie aktywności człowieka z różnymi rodzajami oprogramowania symulacyjnego. Na podstawie aktywności wybranych fal wysunięto szereg wniosków, które potwierdziły lub odrzuciły założone hipotezy badawcze postawione w problemie badawczym.

## **Wnioski**

Konkludując, metoda badań elektroencefalograficznych jest jedną z dostępnych metod badań, nieinwazyjną i możliwą do wykorzystania nie tylko w zakresie medycznym, ale również, jak powyżej przedstawiono, w aspekcie chociażby pedagogicznym. Dzięki tej metodzie, zakres badań w obrębie nauk społecznych nabiera nowych, innowacyjnych możliwości. Jak każda technika badań ma i ona swoje wady. Wynikają one przede wszystkim z niedostatecznej rozdzielczości pomiarów, albowiem ograniczona liczba czujników na głowie wpływa na aproksymację wyników aktywności pewnych obszarów mózgu. Na rzetelność wyników ma duży wpływ również staranność obróbki zarejestrowanych „surowych” sygnałów, które wymagają skomplikowanych procesów przeliczeń matematycznych [9]. Jak pokazują badania [10], zaobserwować można przede wszystkim dużą aktywność fal: Beta1, Beta2 i SMR podczas pracy przy komputerze z programami symulacyjnymi. Ich lokalizacja występowania w mózgu oraz amplituda sygnałów jest szczegółowo interpretowana i na tej podstawie wyciągane są odpowiednie wnioski. Porównując otrzymane wyniki z wydzielonymi obszarami funkcjonalnymi oraz literaturą medyczną, można z dużym prawdopodobieństwem ustalić określoną aktywność człowieka w trakcie pracy [11]. Należy również mieć na uwadze, iż lokalizacja pomiaru określonych fal w ujęciu topograficznym, nie zawsze odzwierciedla źródło pochodzenia tych fal, albowiem wpływ na jej lokalizację mają różne czynniki wynikające chociażby z indywidualnych różnic budowy ciała badanej osoby. Dlatego też, badania tą metodą są prowadzone przez autorów, jako rozszerzenie prowadzonych badań metodą analityczną.

## Bibliografia

1. Dębski A.: EEG (elektroencefalografia) – wskazania, przebieg. Na czym polega EEG głowy? URL: <http://www.medonet.pl>, (dostęp: 27.06.2020)
2. Prauzner T.: Dydaktyczne uwarunkowania rozwijania samodzielnego myślenia i działania studentów w kształceniu technicznym. Częstochowa: Wydawnictwo im. Stanisława Podobińskiego Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, 2016.
3. Prauzner T.: Konstrukttywizm w procesie wielostronnego kształcenia jako odpowiedź na aktualne problemy edukacji. Częstochowa: Wydawnictwo im. Stanisława Podobińskiego Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie, 2018.
4. Cyranek M.: Mózg i jego możliwości, czyli o uczeniu się (nie tylko człowieka) słów kilka. <http://www.eszkola-wielkopolska.pl> (dostęp: 30-06-2012)
5. Prauzner T.: Cognitive mechanisms in the didactics of technical vocational subjects in the light of research on bioelectrical brain activity. Proceedings of the International Scientific Conference. Society. Integration. Education, I, 2018: 454–463.
6. Prauzner T., Prauzner K., Ptak, P., i wsp.: Wpływ warunków otoczenia na dokładność badań elektroencefalograficznych QEEG (The influence of environmental conditions on the accuracy of QEEG electroencephalography). Przegląd Elektrotechniczny, R. 96 NR 4/2020: 86-89.
7. Prauzner T., Prauzner, M., Prauzner, K.: Aktywność pracy mózgu w procesie dydaktycznym w ujęciu badań elektroencefalograficznych. Edukacja – Technika – Informatyka, 2019: 321-317.
8. Prauzner T., Prauzner M., Prauzner K.: Ocena aktywności poznawczej w ujęciu aktualnych badań QEEG. Edukacja – Technika – Informatyka, 3/25/ 2018: 133-138.
9. Allen P.J., Josephs O., Turner R.: A method for removing imaging artifact from continuous EEG recorded during functional MRI. NeuroImage, 12(2): 2000: 230–239.
10. Prauzner T.: Analysis of the results of the pedagogical research and eeg in the aspect of effective modern teaching aids in the technical education. Proceedings of the International Scientific Conference. Society. Integration. Education, IV, 2015: 480–489.
11. Thompson, M., Thompson, L.: Neurofeedback, wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej (The Neurofeedback Book. An introduction to basic concepts in applied psychophysiology). Wrocław: Biomed Neurotechnologie, 2012.