

## Rejestracja i analiza sygnału EEG na użytek neuromarketingu

**Streszczenie.** Głównym celem eksperymentów jest znalezienie w zarejestrowanych sygnałach EEG cech, które umożliwiają rozróżnienie prezentowanych bodźców dźwiękowych o wysokim i niskim pobudzeniu emocjonalnym. Do wywołania określonych emocji wykorzystano bazę dźwięków IADS. W analizie sygnału wykorzystano wskaźniki, wbudowane w strukturę użytego oprogramowania, takie jak: Attention, Meditation, Delta (1-3 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha1 (8-9 Hz), Alpha2 (10-12 Hz), Beta1 (13-17 Hz), Beta2 (18-30 Hz), Gamma1 (31-40 Hz), Gamma2 (41-50 Hz). Wykazano, że wskaźniki Attention, Alpha1, Alpha2 oraz Theta są powiązane w sposób istotny statystycznie ze stanem pobudzenia osoby badanej.

**Abstract.** The main objective of the experiments is to find, in recorded EEG signals, such features that allow to distinguish the presented sound stimuli with high and low emotional arousal. To evoke certain emotions IADS sound base was used. In signal analysis parameters built into the structure of the used software, such as Attention, Meditation, Delta (1-3 Hz), Theta (4-7 Hz), Alpha1 (8-9 Hz), Alpha2 (10-12 Hz), Beta1 (13-17 Hz), Beta2 (18-30 Hz), Gamma1 (31-40 Hz), Gamma2 (41-50 Hz) were used. It has been shown that the parameters Attention, Alpha1, Alpha2 and Theta are related in a statistically significant way with the subject's state of arousal. **Registration and analysis of EEG signal for use in neuromarketing.**

**Słowa kluczowe:** neuromarketing EEG, baza IADS, emocje, analiza statystyczna.

**Keywords:** neuromarketing EEG, IADS database, emotions, statistical analysis.

### Wstęp

Neuromarketing to dziedzina wiedzy związana z bezpośrednim badaniem reakcji psychofizjologicznych człowieka (konsumenta) na oferowane produkty. Do metod badawczych neuromarketingu należą między innymi: badanie reakcji skórno-galwanicznej, elektroencefalografia, elektromiografia, funkcjonalny magnetyczny rezonans jądrowy, neuroobrazowanie.

W zakresie badań elektroencefalograficznych (EEG) wykorzystuje się nowe narzędzia diagnostyki pracy mózgu, do wykrycia podświadomych, emocjonalnych reakcji konsumenta na prezentowane bodźce [1,2]. Wpływ emocji na podejmowanie decyzji przez konsumentów, stwierdzono na podstawie szeregu przeprowadzonych do tej pory badań.

Metoda EEG, jest stosunkowo wygodna i obciążona niewielkimi kosztami [3,4]. Łatwość jej użycia wynika z faktu, że w ostatnich latach nastąpił istotny rozwój w zakresie metod rejestracji sygnałów elektroencefalograficznych, dokonywanych z użyciem elektrod rozmieszczonych na powierzchni skóry głowy.

Głównym celem eksperymentów, opisanych w artykule, jest znalezienie w zarejestrowanych sygnałach EEG cech, które różnicują prezentowane osobom badanym bodźce dźwiękowe o wysokim i niskim pobudzeniu emocjonalnym.

### Bodźce dźwiękowe

W celu wywołania pożądanego emocji wykorzystano dźwięki o wysokim i niskim pobudzeniu emocjonalnym, opisywanym ilościowo za pomocą parametru arousal. Sygnały dźwiękowe pobrano z bazy IADS (International Affective Digital Sounds) [5].

Czas trwania badania wynosił 180 sekund. Sekwencja prezentowanych, w trakcie badania, bodźców dźwiękowych była następująca:

- 1) SILENT: cisza - 20 sekund,
- 2) LOW: niski poziom arousal – 30 sekund,
- 3) SILENT: cisza – 10 sekund,
- 4) HIGH: wysoki poziom arousal – 30 sekund,
- 5) SILENT: cisza - 10 sekund,
- 6) LOW: niski poziom arousal – 30 sekund,
- 7) SILENT: cisza - 10 sekund,
- 8) HIGH: wysoki poziom arousal – 30 sekund,
- 9) SILENT: cisza - 10 sekund.

Wykorzystane dźwięki oraz średnie wartości parametru arousal, wraz z odchyleniem standardowym, zaprezentowano w Tabeli 1.

Tabela 1. Wykorzystane sygnały dźwiękowe [5]

Dźwięk	Arousal średnia	Arousal std	Typ pobudzenia
Beethoven	4,18	2,38	LOW1
Phone2	4,15	1,72	
Rain2	4,12	1,98	
Seagull	4,38	2,22	
Sink	4,23	1,89	
Victim	7,88	1,72	HIGH1
TireSkids	7,52	1,9	
Scream	8,16	2,15	
RollerCoaster	7,54	1,97	
Attack1	7,95	2,22	LOW2
BrushTeeth	4,18	1,79	
Fan	4,41	2,06	
Paper1	4,35	2,09	
Whistling	4,23	2,06	
Toilet	4,03	2,36	HIGH2
AlarmClock	7,54	2,28	
Attack2	7,79	2,01	
Buzzer	7,98	1,99	
CarWreck	7,99	1,66	HIGH2
FemScream3	7,79	1,63	

### Rejestracja sygnału EEG

W eksperymencie udział wzięło 42 ochotników, studentów Politechniki Warszawskiej, w wieku od 21 do 23 lat. Były to zarówno kobiety (7) jak i mężczyźni (35). Warto zwrócić uwagę, że osoby nie przygotowywały się do eksperymentu, a o celu i sposobie jego przeprowadzenia byli informowani tuż przed rozpoczęciem.

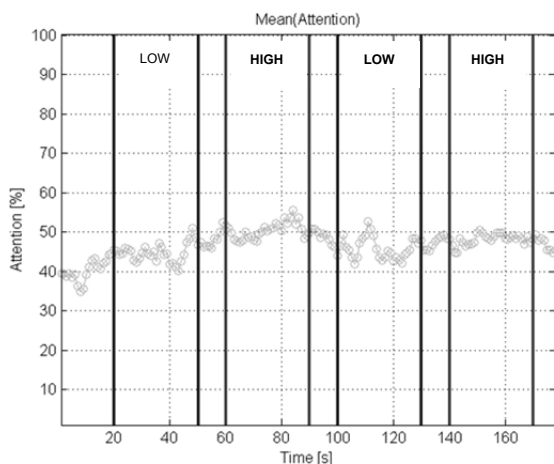
Przed przystąpieniem do eksperymentu na głowę osoby badanej nakładano 1-kanalowe urządzenie rejestrujące sygnał EEG firmy NeuroSky. Elektrode rejestrującą umieszczono w pozycji Fp1 zgodnie z standardem 10-20 [6]. Elektrode referencyjną przymocowano do płatka lewego ucha osoby badanej. Informowano osobę o możliwych

artefaktach i sposobie ich minimalizacji, a następnie proszono o przyjęcie wygodnej pozycji siedzącej, włożenie słuchawek dousznych i zamknięcie oczu.

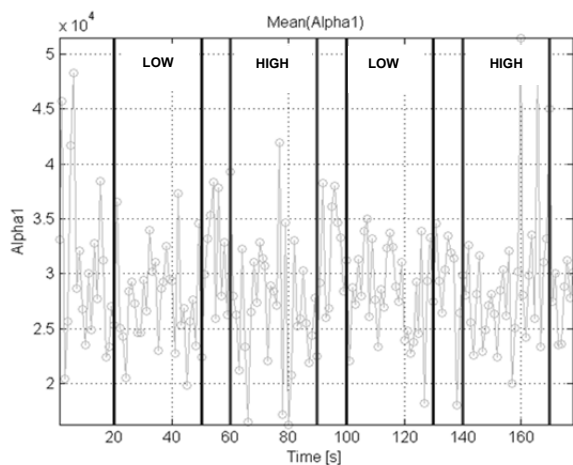
Akwizycji sygnału EEG dokonano z użyciem urządzenia MindWave, firmy NeuroSky. Bardzo istotne było zapewnienie synchronizacji prezentowanych bodźców dźwiękowych z rejestrowanymi danymi. Do rejestracji i przetwarzania sygnału EEG wykorzystano oprogramowanie firmy Neuro Innovations. Oprogramowanie to umożliwia analizę kilkunastu współczynników sygnału EEG, zdefiniowanych przez firmę NeuroSky: *Attention*, *Meditation*, *Delta* (1-3 Hz), *Theta* (4-7 Hz), *Alpha1* (8-9 Hz), *Alpha2* (10-12 Hz), *Beta1* (13-17 Hz), *Beta2* (18-30 Hz), *Gamma1* (31-40 Hz), *Gamma2* (41-50 Hz). Współczynniki te charakteryzują aktywność mózgu w poszczególnych podpasmach częstotliwości, przy czym najistotniejszym parametrem na użytek neuromarketingu wydaje się być wskaźnik uwagi (*Attention*).

### Analiza zarejestrowanych danych

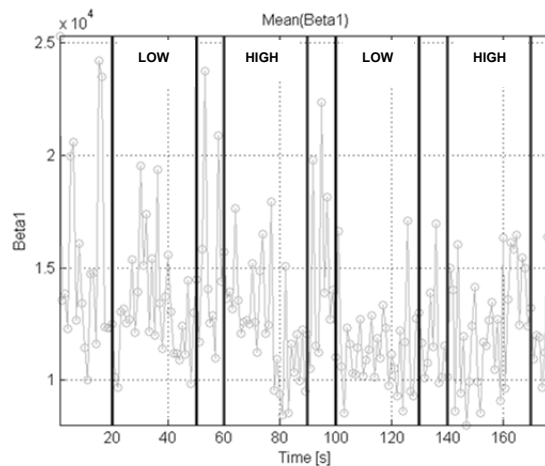
W pierwszym podejściu do analizy wykorzystano uśrednione dane zarejestrowane dla wszystkich użytkowników. Wykonano analizę zmienności wartości średnich poszczególnych wskaźników w dziedzinie czasu. Przebieg uśrednionej wartości współczynnika uwagi (*Attention*), dla wszystkich użytkowników, przedstawiono na rysunku 1. Zmienność wartości średnich zarejestrowanych rytmów *Alpha1* oraz *Beta1* zobrazowano odpowiednio na rysunkach 2 i 3.



Rys.1. Średnia wartość zarejestrowanego stanu uwagi (*Attention*) dla wszystkich użytkowników



Rys.2. Średnia wartość zarejestrowanych rytmów *Alpha1* dla wszystkich użytkowników

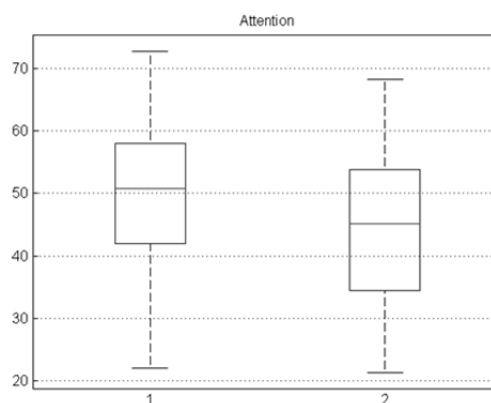


Rys.3. Średnia wartość zarejestrowanych rytmów *Beta1* dla wszystkich użytkowników

Na rysunkach 1-3 pary pionowych linii określają strefy występowania bodźców dźwiękowych o niskim pobudzeniu (LOW), wysokim pobudzeniu (HIGH) oraz strefy ciszy pomiędzy dźwiękami.

W dziedzinie czasu ważny jest efekt następstwa bodźców. Poprzedni dźwięk może wpływać na odbiór aktualnego. Na przykład, dla stanu *Attention*, największy wzrost aktywności obserwuje się dla pierwszego bodźca o wysokim pobudzeniu (rys.1).

Na rysunku 4 zamieszczono wyniki analizy statystycznej wskaźnika *Attention* uśrednionego dla wszystkich użytkowników, dla wysokiego stanu pobudzenia (pozycja 1) oraz niskiego stanu pobudzenia (pozycja 2).



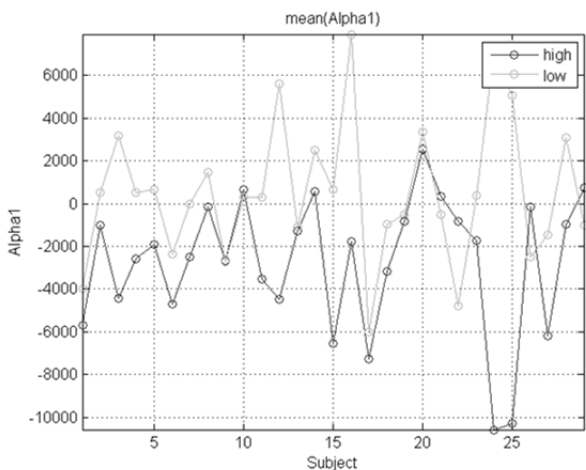
Rys.4. Analiza statystyczna wskaźnika *Attention* uśrednionego dla wszystkich użytkowników (1-HIGH, 2-LOW)

W uśrednionych dla wszystkich użytkowników wynikach można zaobserwować pewne tendencje w zakresie zmienności analizowanych wskaźników. W szczególności widać wzrost wartości wskaźnika *Attention* dla bodźców o wysokim pobudzeniu (rys.5). Uwagę zwraca również występowanie wzmoczonych rytmów *Alpha1* i *Beta1* w trakcie ciszy (rys.3 i 4). Można też zauważyć wzrost wartości parametru *Alpha1* w czasie trwania bodźców o niskim pobudzeniu. Jest to w pełni zgodne z wiedzą psychologiczną, zawartą w literaturze dotyczącej analizy emocji. Rytm alfa jest bowiem kojarzony ze stanem relaksu [7]. Okazało się jednak, że analiza danych dla wszystkich użytkowników, nie pozwoliła na zakwalifikowanie wyników jako istotne statystycznie. Otrzymano wartość współczynnika istotności  $p > 0.05$ . Wynika stąd, że uwzględnienie danych zebranych od wszystkich

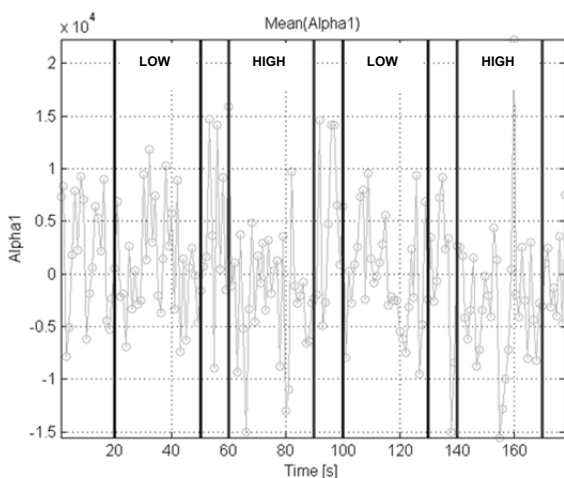
użytkowników nie wydaje się być najlepszym rozwiązaniem. Jest to następstwo kilku czynników. Pierwszy z nich dotyczy samego sposobu rejestracji sygnału EEG. Dla części użytkowników nie udało się go poprawnie zarejestrować. Może to być spowodowane występowaniem artefaktów fizjologicznych. Możliwe jest również powstanie artefaktów technicznych, spowodowanych chociażby złym dociskiem elektrody do skóry głowy, czy występowaniem makijażu [8]. Bardzo prawdopodobne jest występowanie ruchów ciała związane z prezentowanymi bodźcami. Dlatego też zdecydowano się zastosować wstępną, manualną selekcję zarejestrowanych danych i przeprowadzić analizy sygnału EEG ponownie. Takie podejście jest powszechne. Selekcja sygnałów EEG uwzględnianych do analiz przeprowadzana była w sposób wizualny przez eksperta.

### Analiza danych dla wybranych użytkowników

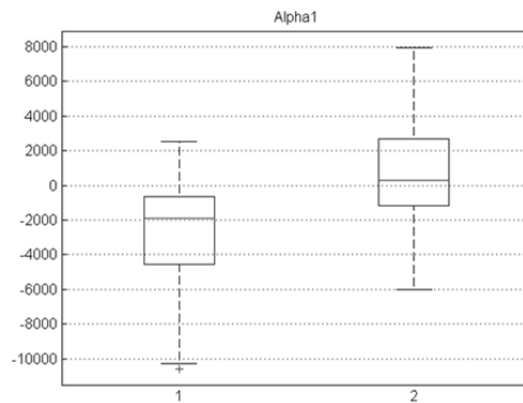
W drugim etapie eksperymentu dokonano selekcji zarejestrowanych danych, w wyniku której odrzucono najbardziej zakłócone przez artefakty sygnały, pochodzące od 12 użytkowników. Najciekawsze wyniki uzyskane dla 30 pozostałych użytkowników zaprezentowano na rysunkach 5-9. Rysunek 5 przedstawia średnią wartość wskaźnika *Alpha1* dla poszczególnych użytkowników (*Subject*). Można zaobserwować, że u większości z nich, parametr *Alpha1* osiąga większą wartość dla bodźców o mniejszym pobudzeniu LOW. Na rysunkach 6 i 8 przedstawiono średnią wartość wskaźnika *Alpha1* i *Attention* w trakcie prezentacji bodźców.



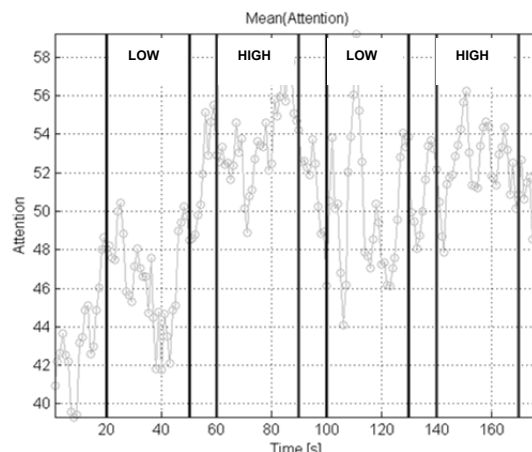
Rys.5. Stan wskaźnika *Alpha1* dla 30 użytkowników



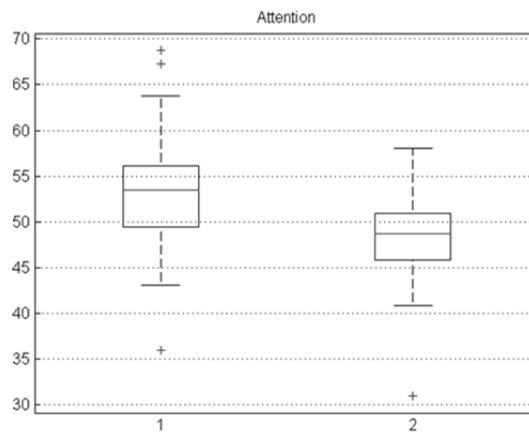
Rys.6. Uśredniony stan rytmu *Alpha1* dla 30 użytkowników



Rys.7. Analiza statystyczna wskaźnika *Alpha1* uśrednionego dla 30 użytkowników (1-HIGH, 2-LOW)



Rys.8. Uśredniony stan *Attention* dla 30 użytkowników



Rys.9. Analiza statystyczna wskaźnika *Attention* uśrednionego dla 30 użytkowników (1-HIGH, 2-LOW)

Na rysunkach 7 i 9 zaprezentowano analizę statystyczną wskaźników *Alpha1* i *Attention* dla bodźców z kategorii HIGH (1) i LOW (2).

Dla przeprowadzonej analizy istotne statystycznie okazały się wskaźniki: *Attention*, *Alpha1*, *Alpha2* i *Theta*. Zestawienie istotności otrzymanych wyników przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie istotności statystycznej wskaźników.

Wskaźnik	p	Istotność ( $p < 0.05$ )
<b>Attention</b>	<b>0.001</b>	<b>+</b>
<i>Meditation</i>	0.49	-
<b>Alpha1</b>	<b>0.0003</b>	<b>+</b>
<b>Alpha2</b>	<b>0.01</b>	<b>+</b>
<i>Beta1</i>	0.39	-
<i>Beta2</i>	0.22	-
<i>Gamma1</i>	0.3	-
<i>Gamma2</i>	0.1	-
<i>Delta</i>	0.47	-
<b>Theta</b>	<b>0.01</b>	<b>+</b>

### Wnioski

Przedstawione w artykule wyniki analiz dotyczyły parametrów sygnału EEG wyznaczonych za pomocą rejestratora MindWave, z oprogramowaniem firmy NeuroSky. Okazuje się, że wykorzystany system pozwala na diagnostykę stanu pobudzenia emocjonalnego osób, na użytek neuromarketingu. Stwierdzono, że wartości wskaźników *Attention*, *Alpha1*, *Alpha2* oraz *Theta* są powiązane, w sposób istotny statystycznie, ze stanem pobudzenia osoby badanej, który jest efektem prezentowanych bodźców dźwiękowych.

Stwierdzono, że wnioski z eksperymentów są zgodne z wiedzą neuropsychologiczną dostępną w literaturze [9,10], co dodatkowo wzmacnia stwierdzenie, że wspomniany system umożliwia diagnostykę stopnia pobudzenia użytkowników na użytek neuromarketingu.

Warto jednak rozważyć także ewentualność opracowania własnych, autorskich wskaźników, bazujących np. na statystykach wyższych rzędów (HOS), liczbie przejść przez zero (HOC), wymiarze fraktalnym (FD), współczynnikach dyskretnej transformacji falkowej (DWT), współczynnikach Hjorta, które być może pozwolą na jeszcze bardziej efektywną analizę emocji.

### LITERATURA

- [1] Renvoise P., Moris C., Neuromarketing: Understanding the buy buttons in your customer's brain, eBook, Thomas Nelson Publishers, (2007)
- [2] Yilmaz B., Korkmaz S., Arslan D.B., Gungor E., Asyali M.H., Like/dislike analysis using EEG: Determination of most discriminative channels and frequencies, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2 (2014), No. 113, 704-713
- [3] Kołodziej M., Rak R., Majkowski A., Interfejs mózg-komputer – wybrane problemy rejestracji i analizy sygnału EEG, *Przegląd Elektrotechniczny*, 85 (2009), nr 12, 277-280
- [4] Mathieu Bertin, Yasumatsu Ken, Tanida Yasuo., In: Best of both worlds: Integration of EEG and survey data for TV commercial evaluation, *The 27th annual conference of the japanese society for artificial intelligence*, (2013), Toyama
- [5] Stevenson R., James T., Affective auditory stimuli: Characterization of the international affective digitized sounds (IADS) by discrete emotional categories, *Behavior Research Methods*, 40 (2008), No. 1, 315-321
- [6] Malmivuo J., Plonsey R., Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields, *Oxford University Press*, New York, (1995)
- [7] Rak R., Kołodziej M., Majkowski A., Brain-computer interface as measurement and control system the review paper, *Metrology and Measurement Systems*, 19 (2012), nr 3, 427-444
- [8] Sanei S., Chambers J. A., EEG signal processing, *John Wiley & Sons, Ltd.*, Chichester, 2007
- [9] Murugappan M., Murugappan S., Balaganapathy, Celestin G., Wireless EEG signals based neuromarketing system using Fast Fourier Transform (FFT), *IEEE 10th International Colloquium on Signal processing & its applications*, (2014), 25-30
- [10] Mostafa M., Brain processing of vocal sounds in advertising: A functional magnetic resonance imaging (fMRI) study. *Expert Systems with Applications*, 39 (2014), No. 15, 12114-12122

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Remigiusz J. Rak, e-mail: rakrem@iem.pw.edu.pl; dr inż. Andrzej Majkowski, e-mail: amajk@iem.pw.edu.pl; dr inż. Marcin Kołodziej, e-mail: marcin.kolodziej@iem.pw.edu.pl; mgr inż. Paweł Tarnowski, e-mail: tarnowsp@ee.pw.edu.pl, Politechnika Warszawska, Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych, ul. Koszykowa 75, 00-661 Warszawa. Damian Dec, email: damian@neuro-innovations.pl, Neuro Innovations Sp. z o.o ul. Mokotowska 1/12p, 00-640 Warszawa.