

## Terapia neurofeedback jako samoświadomy trening wspierany wzmocnieniami pozytywnymi z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego i EEG

*Neurofeedback Therapy as Self-Aware Training Supported by Positive Reinforcements Using Feedback and EEG*

**Jakub Eltman**

Psycholog, Wyższa Szkoła Kadr Menedżerskich w Koninie

ORCID 0009-0005-6925-4054

### Cytowanie:

Eltman, J. (2025). Terapia neurofeedback jako samoświadomy trening wspierany wzmocnieniami pozytywnymi z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego i EEG. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Kadr Menedżerskich*, 15 (2025), art. 162, s. 21–30. DOI: 10.5281/zenodo.16990887

Przyjęto: 25.07.2025

Zaakceptowano: 28.08.2025

Opublikowano: 05.09.2025

### Licencja:

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

**Abstrakt:** Terapia neurofeedback to nieinwazyjna metoda wspierająca rozwój psychiczny i emocjonalny dzieci oraz młodzieży poprzez monitorowanie EEG i informację zwrotną w czasie rzeczywistym. Ocenia rolę w poprawie funkcji poznawczych, emocjonalnych i społecznych przy zaburzeniach jak ADHD czy lęki. Wykorzystuje warunkowanie sprawcze i pozytywne wzmocnienia do samoregulacji fal mózgowych. Analiza literatury wskazuje korzyści: lepsza koncentracja, regulacja emocji, jakość snu. Wnioski podkreślają uzupełnienie terapii konwencjonalnych oraz potrzebę dalszych badań empirycznych.

**Słowa kluczowe:** neurofeedback, EEG, samoregulacja, fale mózgowe, warunkowanie sprawcze

### Wstęp

Neurofeedback jako forma terapii, zyskuje coraz większe uznanie we wspieraniu rozwoju dzieci i młodzieży. Metoda ta, bazująca na biofeedbacku, umożliwia pacjentom kontrolowanie aktywności mózgu w czasie rzeczywistym, co może prowadzić do poprawy funkcjonowania psychicznego i emocjonalnego. Terapia neurofeedback znajduje zastosowanie w leczeniu różnorodnych zaburzeń, takich jak ADHD, lęki, depresja czy zaburzenia snu, a także w poprawie zdolności poznawczych oraz radzeniu sobie ze stresem (Hammond, 2011). W szczególności w przypadku dzieci i młodzieży neurofeedback może stanowić skuteczne wsparcie w procesie adaptacyjnym oraz rozwoju umiejętności społecznych, emocjonalnych i poznawczych. W niniejszej pracy przedstawiona zostanie rola terapii neurofeedback w kontekście rozwoju dzieci i młodzieży, jej skuteczność oraz mechanizmy działania.

Neurofeedback definiowany jest jako nieinwazyjna metoda, która umożliwia modelowanie aktywności ludzkiego mózgu na podstawie graficzny zapis generowanych fal elektrycznych, wykorzystując informację zwrotną (Hammond, 2006). Historia tej metody sięga 1924 roku, kiedy Hans Berger, niemiecki lekarz neurolog i psychiatra, dokonał pierwszego zapisu EEG u człowieka i wprowadził stosowaną do dziś nazwę. Stwierdził,

że na badane metodą EEG napięcie i zmiany w aktywności komórek nerwowych wpływają czynniki zewnętrzne oddziałujące na zmysły danej osoby. Natomiast połączenie biofeedbacku oraz elektroencefalografu było dokonaniem japońskiego psychologa Joe Kamiya.

Stan obecnej wiedzy pozwala powiązać określony wzorzec EEG z towarzyszącym mu stanem świadomości. Neurofeedback opiera się na dwóch podstawowych założeniach. Po pierwsze, aktywność elektryczna mózgu odzwierciedla stan psychiczny. Po drugie, aktywność tę możemy ćwiczyć i poddać działaniu treningu (Grochowska, 2014).

Terapia neurofeedback ma wspomagać rozwój dzieci w zakresie umiejętności zarządzania stresem, poprawiając ich zdolności społeczne, a także umożliwiając lepszą adaptację do zmieniającego się środowiska. Jednym z podstawowych elementów, które mogą być rozwijane podczas terapii, jest zwiększenie zdolności uwagi i koncentracji. Takie terapie mogą być szczególnie istotne w kontekście wczesnej interwencji w rozwoju dzieci z trudnościami w nauce oraz emocjach, wspierając ich codzienne funkcjonowanie i interakcje społeczne. Ciekawym elementem wykorzystania terapii neurofeedback jest wsparcie rozwoju dzieci neuro różnorodnych.

Różnorodne badania wykazują, że neurofeedback może także wpłynąć na poprawę jakości snu, który jest kluczowy dla zdrowia dzieci i młodzieży, może wspierać rehabilitację motoryczną u osób po udarach lub wypadkach, a także może być wykorzystywany we wspomaganiu osób będących w terapii zespołu stresu pourazowego (Klichowski, 2024). Regularne sesje neurofeedbacku prowadzą do stabilizacji wzorców EEG, co wpływa na lepsze zarządzanie stresem i lękiem. W konsekwencji poprawiają jakość odpoczynku i regeneracji organizmu. Należy jednak podkreślić, że powodzenie terapii neurofeedback może zależeć od odpowiedniej i wykwalifikowanej opieki certyfikowanych terapeutów, a efektywność terapii może zależeć od indywidualnych uwarunkowań pacjenta. Dalsze badania są niezbędne do pełniejszego zrozumienia mechanizmów działania tej metody oraz jej długoterminowego wpływu na rozwój dzieci i młodzieży.

Odnosząc się do stawianego przez wielu badaczy pytania, czy zmiana charakterystyki EEG może wpływać na zmianę funkcjonowania mózgu, a co za tym idzie niektórych procesów poznawczych, warto przywołać jedno z pierwszych badań dotyczących tej kwestii. Istnieją pewne przesłanki, które pozwalają przypuszczać, że wzmacnianie rytmu sensomotorycznego poprzez terapię neurofeedback może zredukować liczbę napadów epileptycznych zarówno u zwierząt, jak i u ludzi. Badanie Stermana i Friara (1972) wykazało, że samoświadoma stymulacja rytmu sensomotorycznego EEG może prowadzić do poprawy funkcjonowania mózgu i zmniejszenia częstotliwości napadów u osób cierpiących na epilepsję. Zjawisko to stało się podstawą dalszych badań nad potencjałem neurofeedbacku w leczeniu różnych zaburzeń neurologicznych i psychiatrycznych.

Słynne eksperymenty Stermana (1972) stały się także fundamentem dla badań nad zastosowaniem neurofeedbacku w poprawie funkcjonowania dzieci z ADHD, a także w leczeniu innych deficytów mózgowych. Badania te sugerują, że neurofeedback, poprzez wpływ na rytmy EEG, może wspomagać rozwój funkcji poznawczych i regulacji emocji, co znajduje zastosowanie w terapii dzieci z zaburzeniami uwagi czy impulsywności (Borkowski, 2017). Neurofeedback, wykorzystując informację zwrotną z EEG, pozwala pacjentowi na „trenowanie” swojego mózgu, co w efekcie prowadzi do poprawy jego funkcjonowania, a w wielu przypadkach także zmniejszenia objawów związanych z różnorodnymi zaburzeniami neurologicznymi.

Należy jednak przyjąć, że skuteczność terapii neurofeedback wciąż pozostaje w kręgu terapii eksperymentalnej, której efektywność wymaga dalszego dowodzenia. Chociaż wyniki początkowych badań, takich jak te przeprowadzone przez Stermana (1972), wskazują na potencjalne korzyści, potrzebne są kolejne badania, które pozwolą na pełniejsze zrozumienie mechanizmów działania tej terapii i jej długoterminowych efektów (Borkowski, 2017). Współczesne podejście do neurofeedbacku podkreśla potrzebę dalszej weryfikacji jego skuteczności w kontekście różnych zaburzeń, z uwzględnieniem indywidualnych różnic między pacjentami.

Warto podkreślić, że w ramach pierwszej polskiej misji na Międzynarodową Stację Kosmiczną „IGNIS” za sprawą naukowców z Akademii Wychowania Fizycznego i Sportu w Gdańsku drugi polski astronauta Sławosz Uznański-Wiśniewski weźmie udział w eksperymencie „EEG Neurofeedback”. Projekt badawczy koncentruje się na wykorzystaniu neurofeedbacku w celu redukcji stresu u astronautów przebywających w warunkach długotrwałej izolacji. W ramach badań planowane są pomiary stanu psychicznego i fizjologicznego przed oraz po misji, treningi neurofeedbacku, a także bieżąca ocena samopoczucia uczestników podczas pobytu na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Głównym celem eksperymentu jest zwiększenie sprawności psychomotorycznej astronautów, co może wpłynąć pozytywnie na ich wydajność i dobrostan w trakcie misji. Eksperyment tego rodzaju, wykonywany w czasie drugiego lotu Polaka w kosmos, podkreśla zainteresowania naukowe w obrębie neurofeedbacku i może przyczynić się do popularyzacji terapii oraz większej liczby badań w zakresie skuteczności neurofeedbacku w różnych przypadkach.

## Wprowadzenie do Neurofeedbacku

Za pomocą specjalistycznego sprzętu wspieranego oprogramowaniem komputerowym możemy odzwierciedlać procesy psychofizjologiczne naszego organizmu, z których osoba nie zdaje sobie zazwyczaj sprawy, a które może świadomie kontrolować (Fuller, 1984). Biofeedback może być rozumiany jako dostarczanie osobie informacji zwrotnej na temat procesów zachodzących w jej organizmie. Najprostszym przykładem biofeedbacku jest pomiar temperatury ciała. Biofeedback HRV służy do monitorowania rytmu serca i zmienności pomiędzy uderzeniami. Może to pomóc w leczeniu chorób serca, nadciśnienia, a także w ogólnym poprawieniu kondycji fizycznej i psychicznej. Biofeedback GSR jest pomiarem reakcji skóry na zmiany w poziomie stresu, objawiające się potliwością. Metoda jest wykorzystywana w terapii lęków, fobii i redukcji stresu. Pomaga pacjentowi zrozumieć, jak emocje wpływają na jego ciało i jak można je kontrolować, aby zmniejszyć reakcje stresowe. Biofeedback EMG służy do monitorowania napięcia mięśniowego. Pomaga w leczeniu bólu mięśniowego, napięcia

mięśniowego, a także w rehabilitacji po kontuzjach. Biofeedback EEG pozwala na kontrolę fal mózgowych, czyli bioelektrycznej aktywności mózgu w określonej częstotliwości. Osoby korzystające z treningów tego rodzaju uczą się modulować aktywność fal mózgowych. Pojęcie biofeedback EEG jest tożsame z pojęciem neurofeedback, którego będziemy głównie używać w niniejszej pracy.

Korzystając z metody neurofeedback, dokonuje się pomiaru częstotliwości oraz amplitudy różnych fal mózgowych. Dokonuje się tego za sprawą specjalnych elektrod przymocowanych do skóry głowy za pomocą pasty przewodzącej do EEG o wysokim współczynniku przewodzenia. W ten sposób rejestruje się aktywność bioelektryczną mózgu wytwarzaną przez neurony. Technologia pozwala na podgląd widma fal mózgowych na ekranie komputera. Różne wzorce zapisu EEG odpowiadają odmiennym stanom psychicznym. Dla przykładu, podczas snu zapis będzie wyglądał zupełnie inaczej niż podczas pobudzenia osoby. Podobnie będzie podczas zapisu stanu koncentracji i stanu pełnej relaksacji (Thompson i Thompson, 2003).

Neurofeedback umożliwia zatem precyzyjne monitorowanie i modyfikowanie aktywności mózgowej dzięki zastosowaniu zaawansowanych technologii EEG. Rejestrowane sygnały elektryczne pozwalają nie tylko na identyfikację konkretnych stanów psychicznych, ale również na świadome wpływanie na nie poprzez trening mózgu. Dzięki wizualnej informacji zwrotnej, w postaci dźwięku lub obrazu zawierającego wizualne zadanie do wykonania, którego skuteczność zależy od poziomów fal mózgowych, pacjent może nauczyć się rozpoznawać i regulować swoje stany umysłowe, co czyni tę metodę obiecującym narzędziem zarówno w terapii, jak i w procesie samorozwoju. Skuteczność tego podejścia opiera się na neuroplastyczności mózgu, który w odpowiedzi na trening może zmieniać swoje funkcjonowanie w sposób trwały i korzystny dla zdrowia psychicznego.

Należy podkreślić, że terapia neurofeedback nie jest metodą leczniczą ani diagnostyczną. Leczenie zakłada bierność pacjenta. Zazwyczaj opiera się na przyjęciu określonego lekarstwa lub poddaniu się operacji chirurgicznej. W przypadku treningu neurofeedback mamy do czynienia z uczeniem się jako aktywnym

procesem, który wymaga motywacji i powtarzania ćwiczeń (Thompson i Thompson, 2003). Interpretację zapisu EEG w celach diagnostycznych warto zestawić z objawami klinicznymi, a dokonać tego może specjalista posiadający stosowne uprawnienia (Borkowski, 2017). Terapeuta neurofeedback nie może postawić diagnozy w kontekście konkretnych zaburzeń neurologicznych czy deficytów psychicznych, a jedynie wskazać na zauważone prawidłowości w obserwowanej pracy mózgu i zalecić osobie uczestniczącej w terapii dalszą diagnostykę u odpowiedniego specjalisty neurologii, psychiatrii, wsparcia psychologicznego lub innego zakresu.

Z tego względu niezwykle istotne jest, aby terapia neurofeedback była prowadzona w ramach jasno określonych kompetencji i przy ścisłej współpracy z lekarzami, psychologami lub neurologami. W praktyce oznacza to, że trening neurofeedback powinien być traktowany jako element wspomagający proces terapeutyczny, a nie jako samodzielna forma leczenia. Właściwe dobranie protokołu treningowego powinno opierać się nie tylko na wynikach EEG, lecz również na wywiadzie klinicznym, obserwacji zachowania pacjenta oraz ocenie jego funkcjonowania w codziennym życiu. W przypadku pracy z dziećmi i młodzieżą niezbędnym elementem wydaje się przeprowadzenie wywiadu środowiskowego z rodzicami lub prawnymi opiekunami, a także na przykład z nauczycielami lub pedagogami. Tylko wtedy możliwe jest bezpieczne i skuteczne wykorzystanie neurofeedbacku jako narzędzia wspierającego rozwój i zdrowie psychiczne, z jednoczesnym zachowaniem etycznych i merytorycznych standardów pracy terapeutycznej.

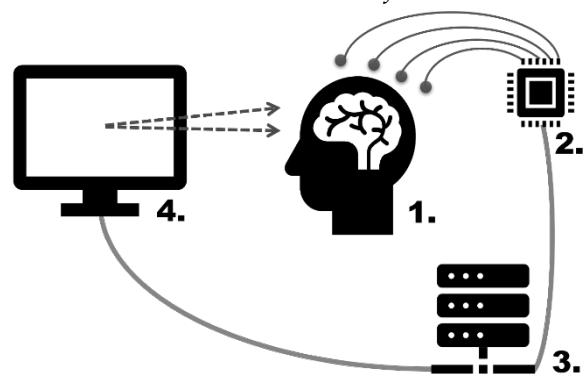
### Mechanizm Działania Neurofeedbacku

Neurofeedback opiera się na wykorzystaniu elektrod EEG, które rejestrują aktywność elektryczną mózgu. Na podstawie tych zapisów system komputerowy generuje informację zwrotną dla pacjenta. Pacjent, reagując na te sygnały, stara się zmieniać swoją aktywność mózgową w pożądanym kierunku. Dzięki temu osoba poddawana terapii uczy się, jak samodzielnie regulować fale mózgowe, co może prowadzić do poprawy funkcjonowania mózgu i zmniejszenia objawów związanych z zaburzeniami lub deficytami poznawczymi.

Jednym z najczęściej trenowanych rytmów EEG w terapii neurofeedback jest rytm sensomotoryczny (SMR), który wiąże się z poczuciem spokoju i koncentracji. Rytm ten jest szczególnie istotny w leczeniu osób z ADHD, ponieważ zwiększenie jego aktywności może poprawić zdolność koncentracji, zmniejszyć impulsywność i poprawić regulację emocji (Sterman i Friar, 1972). Innymi rytmemi, które są często trenowane, są fale alfa, związane z relaksacją i wyciszeniem, oraz fale beta, które mogą wspierać stan czuwania i koncentracji.

Neurofeedback to metoda treningu mózgu oparta na monitorowaniu i modyfikowaniu aktywności elektrycznej przy użyciu EEG (elektroencefalografii). Technika ta pozwala uczestnikowi na świadome regulowanie swoich fal mózgowych w czasie rzeczywistym, co może prowadzić do poprawy funkcjonowania psychicznego i emocjonalnego. W poniższym schemacie przedstawiono etapy sesji neurofeedbacku – od rejestracji sygnału EEG po wizualną informację zwrotną dla użytkownika.

Schemat 1. Działanie neurofeedbacku



Do skóry głowy osoby uczestniczącej w terapii za pomocą pasty przewodzącej przyklejane są elektrody (1.), które przesyłają odebrany sygnał do wzmacniacza eliminującego szumy i zakłócenia (2.). Urządzenie do EEG mierzy różnicę potencjałów pomiędzy odprowadzeniem dodatnim a ujemnym. Odprowadzenie dodatnie nazywane jest aktywnym i umieszczane jest w miejscu, z którego chcemy dokonać pomiaru. Odprowadzenie ujemne, zwane elektrodą referencyjną, zwykle umieszczane jest w miejscu nieaktywnym elektrycznie, na przykład na płatku ucha (Thompson i Thompson, 2003). Wzmacniacz, we współpracy z interfejsem do przetwarzania danych, przekształca sygnał analogowy i przekazuje go do komputera.

Oprogramowanie do analizy w czasie rzeczywistym analizuje aktywność mózgu i klasyfikuje fale mózgowe. Za pomocą komputera z oprogramowaniem terapeuta kontroluje cały proces treningu, obserwując wyniki i rejestrując dane sesji do późniejszej analizy (3.). Na podstawie uzyskiwanych wyników system generuje informację zwrotną, która najczęściej przyjmuje postać wizualną lub dźwiękową, reaguje bieżąco na zmiany aktywności mózgowej i motywuje użytkownika do samoregulacji (4.).

Przyjmując, że opisane działanie neurofeedbacku tworzy zamknięty system biologicznej informacji zwrotnej, który umożliwia użytkownikowi świadome wpływanie na własne wzorce aktywności mózgu, warto przyjrzeć się pojęciu sprzężenia zwrotnego, a także zachodzącemu za jego sprawą procesowi uczenia się.

Strelau (2006) wskazuje, że uczenie się to proces, w którym dochodzi do względnie trwałych zmian w zachowaniu lub funkcjach poznawczych jednostki spowodowanych doświadczeniem. W psychologii wśród podstawowych form uczenia się wymienia się warunkowanie klasyczne (Pawłow, 1927), warunkowanie sprawcze (Skinner, 1938) oraz uczenie się przez obserwację (Bandura, 1973). Trening w terapii neurofeedback polega na grze i zdobywaniu punktów. Wprowadzając dziecko w trening, terapeuta, w zależności od rodzaju gry, tłumaczy zasady tego, co dzieje się na ekranie, oraz przedstawia komunikat, że gra odbywa się tylko myślą, bez użycia rąk, klawiatury czy myszki. W grze obserwujemy najczęściej trzy fale, które charakteryzują rodzaje myśli: wolną, średnią i szybką. Celem dziecka uczestniczącego w terapii jest samoregulacja, aby zdobywać punkty i spełniać warunki gry wyświetlanej na ekranie, które regulowane są przez terapeuta za pomocą regulacji progów, czyli wartości amplitudy poszczególnych fal mózgowych według stosownie wybranego protokołu. Celem terapii neurofeedback jest nauczenie się samoregulacji. Grochowska (2014) podkreśla, że samoregulacja odbywa się poprzez warunkowanie sprawcze.

pojęcie warunkowania sprawczego, które może być istotne dla pozytywnych rezultatów prowadzonej terapii. Teoria warunkowania sprawczego Skinnera (1938) oraz neurofeedback jako metoda terapeutyczna, opierająca się na biologicznym sprzężeniu zwrotnym, pokazują, jak zmiana zachowań jest wynikiem konsekwencji w postaci wzmocnień i kar. Neurofeedback umożliwia świadome kształtowanie wzorców aktywności mózgowej, wykorzystując mechanizmy warunkowania sprawczego, w tym pozytywne wzmocnienia, co prowadzi do zmiany stanów świadomości i adaptacji zachowań. Zmiana aktywności pracy mózgu jest kontrolowana przez terapeuta i zestawiana z przyjętymi normami amplitudy poszczególnych fal mózgowych odpowiadających za różne aspekty funkcjonowania człowieka.

Warunkowanie sprawcze polega na pewnej modyfikacji zachowania poprzez oddziaływanie jego konsekwencji na człowieka. Zachowania, które są wzmacniane, mają tendencję do częstszego występowania, a te, które są karane, mają tendencję do zanikania. „Jeśli wykonanie operantu jest następnie wzmocnione przez pojawienie się bodźca wzmacniającego, jego siła wzrasta” (Skinner, 1938, s. 21). Operant rozumiany jest jako dobrowolne zachowanie. W przypadku terapii neurofeedback będzie to realizacja gry zgodnie z wytycznymi, co wpływa na samoregulację poziomu fal mózgowych. Bodźcem wzmacniającym pozytywnie będzie nagroda w postaci zdobywanych punktów i realizacja protokołu przyjętego przez terapeuta.



Schemat 2. Warunkowanie sprawcze

### Warunkowanie Sprawcze i Wzmocnienia Pozytywne w Neurofeedbacku

Opierając się na opisanym mechanizmie działania neurofeedbacku, warto rozszerzyć

W teorii warunkowania sprawczego Skinnera (1938) istotne miejsce zajmują cztery podstawowe mechanizmy wpływające na częstotliwość występowania danego zachowania

w zależności od jego konsekwencji. Powyższy schemat ilustruje ich sposób działania. Niebieska strzałka w górę oznacza wzmocnienia, czerwona strzałka w dół oznacza karę. Zielony plus na schemacie oznacza pozytywny charakter wzmocnienia lub kary, a czerwony minus oznacza charakter negatywny. Wzmocnienie pozytywne polega na zwiększaniu prawdopodobieństwa ponownego wystąpienia zachowania poprzez dodanie przyjemnego bodźca po jego zaistnieniu, na przykład nagrodzenie dziecka za wykonanie zadania. Z kolei wzmocnienie negatywne to również proces zwiększania częstości zachowania, ale przez usunięcie bodźca awersyjnego, na przykład wyłączenie głośnego dźwięku po naciśnięciu odpowiedniego przycisku. W odróżnieniu od wzmocnień, kara pozytywna polega na dodaniu bodźca awersyjnego w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa ponownego wystąpienia niepożądanego zachowania, na przykład mandat za zbyt szybką jazdę samochodem. Kara negatywna natomiast oznacza odebranie pozytywnego bodźca, na przykład odebranie jakiegoś przywileju, co również ma na celu zmniejszenie danego zachowania. Wszystkie te procesy ilustrują kluczową rolę konsekwencji w uczeniu się i adaptacji zachowań, co stanowi fundament teorii warunkowania sprawczego.

Neurofeedback jest metodą terapii, która wykorzystuje mechanizm biofizycznego sprzężenia zwrotnego w celu modyfikacji wzorców aktywności mózgu. W trakcie terapii możliwe jest kształtowanie i kontrolowanie specyficznych stanów świadomości, co ma istotny wpływ na funkcjonowanie psychiczne i fizjologiczne osoby. Stany świadomości są ściśle związane z zachowaniami, ich regulacja umożliwia pośrednią kontrolę nad wzorcami zachowań oraz funkcjonowaniem układu nerwowego. Pożądane zachowanie w trakcie terapii neurofeedback zostaje nagradzane, co zwiększa szanse na powtórzenie tego zachowania w przyszłości (Grochowska, 2014). Podczas neurofeedbacku rejestrowane są dane, które następnie prezentowane są na ekranie jako informacje zwrotne. Zmiana stanu psychicznego osoby trenującej prowadzi do zmiany amplitudy fal mózgowych o różnych częstotliwościach. W rezultacie, za pomocą świadomej regulacji, osoba trenująca jest w stanie modyfikować wzorzec fal mózgowych w celu osiągnięcia założonego celu

terapeutycznego. Jest to sposób, w jakim trenujący uczy się samoregulacji w świadomy sposób za pomocą warunkowania sprawczego w kontekście wzmocnień pozytywnych z wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego, a więc uzyskiwanej informacji.

## Fale Mózgowe w Obrazie EEG

Dla lepszego zrozumienia działania mózgu istotne jest zrozumienie różnicy między pojęciami amplitudy i częstotliwości. Zasadniczą różnicą jest to, że częstotliwości nie możemy zmienić, ponieważ jest zawsze stała dla danego rodzaju fali. Analiza właściwości fal, na przykład częstotliwości i amplitudy, jest porównaniem aktywności bioelektrycznej różnych obszarów mózgu. Analiza taka jest wykonywana dla całej powierzchni mózgu za pomocą QEEG lub dla określonych części mózgu. Podstawowy zapis EEG stanowi fala, definiowana jako przejściowa zmiana różnicy potencjałów czynności mózgu.

QEEG to metoda ilościowej analizy elektroencefalogramu, która polega na cyfrowym przetwarzaniu sygnału EEG zarejestrowanego ze wszystkich punktów pomiarowych rozmieszczonych na powierzchni czaszki, zgodnie ze standardem, na przykład 10–20, czyli systemem rozmieszczania elektrod na powierzchni głowy w badaniach EEG, opartym na procentowych odległościach między anatomicznymi punktami czaszki. Dzięki tej analizie możliwa jest ocena rozkładu przestrzennego aktywności bioelektrycznej mózgu w różnych pasmach częstotliwości, co pozwala na identyfikację odchyleń od normy w sposób precyzyjniejszy niż tradycyjna analiza wizualna (Thatcher, 2010). QEEG zazwyczaj dostarcza informacji o amplitudzie i mocy dla poszczególnych częstotliwości w określonych punktach mózgu (Thompson i Thompson, 2003).

Amplituda fal mózgowych w neurofeedbacku to miara wielkości zmian potencjału elektrycznego rejestrowanego na powierzchni czaszki w danym paśmie częstotliwości. Odzwierciedla intensywność aktywności neuronalnej: im wyższa amplituda, tym większa synchronizacja i siła aktywności w danym zakresie (Hammond, 2006). Amplituda jest wyrażana w mikrowoltach ( $\mu V$ ), czyli milionowych częściach wolta.



Częstotliwość fal mózgowych to liczba pełnych cykli aktywności elektrycznej mózgu występujących w ciągu jednej sekundy, mierzona w hercach (Hz). Poszczególne zakresy częstotliwości określanych w falach odpowiadają różnym funkcjom neuropsychologicznym i są wykorzystywane do treningu określonych wzorców aktywności mózgowej (Hammond, 2006).

Poniższy schemat przedstawia zakres częstotliwości określonych fal mózgowych. Należy przyjąć, że wszystkie częstotliwości są prawidłowe w określonym czasie lub podczas wykonywania określonych zadań (Thompson i Thompson, 2003). Mózg, który cechuje się elastycznością i wydajnością, w zależności od trudności zadania, potrafi szybko zmienić zakres częstotliwości według stosownych potrzeb względem sprawnego funkcjonowania.

ZAKRES CZĘSTOTLIWOŚCI [Hz]					
Delta	Theta	Alfa	SMR	Beta	Beta2
0,5-3	4-8	8-12	12-15	15-20	20-34

Schemat 3. Zakres częstotliwości fal

Opracowane normy (Sterman i Tyl, 2006) ukazują najbardziej zalecaną wartość amplitudy w danym paśmie fal w określonym stanie. Przedstawione poniżej dane odnoszą się do stanu czuwania dzieci w wieku od 4 do 16 lat z otwartymi oczami. Zaprezentowane normy dotyczą pomiarów z elektrod umieszczonych centralnie w punktach C3 i C4, które obejmują obszary ruchowe i czuciowe. Udziały procentowe pokazują typową dominację fal wolnych (delta, theta) w EEG u dzieci.

Pasmo fal	Zakres częstotliwości	Amplituda [ $\mu$ V]	Udział procentowy [%]
Delta	0,5–3,0 Hz	do 30 $\mu$ V	29%
Theta	4,0–8,0 Hz	do 20 $\mu$ V	22%
Alfa	8,0–12,0 Hz	do 15 $\mu$ V	18%
SMR	12,0–15,0 Hz	5–10 $\mu$ V	13%
Beta	15,0–20,0 Hz	5–10 $\mu$ V	9%
Beta2	20,0–34,0 Hz	5–10 $\mu$ V	9%

Schemat 4. Normy EEG dla dzieci (4-16 lat)

W oparciu o normy przedstawione na powyższym schemacie, a opracowane przez Stermana i Tyla (2006), możliwe jest porównywanie indywidualnych zapisów EEG z wartościami referencyjnymi, co stanowi podstawę do identyfikacji istotnych odchyśleń od typowego rozwoju neuromózgowego.

W pracy Stermana i Tyla (2006) szczególną uwagę poświęcają interpretacji zmian w pasmach delta, theta, alfa i beta, zarówno w kierunku nadmiaru, jak i niedoboru, które mogą odzwierciedlać zaburzenia procesów poznawczych, emocjonalnych lub behawioralnych. Analiza aktywności bioelektrycznej mózgu z wykorzystaniem normatywnych wskaźników umożliwia trafniejszą diagnozę i planowanie interwencji, między innymi w kontekście terapii neurofeedback.

Niektórzy terapeuci neurofeedback, na podstawie własnej praktyki i doświadczenia, stosują inne normy. Agnieszka Dejniewicz-Velitchkov (n.d.) w pasmach SMR, beta i beta2 zaleca stosowanie wartości normatywnych na poziomie od 4 do 10  $\mu$ V (wartość procentowa w tych pasmach wynosi wtedy około 10-11%). W pasmach delta, theta i alfa stosuje normy takie same jak Sterman i Tyl (2006). Zaprezentowane powyżej wartości dotyczą norm u dzieci.

**Fale delta** w mózgu są najwolniejszymi falami mózgowymi i odgrywają kluczową rolę w rozwoju dzieci. Z wiekiem dominacja fal delta stopniowo maleje, ustępując miejsca szybszym, które są bardziej związane ze świadomą aktywnością poznawczą. Odpowiadają głównie za głęboki sen, rozwój mózgu, przetwarzanie emocji i doświadczeń oraz regenerację układu nerwowego.

Niedobór fal delta może oznaczać problemy ze snem i słabą koncentracją, a także trudności w nauce. Niski poziom fal powoduje zwiększoną pobudliwość i lęk, trudności z regeneracją mózgu i obniżoną odporność organizmu.

Nadmiar fal delta oznacza problemy z koncentracją i uwagą, spowolnienie przetwarzania informacji oraz obniżoną aktywność poznawczą, a także zwiększoną senność w ciągu dnia lub zaburzenia rozwoju neurologicznego.

**Fale theta** związane są z kreatywnością, intuicją, przetwarzaniem emocji oraz uczeniem się. Wspierają zdolności do przyswajania nowych informacji oraz pomagają w przechowy-

waniu informacji w pamięci długotrwałej. Fale theta są kluczowe w kontekście zapamiętywania wydarzeń i doświadczeń. Sprzyjają myśleniu i wyobraźni. Pomagają dzieciom w przetwarzaniu emocji i radzeniu sobie z nowymi doświadczeniami, są powiązane z intuicją i rozumieniem emocji własnych.

Niedobór fal theta może powodować problemy z pamięcią i nauką, trudności z kreatywnym myśleniem oraz nadmierne napięcie i trudności w relaksacji.

Nadmiar fal theta może być związany z trudnościami z koncentracją, na przykład w ADHD, nadmiernym marzeniem na jawie i brakiem kontroli nad uwagą, problematycznym przetwarzaniem emocji, skłonnością do „wyłączania się” w trakcie zajęć szkolnych.

**Fala alfa** odpowiada za relaks i wyciszenie, koncentrację i uwagę, przetwarzanie bodźców sensorycznych oraz przejście między stanami umysłowymi. Fala alfa działa jako „pomost” między stanem czuwania (fale beta) a snem (fale theta i delta). Odpowiednia ilość fal alfa pozwala na lepszą kontrolę uwagi i przechodzenie między różnymi stanami mentalnymi. Fale alfa pomagają w relaksie, koncentracji i przetwarzaniu bodźców.

Niedobór fal alfa powoduje nadmierne pobudzenie i napięcie, problemy z relaksacją i radzeniem sobie ze stresem, trudności z przetwarzaniem sensorycznym. Często występuje u dzieci z nadpobudliwością, lękiem lub problemami ze snem.

Nadmiar fal alfa może prowadzić do nadmiernej senności w ciągu dnia, trudności z przechodzeniem do bardziej aktywnych stanów umysłu, problemów z koncentracją, na przykład „marzenia na jawie”. Może występować w ADHD typu nieuważnego, zaburzeniach sensorycznych lub przy chronicznym zmęczeniu. Podwyższoną alfę można obserwować u osób zażywających leki psychoaktywne.

**Fale SMR** to specyficzny zakres fal mózgowych, który pojawia się głównie w obszarach sensomotorycznych mózgu. Jest związany z regulacją napięcia mięśniowego, koordynacją ruchową, koncentracją i zdolnością do utrzymywania spokoju. Wspiera równowagę między spoczynkiem a gotowością do działania. SMR jest kluczowy dla umiejętności skupienia się na jednym zadaniu bez rozpraszania się oraz

pomaga w kontroli ruchów ciała, koordynacji i płynności działań.

Niedobór fal SMR może powodować nadpobudliwość, problemy z koncentracją i impulsywnością, słabą kontrolę ruchową (niezdarność, napięcie mięśniowe), problemy ze snem (trudności z zasypianiem, płytki sen) oraz trudności w regulacji emocji. Niski SMR może być związany z ADHD, nadpobudliwością i problemami ze snem.

Nadmiar fal SMR powoduje nadmiar pasywności i ospałości, może prowadzić do powolnych reakcji i problemów z motywacją oraz słabszej elastyczności myślenia. Wysoki SMR może powodować ospałość i brak motywacji.

**Fale beta** są związane z aktywnym myśleniem i rozwiązywaniem problemów. Wspomagają spokój i równowagę emocjonalną, zapobiegając nadmiernemu pobudzeniu. Odpowiadają za umiejętność opanowania impulsów. Odpowiedni poziom fal beta wspomaga zdrową regulację cyklu snu i czuwania. Umożliwia panowanie nad emocjami. Wspiera logiczne myślenie i przyswajanie wiedzy. Pomaga w analizie bodźców i podejmowaniu decyzji, a także w utrzymaniu skupienia na jednym zadaniu.

Niedobór fal beta może powodować problemy z koncentracją i uwagą, na przykład trudność w skupieniu na zadaniu, nadmierną senność i ospałość w ciągu dnia, wolniejsze przetwarzanie informacji, impulsywność i trudności w kontrolowaniu zachowania, problemy z regulacją emocji. Niska beta oznacza dekoncentrację i rozkojarzenie.

Nadmiar fal beta może prowadzić do stresu, lęku i problemów ze snem. Wysokie poziomy tej fali powodują rozchwianie emocjonalne, dużą zmienność nastrojów oraz deficyt uwagi.

**Fale beta2** odpowiadają za emocjonalne napięcie, niepokój i stres, a także negatywne myśli, charakterystyczne dla depresji, w wyższej częstotliwości. Mają związek z intensywnością przeżyć emocjonalnych oraz stanem napięcia określanym jako „martwienie się”. Często związane są ze stresem, treścią lub strachem.

Niedobór fal beta2 skutkuje trudnościami z koncentracją i przetwarzaniem informacji. Może powodować zahamowanie poznawcze, czyli wolniejsze myślenie i trudności w reagowaniu na bodźce społeczne.



Nadmiar fal beta2 prowadzi do negatywnego wpływu na emocjonalną kontrolę i obiektywną ocenę poznawczą. Zwiększona beta2 powiązana jest z nadmiernym napięciem, stresem

i niepokojem. Nadmiar fal beta2 może utrudniać elastyczne myślenie i adaptację do zmian.

---

## Abstract

Neurofeedback therapy is a non-invasive method supporting psychological and emotional development in children and adolescents through EEG monitoring and real-time feedback. It evaluates its role in enhancing cognitive, emotional, and social functions in disorders like ADHD or anxiety. Employs operant conditioning and positive reinforcements for brain wave self-regulation. Literature analysis shows benefits: improved concentration, emotion regulation, sleep quality. Conclusions emphasize complementing conventional therapies and the need for further empirical research.

**Keywords:** neurofeedback, EEG, self-regulation, brain waves, operant conditioning

## Bibliografia

- Bandura, A. (1973). *Aggression: A social learning analysis*. Prentice-Hall.
- Borkowski, P. (2017). *Atlas EEG i QEEG: Podręcznik ilościowej elektroencefalografii i jej zastosowanie w planowaniu neurofeedbacku*. Wydawnictwo Biomed Neurotechnologie.
- Dejnowicz-Velitchkov, A. (b.d.). *Analiza QEEG dzieci w pasie centralnym* [Nieopublikowany materiał szkoleniowy]. ADEA.
- Fuller, G. D. (1984). *Biofeedback: Methods and procedures in clinical practice*. Biofeedback Press.
- Grochowska, I. (2014). Meta cognition – can we be aware of the process of our own learning – usage of neurofeedback. *Studia Ecologiae Et Bioethicae*, 12(3), 9–32. <https://doi.org/10.21697/seb.2014.12.3.01>
- Hammond, D. C. (2006). What is neurofeedback? *Journal of Neurotherapy*, 10(4), 25–36. [https://doi.org/10.1300/J184v10n04\\_04](https://doi.org/10.1300/J184v10n04_04)
- Hammond, D. C. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 191–208. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Klichowski, M. (2024). *Efekt neuro*. Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Pawłow, I. P. (1927). *Conditioned reflexes*. Oxford University Press.
- Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis of behavior*. Appleton-Century-Crofts.
- Sterman, M. B., Friar, L. (1972). Suppression of seizures in an epileptic following sensorimotor EEG feedback training. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33(1), 89–95. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(72\)90028-4](https://doi.org/10.1016/0013-4694(72)90028-4)
- Sterman, M. B., Tyl, M. (2006). Neurofeedback and basic learning theory: Implications for research and practice. W T. H. Budzynski, H. K. Budzynski, J. R. Evans i A. Abarbanel (red.), *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback: Advanced theory and applications* (s. 145–170). Academic Press.
- Strelau, J. (red.). (2006). *Psychologia. Podręcznik akademicki* (Tom 1). Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Thatcher, R. W. (2010). Validity and reliability of quantitative electroencephalography (QEEG). *Journal of Neurotherapy*, 14(2), 122–152. <https://doi.org/10.1080/10874201003773500>
- Thompson, M., Thompson, L. (2003). *Neurofeedback. Wprowadzenie do podstawowych koncepcji psychofizjologii stosowanej*. Wydawnictwo Biomed Neurotechnologie.

## Wykaz Schematów

Schemat 1. Działanie neurofeedbacku

Schemat 2. Warunkowanie sprawcze

Schemat 3. Zakres częstotliwości fal

Schemat 4. Normy EEG dla dzieci (4-16 lat)