Myśli na sprzedaż? Komercjalizacja interfejsów neuronalnych: szanse, zagrożenia i wyzwania etyczno-prawne

DARIUSZ MARNIC

Uniwersytet Warszawski

Streszczenie

Dynamiczny rozwój technologii neuroobrazowania oraz systemów sztucznej inteligencji (SI), w tym Dużych Modeli Językowych (LLM), znacząco zwiększają możliwość interpretacji sygnałów neuronalnych. Interfejsy mózg-komputer (BCI), wykorzystujące owe technologie, posiadają transformacyjny potencjał w zakresie interakcji człowiek-maszyna, co prowadzi do ich rosnącej komercjalizacji poza tradycyjnym kontekstem medycznym i rehabilitacyjnym. Do sektorów intensywnie wdrażających BCI należą m.in. edukacja, sektor rozrywkowy, marketing czy branża wellness.

Celem niniejszego artykułu jest krytyczna analiza etycznych i społecznych konsekwencji tej komercjalizacji, ze szczególnym uwzględnieniem problemów związanych z ochroną danych neuronalnych, autonomią jednostki oraz możliwością manipulacji zachowaniami użytkowników. Postawiona hipoteza zakłada, że popularyzacja BCI w sektorze konsumenckim, przy braku odpowiednich regulacji prawnych i wdrożenia standardów etycznych, może prowadzić do monetyzacji danych neuronalnych, wzrostu nierówności społecznych oraz nowych form nadzoru technologicznego.

Autor dokonuje przeglądu współczesnych zastosowań BCI, identyfikuje kluczowe zagrożenia oraz wskazuje na konieczność ustanowienia regulacji prawnych dotyczących tzw. praw neuronowych (neurorights). Artykuł zakończono rekomendacjami dotyczącymi konieczności interdyscyplinarnego dialogu naukowców, etyków i decydentów politycznych w celu opracowania adekwatnych mechanizmów ochrony użytkowników technologii BCI.

Badanie opiera się na analizie literatury naukowej oraz źródeł wtórnych, w tym raportów branżowych, publikacji prasowych a także analiz akademickich, dotyczących współczesnych zastosowań BCI. Analiza uwzględnia perspektywę medioznawczą, odwołując się do teorii Marshalla McLuhana dotyczącej mediów jako rozszerzenia ludzkich zdolności poznawczych oraz teorii aktora-sieci (ANT) Bruno Latoura, w której BCI są postrzegane jako technologia radykalnie przekształcająca dynamikę interakcji człowiek-maszyna.

Słowa-klucze: Interakcja człowiek-maszyna, etyka technologii, sztuczna inteligencja (SI), neurotechnologie, interfejs mózg-komputer (BCI)

Abstract

Thoughts for sale? Commercialization of neuronal interfaces: opportunities, risks and ethical and legal challenges

The rapid advancement of neuroimaging technologies and artificial intelligence (AI) systems, including Large Language Models (LLMs), has significantly enhanced the interpretation of neural signals. Brain-computer interfaces (BCIs) leveraging these technologies possess transformative potential in the domain of human-machine interaction, driving their increasing commercialization beyond traditional medical and rehabilitative contexts. Key sectors actively integrating BCI technology include education, the entertainment industry, marketing and wellness.

This article critically examines the ethical and societal implications of this commercialization, with a particular focus on issues related to neural data privacy, individual autonomy, and the potential for behavioral manipulation. The author hypothesizes that the widespread adoption of BCI technology in the consumer sector, in the absence of appropriate regulations and ethical standards, may lead to the monetization of neural data, the deepening of social inequalities, and the emergence of new forms of technological surveillance.

The study provides a comprehensive review of contemporary BCI applications, identifies key risks, and underscores the necessity of regulatory frameworks addressing „neurorights" to safeguard fundamental human rights in the face of expanding neurotechnological capabilities. The article concludes with recommendations advocating for an interdisciplinary dialogue among researchers, ethicists, and policymakers to develop adequate protective mechanisms for BCI users.

This study employs an analysis of scientific literature and secondary sources, including industry reports, selected press publications and academic research on contemporary BCI applications. The paper also explores the implications of Marshall McLuhan's theory of media as extensions of human cognition and Bruno Latour's actor-network theory (ANT), positioning BCI as a disruptive medium that reconfigures the dynamics of human-machine interaction.

Keywords: Human-machine interaction, technology ethics, artificial intelligence (AI), neurotechnologies, brain-computer interface (BCI)

I. WPROWADZENIE

Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny rozwój technologii interfejsów *mózg-komputer* (BCI), napędzany m.in. rozwojem systemów sztucznej inteligencji (SI), prowadzi do ich coraz szerszej komercjalizacji. To istotna zmiana, gdyż dotychczas ten rodzaj interfejsów był głównie wykorzystywany do celów medycznych i rehabilitacyjnych. Obecnie BCI są stopniowo wdrażane do innych zastosowań, w tym multimedialnej rozrywki, edukacji, marketingu czy branży *wellness*. Proces ten redefiniuje dotychczasowy model interakcji *człowiek–maszyna*, w której komunikacja z urządzeniami odbywa się poprzez tradycyjne kanały sensoryczno-motoryczne oraz mechaniczne urządzenia sterujące.

Celem niniejszego artykułu jest krytyczna analiza etycznych i społecznych konsekwencji komercjalizacji interfejsów BCI, ze szczególnym uwzględnieniem problemów związanych z ochroną danych neuronalnych, autonomią jednostki oraz możliwością manipulacji zachowaniami użytkowników.

Hipoteza postawiona przez autora zakłada, że popularyzacja BCI w sektorze konsumenckim, przy braku odpowiednich regulacji prawnych i wdrożenia standardów etycznych, może prowadzić do monetyzacji danych neuronalnych, wzrostu nierówności społecznych oraz nowych form nadzoru technologicznego.

Przyjętą metodą badawczą jest jakościowa analiza literatury naukowej oraz źródeł wtórnych, w tym raportów branżowych, publikacji prasowych a także analiz akademickich, dotyczących współczesnych zastosowań BCI. Analiza uwzględnia perspektywę medioznawczą, odwołując się do teorii Marshalla McLuhana dotyczącej mediów jako rozszerzenia ludzkich zdolności poznawczych oraz teorii *aktora-sieci* (ANT) Bruno Latoura, w której BCI są postrzegane jako technologia radykalnie przekształcająca dynamikę interakcji *człowiek-maszyna*.

Artykuł zakończono rekomendacjami dotyczącymi konieczności interdyscyplinarnego dialogu naukowców, etyków i decydentów politycznych w celu opracowania adekwatnych mechanizmów ochrony użytkowników technologii BCI.

II. ROZRÓŻNIENIE INTERFEJSÓW BMI I BCI: RAMY TEORETYCZNE I IMPLIKACJE MEDIOZNAWCZE

W marcu 2024 r. amerykańska firma *Neuralink,* której właścicielem jest Elon Musk, ogłosiła przełom w dziedzinie interfejsów mózg-maszyna (*Brain-Machine Interfaces* - BMI). Sparaliżowanemu pacjentowi wszczepiono do mózgu implant o nazwie *Telepathy*, który umożliwia komunikację z maszyną za pomocą myśli. Dzięki temu pacjent zyskał ograniczoną, ale realną zdolność zdalnego sterowania urządzeniami cyfrowymi. Projekt ten został przedstawiony jako krok milowy na drodze do połączenia ludzkiego mózgu z urządzeniami cyfrowymi i wykorzystania potencjału takiej integracji. Z perspektywy wizerunkowej wydarzenie to można uznać za znaczący sukces, natomiast w kontekście dorobku naukowego trudno jednoznacznie uznać je za przełom technologiczny. Jest to zgodne z obserwacją Nicka Couldry'ego, że technologie często zyskują popularność dzięki *storytellingowi*, a niekoniecznie rzeczywistym innowacjom[1]. Dla porównania, szereg innych podmiotów prowadzi zaawansowane projekty rozwojowo-badawcze w tym obszarze, a np. firma *Synchron* rozwinęła technologię, dzięki której możliwe jest wprowadzenie do mózgu implantu przez naczynia krwionośne[2], co rzeczywiście można uznać za przełomowe osiągnięcie. Inną ścieżką podąża *Meta*, inny amerykański *big tech*. W lutym 2025 r. firma ogłosiła nową metodę dekodowania aktywności mózgu *Brain2Qwerty*, wykorzystującą m.in. zaawansowane algorytmy sztucznej inteligencji. Jest to

[1] Couldry, N., *The Mediated Construction of Reality*, John Wiley & Sons, 2008 (ebook).

[2] Misiura, M., *Musk wszczepił implant do ludzkiego mózgu. Neuralink ma jednak sporą konkurencję,* (https://www.bankier.pl/wiadomosc/Musk-wszczepil-implant-do-ludzkiego-mozgu-Neuralink-ma-jednak-spora-konkurencje-8686838.html); [dostęp: 12.02.2025]

nieinwazyjny sposób, pozwalający wykorzystać zarówno magnetoencefalografię (MEG), jak i encefalografię (EEG) do odczytywania sygnałów mózgowych i przekształcania ich w tekst z dokładnością wyższą niż dotychczas dostępne rozwiązania[3].

Niezależnie jednak od współczesnych osiągnieć, warto podkreślić, że prace nad interfejsami neuronalnymi mają długą historię. Już w latach 70. XX w. Jacques Vidal na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles (UCLA) zaproponował termin *Brain-Computer Interface* (BCI) i przeprowadził pierwsze eksperymenty z wykorzystaniem EEG do sterowania kursorem na ekranie. Te pionierskie badania były jednak ograniczone ówczesnymi, nadzwyczaj skromnymi w porównaniu do współczesnych, możliwościami urządzeń. Rozwój tej dziedziny nabrał jednak dynamiki w ostatnich dekadach, w szczególności dzięki postępom w dziedzinie sztucznej inteligencji i miniaturyzacji urządzeń[4]. Wielkość rynku urządzeń BCI w 2024 r. była szacowana na 2,44 mld dolarów . Oczekuje się, że w latach 2025–2030 będzie ona rosła w tempie średnio o 18% rok do roku, osiągając w 2030 r. wartość 6,2 mld dolarów[5].

W literaturze przedmiotu często stosuje się terminy *interfejs mózg-maszyna* (BMI) oraz *interfejs mózg-komputer* (BCI) zamiennie, jednak istnieje zasadnicza różnica między tymi pojęciami. Jak wskazują Andrzej Cudo i Emilia Zabielska, interfejs BMI jest pojęciem szerszym, obejmującym wszelkie technologie łączące aktywność neuronalną z urządzeniami mechanicznymi lub cyfrowymi, niezależnie od ich funkcji

[3] Strona internetowa firmy *Meta* (https://ai.meta.com/research/publications/brain-to-text-decoding-a-non-invasive-approach-via-typing) [dostęp: 20.02.2025]

[4] Zhang, X., Ma, Z., Zheng H., Li T., Chen K., i inn., *The combination of brain-computer interfaces and artificial intelligence: applications and challenges*, Ann Transl Med. 2020 Jun;8(11):712. (https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7327323/) [dostęp: 12.02.2025]

[5] Raport Grand View Research - Horizon Databook: *Brain Computer Interface Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Invasive, Partially Invasive, Non-invasive), By Application (Healthcare, Smart Home Control, Communication & Control), By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2025–2030* (https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/brain-computer-interfaces-market/request/rs2) [dostęp: 12.02.2025]

i stopnia interakcji. Z kolei BCI odnosi się do węższej kategorii rozwiązań umożliwiających komunikację mózgu z systemami cyfrowymi, bez udziału układu mięśniowego[6].

W niniejszym artykule przyjęto rozróżnienie terminologiczne, wedle którego termin interfejs *mózg-komputer* (BCI) odnosi się do technologii umożliwiających bezpośrednią interakcję mózgu z systemami cyfrowymi, natomiast szersze pojęcie interfejsu *mózg-maszyna* (BMI) obejmuje również urządzenia protetyczne i systemy diagnostyczne[7]. Zarazem niezbędne jest wskazanie, że zagadnienie neurointerfejsów jest niezwykle złożone. Obejmuje ono zagadnienia z obszaru medycyny, informatyki, jak również neurobiologii, inżynierii biomedycznej, psychologii poznawczej, etyki oraz filozofii. Z perspektywy medioznawczej, odwołując się do klasycznej teorii Marshalla McLuhana, BCI można postrzegać jako medium radykalnie zmieniające relację między nadawcą (umysłem) a odbiorcą (systemem cyfrowym), a także eliminujące tradycyjne kanały sensoryczno-motoryczne. Z kolei BMI, w swej różnorodności, wpisują się w szerszą koncepcję *technologicznego przedłużenia* ciała i umysłu. Otwiera to natomiast pole do analizy zagadnienia interakcji *człowiek-maszyna* w ramach teorii *aktora-sieci* (ANT) Bruno Latoura[8]. W tym ujęciu każda innowacja technologiczna faktycznie oddziałuje tak na ludzi (użytkowników, projektantów,

---

[6] Warto zwrócić tu uwagę na złożoność aspektu terminologicznego. Funkcjonują różne perspektywy badawcze, według których terminy BCI (*Brain Computer Interface*), DBI (*Direct Brain Interface*) oraz BMI (*Brain-Machine Interface*) mogą być używane jako synonimy (np. Graimann) lub też powinny być rozpatrywane jako całkiem oddzielne kategorie (Principe, McFarland); zob. szerzej: Cudo, A., Zabielska, E., Bałaj, B., *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg-komputer* [w:] Gorbaniuk, B., Kostrubiec-Wojtachnio, D., Musiał, M *et.al.*, *Studia z Psychologii w KUL*, T. 17 Lublin, Wydawnictwo KUL 2011, s. 189–211.

[7] Cudo, A., Zabielska, E., Bałaj, B., *Wprowadzenie w zagadnienie interfejsów mózg-komputer* [w:] Gorbaniuk, B., Kostrubiec-Wojtachnio, D., Musiał, M i inn., *Studia z Psychologii w KUL*, T. 17 Lublin, Wydawnictwo KUL 2011, s. 189–211.

[8] Latour, B., *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford, Clarendon, 2005 [za:] (https://www.uni-weimar.de/kunst-und-gestaltung/wiki/images/Latour-introduction-to-ant-theory.pdf) [dostęp: 22.02.2025]

instytucje), jak i na inne byty i procesy (prawo, normy etyczne, normy kulturowe, rynek urządzeń elektronicznych, itp.). Neurointerfejsy stają tu niejako aktorami w sieci relacji *człowiek-maszyna*, współkształtującymi zarówno technologiczne, jak i społeczne środowisko. Odbywa się to poprzez zmianę sposobu, w jaki ludzie angażują swoje ciała oraz umysły w relacje z technologią.

Rodzaje interfejsów BMI i ich zastosowanie

Interfejsy BMI można klasyfikować, ze względu na sposób aplikacji, na inwazyjne i nieinwazyjne. Rodzaj aplikacji przede wszystkim determinuje precyzję ich działania oraz dostępność, ale wpływa także na relacje użytkownika ze środowiskiem zewnętrznym. Pierwsza kategoria wymaga operacyjnej implantacji elektrod bezpośrednio do mózgu lub pod czaszkę. Przykładem jest implant zastosowany przez ww. *Neuralink*, który umożliwia bezpośrednią komunikację mózgu z komputerem. Ta metoda pozwala na bardziej precyzyjne odczytywanie sygnałów neuronalnych i ich interpretację niż w przypadku aplikacji nienaruszających ciągłości tkanek. Jej inwazyjność rodzi natomiast pytania o ryzyko medyczne i etyczne, zwłaszcza w kontekście autonomii pacjenta i potencjalnej komercjalizacji ciała jako nośnika technologii[9].

Metoda nieinwazyjna opiera się na urządzeniach umieszczonych na skórze głowy lub w jej pobliżu. Nieinwazyjne BCI wykorzystują przede wszystkim elektroencefalografię (EEG), funkcjonalną spektroskopię bliskiej podczerwieni (fNIRS)[10], funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI) i magnetoencefalografię (MEG) do rejestrowania aktywności mózgu[11]. Spośród nich EEG jest najczęściej stosowana ze

[9] Rose, N., *The Politics of Life Itself. Theory Culture & Society*, - Theory Culture & Society 18(6):1-30, (https://www.researchgate.net/publication/247948450_The_Politics_of_Life_Itself) [dostęp: 12.02.2025]

[10] Wysocka, J., Golec, K., Pluta, A., *Zastosowanie techniki fnirs w badaniach mechanizmów neuronalnych poznania społecznego przegląd najważniejszych badań*, [w:] Polskie Forum Psychologiczne, 2020, tom 25, numer 1, s. 21–39. (DOI: 10.14656/PFP20200102); [dostęp: 22.02.2025]

[11] Hsieh, J.-Ch., Alawieh, H., Millán, J., *The Evolving Landscape of Non-Invasive EEG Brain-Computer Interfaces,* (20.10.2024) Cockrell School of Engineering at The University of Texas,

względu na swoją mobilność, przystępną cenę i zdolność do rejestrowania aktywności mózgu w czasie rzeczywistym. Wadą metody nieinwazyjnej jest to, że tym przypadku sygnały neuronalne są tłumione przez kości czaszki, co ogranicza ich siłę i szybkość przetwarzania, a w konsekwencji, metoda ta cechuje się mniejszą dokładnością.

Współcześnie BMI znajdują szerokie zastosowanie, w szczególności we wspomnianej już diagnostyce medycznej, ale także rehabilitacji i neuroprotetyce. Postępy w neurotechnologii pozwalają na konwersję sygnałów neuronalnych na polecenia sterujące systemami komunikacyjnymi oraz urządzeniami wspierającymi codzienne funkcjonowanie osób z niepełnosprawnościami. Jednym z najbardziej spektakularnych osiągnięć w tej dziedzinie jest opracowanie przez zespół Brandmana interfejsu BCI, który tłumaczy sygnały mózgowe na mowę z dokładnością do 97%. To najbardziej precyzyjny obecnie system tego rodzaju[12], którego dokładność pozwala, by za jego pośrednictwem osoby z ALS mogły *przemawiać* za pomocą myśli[13]. Innym przykładem technologii BCI pozwalającej na komunikacje jest system *P300 speller*, wprowadzony pod koniec lat 90' XX w. przez Larry'ego Farwella i Emanuela Donchina[14]. Umożliwia on komunikację pacjentów poprzez wybór liter na wirtualnej klawiaturze za pomocą myśli. Dzięki powyższym rozwiązaniom nim np. osoby cierpiące na schorzenia neurologiczne mogą komunikować się ze światem zewnętrznym, nawet gdy doszło u nich do utraty funkcji werbalnych czy motorycznych[15].

(https://cockrell.utexas.edu/news/archive/10097-the-evolving-landscape-of-non-invasive-eeg-brain-computer-interfaces) [dostęp: 12.02.2025]

[12] Willett, F.,Kunz, E., i in., *A high-performance speech neuroprosthesis*, August 2023, Nature 620 (7976) (https://www.researchgate.net/publication/373348109_A_high-performance_speech_neuroprosthesis); [dostęp: 12.02.2025]

[13] Metzger , S.L., *New brain-computer interface allows man with ALS to 'speak' again The National Desk*, 2022

[14] Zob. Farwell, L.A, Donchin, E., *Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials*, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Volume 70, Issue 6, 1988, s. 510-523 (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0013469488901496) [dostęp: 12.02.2025]

[15] Willett, F.,Kunz, E., i in., *A high-performance…*

Innowacyjnym kierunkiem jest łączenie tej technologii z immersyjnymi grami *Virtual Reality* (VR) – takie połączenie stwarza nowe możliwości w rehabilitacji osób z zaburzeniami neurologicznymi. Sterowanie w tego typu grach wykorzystuje sygnały elektroencefalograficzne (EEG) do wykrywania intencji ruchowych pacjenta i dostarczania mu spersonalizowanej informacji zwrotnej. W świetle przeprowadzonych badań, gry VR oparte na BCI bardziej angażują i motywują pacjentów do wysiłków rehabilitacyjnych w porównaniu do tradycyjnych metod[16].

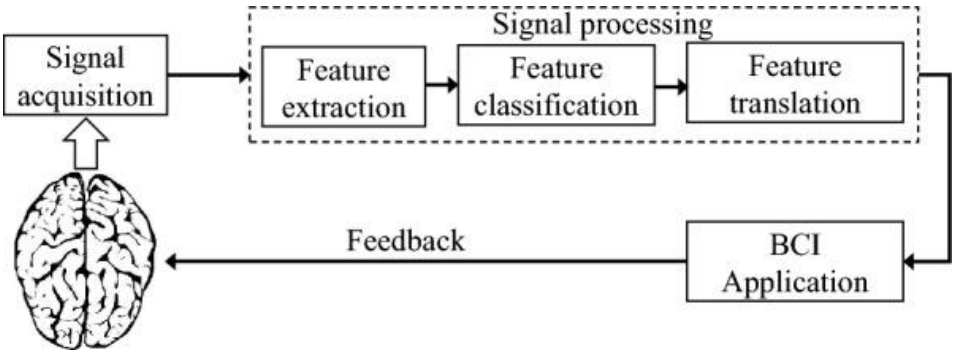
Równolegle, skalowanie ww. rozwiązań napotyka istotne bariery: finansowe i technologiczne. Systemy te wymagają specjalistycznego sprzętu, oprogramowania i odpowiedniego przygotowania. Z tego też względu ich zastosowanie ogranicza się głównie do placówek medycznych, które posiadają odpowiednie zasoby i źródła finansowania. Szansą na szerszą popularyzację tych rozwiązań jest zwiększająca się moc obliczeniowa urządzeń oraz rosnąca konkurencja w tym obszarze.

Innym przykładem rozwiązań interfejsów BMI, *notabene,* jednym z pierwszych i obecnie powszechnie stosowanych, są implanty ślimakowe, będące protezą narządu słuchu przyłączoną do nerwu słuchowego; trzeba przy tym podkreślić, że stanowią one przykład interfejsu sensorycznego a nie *stricte* interfejsu umożliwiającego sterowanie urządzeniami zewnętrznymi[17].

[16] Gaafer, M.N.et.al., *Immersive Virtual Reality Games in Neuromotor Rehabilitation with Brain-Computer Interfaces: A Scoping Review*', (2024) (https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2024.01.08.24300991v1) [dostęp: 12.02.2025]

[17] Zob. Tadeusiewicz, R., *Części zamienne dla ludzkich zmysłów. Implanty ślimakowe*, Wszechświat, 119 (7–9), (2018), s. 175–182.

Rys 1. Schemat ogólny działania interfejsu BCI opartego na EEG



Źródło: Maiseli, B. i inn. *Brain-computer interface: trend, challenges, and threats*[18].

Rysunek 1. przedstawia schemat funkcjonowania interfejsu BCI oparty na EEG. Fale mózgowe badanego są dekodowane i przekształcane na polecenia dla urządzeń zewnętrznych. Proces ten składa się z kilku etapów, a cykl, powtarzany w czasie rzeczywistym, pozwala na komunikację z komputerem za pomocą rejestrowanej aktywności mózgowej. Skuteczność BCI zależy od wielu czynników, w szczególności od jakości sygnału, mocy obliczeniowej, zastosowanych algorytmów oraz treningu samego użytkownika.

Komercyjne zastosowania BCI i BMI w kontekście SI

Zastosowanie interfejsów neuronalnych, których implementacja wymaga interwencji chirurgicznej, współcześnie ogranicza się głównie do celów medycznych i rehabilitacyjnych. W laboratoriach badawczych prowadzone są np. prace nad coraz bardziej zaawansowanymi egzoszkieletami, zdolnymi do komunikacji z układem

[18] Maiseli, B., Abdalla, A. T., Massawe, L. V., Mbise, M., Mkocha, K., Nassor, N. A., Ismail, M., Michael, J.,

& Kimambo, S. *Brain-computer interface: trend, challenges, and threats*. *Brain informatics*, 2023 (DOI: 10.1186/s40708-023-00199-3); [dostęp: 12.02.2025]

nerwowym użytkownika lub odkodowywania ruchów mięśni[19]. Otwiera to szereg nowych możliwości w zakresie rehabilitacji osób z ograniczeniami ruchowymi, równolegle nie ograniczając zastosowań jedynie do tego obszaru.

Z perspektywy medioznawczej szczególne znaczenie mają komercyjne, nieinwazyjne interfejsy BCI. Te nowoczesne rozwiązania, mimo niższej dokładności, wyróżniają się kompaktowością, niższym kosztem oraz możliwością regularnego użytkowania poza kontekstem klinicznym[20]. Wraz z dynamicznie rozwijającymi się w ostatnich latach systemami SI, połączenie tych dwóch technologii stwarza realne, nowe możliwości w zakresie interakcji człowieka z cyfrowym środowiskiem. Warto również zauważyć, że z tej perspektywy, neurointerfejsy można rozpatrywać jako radykalne rozwinięcie koncepcji Marshalla McLuhana, postrzegającego media jako przedłużenia ludzkich zmysłów i zdolności[21]. W tym przypadku dochodzi bowiem do literalnego połączenia mózgu z technologią medialną. Zmienia to dotychczasowy model interakcji z mediami, oparty na *percepcji* treści za pomocą zmysłów (wzroku, słuchu, itd.) i fizycznej obsłudze urządzeń (w przeważnym stopniu manualnej).

Ten nowy model, w którym myśl staje się bezpośrednim narzędziem sterowania, znajduje szczególnie interesujące zastosowanie w obszarze rozrywki cyfrowej, która zazwyczaj stanowi forpocztę innowacyjnych rozwiązań, przed ich upowszechnieniem na szeroką skalę w innych dziedzinach. Takim obszarem jest współcześnie *neurogaming*, czyli wykorzystanie aktywności fal mózgowych do sterowania urządzeniami cyfrowymi. O ile tradycyjne modele interakcji z grami i aplikacjami opierają się na kontrolerach ruchowych, klawiaturach, myszkach czy systemach

[19] Szerzej o zastosowaniu nowoczesnych egzoszkieletów zob. np. Luo S, Jiang M, Zhang S, i inn., *Experiment-free exoskeleton assistance via learning in simulation*, Nature. 2024 Jun; 630(8016):353-359. (DOI: 10.1038/s41586-024-07382-4). Epub 2024 Jun 12. [dostęp: 12.12.2024]

[20] Zob. TajDini, M., Sokolov, V., Kuzminykh, I.; Shiaeles, S.; Ghita, B., *Wireless Sensors for Brain Activity—A Survey*. *Electronics* 2020, *9*, 2092. (DOI: 10.3390/electronics9122092) [dostęp: 12.02.2025]

[21] McLuhan, M., *Zrozumieć media. Przedłużenia człowieka*, (1964) Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.

śledzenia ruchu gałek ocznych, o tyle zastosowanie interfejsów BCI oferuje alternatywne rozwiązanie. W tym modelu decyzje podejmowane przez gracza są odczytywane bezpośrednio z jego aktywności mózgowej i przekładane na działania w grze. Dzięki temu gracze mogą np. poruszać postacią, wybierać przedmioty czy podejmować inne aktywności wyłącznie poprzez koncentrację lub wizualizację ruchu. Szczególny potencjał tej technologii dostrzegany jest w kontekście gier wykorzystujących rzeczywistość wirtualną (VR) i rozszerzoną (AR)[22]; tego typu rozwiązania stosowane w branży gier elektronicznych znajdują zastosowania także w dziedzinie wojskowości, gdzie np. systemy wspierające pilotów myśliwców czy operatorów dronów umożliwiają błyskawiczną kontrolę złożonych parametrów lotu za pomocą impulsów mózgowych.

Potencjał technologii BCI nie ogranicza się jednak wyłącznie do ww. zastosowań. Jak zauważają Mahyar TajDini i Volodymyr Sokolov z zespołem, rozwój rynku urządzeń konsumenckich, w szczególności akcesoriów ubieralnych (*wereables)*, które wykorzystują proces odczytywania aktywności elektrycznej mózgu, przyspieszył w ostatnich latach. Wskazują, że rozwój napędzany jest głównie innowacjami w zakresie miniaturyzacji sprzętu a także mniejszej potrzeby standaryzacji i precyzji w zastosowaniach niemedycznych. W efekcie firmy elektroniczne wprowadzają na rynek kolejne generacje takich urządzeń przeznaczonych do różnych celów: wspomnianej rozrywki cyfrowej (*gaming*), jak również wspomagających trening sportowy, urządzenia *wellness* a także edukacji.

Jednym z pionierów na rynku komercyjnych, nieinwazyjnych BCI jest firma *Emotiv*[23], która wprowadziła na rynek urządzenia pozwalające użytkownikom na

[22] Zob. GomezRomero-Borquez, J., Del-Valle-Soto, C., Del-Puerto-Flores, i inn., *Neurogaming in Virtual Reality: A Review of Video Game Genres and Cognitive Impact*. *Electronics* 2024, *13*, 1683. (DOI: 10.3390/electronics13091683); [dostęp: 12.02.2025]

[23] Zob. strona internetowa firmy *Emotive* (https://www.emotiv.com/products/emotiv-bci?srsltid=AfmBOoqgbnNPI5PAFiLxFr0t30BGNYxB40z_oPuKQ97xyFvggGdi3lNc); [dostęp: 12.02.2025]

prostą interakcję z grami czy aplikacjami poprzez analizę fal mózgowych (EEG). Chociaż urządzenia *Emotiv* są często kojarzone z *neurogamingiem*, ich uniwersalność pozwala na zastosowanie w szerszym kontekście, obejmującym rehabilitację pacjentów, edukację poprzez doznania sensoryczne czy badania naukowe. Należy jednak zaznaczyć, że korzystanie z tych technologii wymaga odpowiedniego przygotowania (kalibracji urządzenia, treningu użytkownika) oraz oprogramowania, które jest dostarczane przez producenta[24].

Rys 2 Bezprzewodowy zestaw słuchawkowy EEG EPOC X

Źródło: strona internetowa firmy *Emotiv* (https://www.emotiv.com/products/epoc-x)

Analizując trendy konsumenckie, można zauważyć rosnące zainteresowanie neurointerfejsami także m.in. w obszarze szeroko pojętego dbania o zdrowie psychofizyczne (branża *wellness*), samorozwoju i produktywności. Przykładem jest *Neeuro SenzeBand,* opaska z wbudowanymi sensorami, umożliwiająca

[24] Przykład rozgrywki prowadzonej przez gamerkę PerriKaryal za pomocą urządzenia firmy *Emotive*. Filmy również obrazują proces przygotowania do użytkowania tego zestawu, poprzez odpowiednie ćwiczenia (https://www.youtube.com/embed/zKeglMqRHY4 lub https://www.youtube.com/watch?v=UXzncNh7rr8); [dostęp: 19.02.2025]

monitorowanie poziomu koncentracji, stresu i relaksu; dopełnieniem urządzenia są aplikacje i gry do treningu mentalnego.

Analizując zagadnienie z szerszej perspektywy, można zauważyć, że rozwój nieinwazyjnych interfejsów BCI potencjalnie otwiera perspektywę radykalnej transformacji konsumpcji mediów. Transformacji, w której fizyczne nośniki i tradycyjne kanały komunikacji ustępują miejsca bezpośredniej interakcji *umysł-komputer*. W takim modelu treści medialne – od filmów, przez gry, po artykuły – mogłyby być przesyłane wprost do umysłu, symulując naturalne procesy myślowe i eliminując potrzebę ekranów czy kontrolerów. Przykładem potencjału tej zmiany są eksperymenty w zakresie komunikacji *umysł-umysł*, takie jak badanie Rao i Stocco. W kontekście medioznawczym taka *technologiczna telepatia* radykalnie transformuje relację *nadawca-odbiorca*, zacierając granice między intencją a działaniem. W takim scenariuszu interakcje społeczne, jak polubienie czy udostępnienie treści, mogłyby odbywać się na poziomie myśli, dekodowanych w czasie rzeczywistym przez algorytmy SI.

Ta wizja niesie jednak istotne implikacje dla świata mediów i marketingu. W świecie neurointerfejsów kampanie reklamowe mogłyby, w najbardziej odważnych scenariuszach, ewoluować w kierunku neuronalnej perswazji, wykorzystując analizę aktywności mózgowej np. do hiperpersonalizacji przekazów lub wręcz wywoływania pragnień konsumenckich. Tym samym w omawianym *neurogamingu* reklamy mogłyby stać się niewidocznym elementem narracji, wplecionym w doświadczenie gracza tak, by nie odróżniał ich od fabuły. Zjawisko to byłoby spotęgowane zanurzeniem w wirtualnej rzeczywistości[25] - takie środowisko pozwalałoby użytkownikowi *doświadczać* marki, zamiast ją oglądać.

[25] Knosala, R., i inn., *Zastosowanie innowacyjnych technologii informatycznych,* Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2024, s. 229-232.

Podobnie np. w mediach społecznościowych urządzenia BCI mogłyby monitorować reakcje użytkownika, dostosowując wyświetlane treści tak, aby maksymalizować zaangażowanie emocjonalne odbiorców. W szerszej perspektywie BCI może przekształcić obecną *ekonomię uwagi*[26] w *ekonomię neuronów*. W takim scenariuszu firmy rywalizowałyby o dostęp do danych neuronalnych, możliwość ich interpretacji i wykorzystania do kształtowania zachowań konsumentów. Choć wizje powyższe pozostają obecnie w obszarze futurystycznych dywagacji, ich medioznawcze konsekwencje – od redefinicji narracji po nowe formy oddziaływania na odbiorcę – wymagają, zdaniem autora, dalszych badań.

Potencjał nieinwazyjnych interfejsów BCI nie ogranicza się do przestrzeni mediów i rozrywki. Obszarem, w którym interfejsy *mózg-komputer* wydają się mieć ogromne znaczenie jest edukacja. Realnym przykładem takiego zastosowania był pilotażowy projekt przeprowadzony w Chinach w 2019 r. , w którym wykorzystano opaski monitorujące poziom koncentracji u 10 tys. uczniów w wieku 10–17 lat. Urządzenia monitorowały aktywność mózgu, a zebrane dane były przesyłane do aplikacji, która umożliwiała nauczycielom śledzenie poziomu uwagi uczniów w czasie rzeczywistym. Dzięki monitoringowi możliwe było identyfikowanie na bieżąco uczniów, którzy potrzebowali wsparcia; uzupełnieniem tych badań były specjalne treningi mające na celu poprawę koncentracji (w tym celu zaprojektowano odpowiednie gry na urządzenia mobilne)[27]. O ile powyższe działanie było eksperymentem jeszcze sprzed pandemii , o tyle firma *BrainCo,* która dostarczyła urządzenia, rozwija obecnie w obszarze edukacji program *NeuroMaker* STEM, który wykorzystuje technologię BCI do nauczania umiejętności STEM (*Science, Technology, Engeneering, Math*); oferuje także

[26] Zob. Davenport, T.H., Beck, J.C., *The Attention Economy. Understanding the New Currency of Business*, Watertown: Harvard Business Review Press, 2002.

[27] Zob. Ye, Y., *Brain-reading headsets trialled on 10,000 schoolchildren in China*, (14.01.2019), *NewScientist,* (https://www.newscientist.com/article/2190670-brain-reading-headsets-trialled-on-10000-schoolchildren-inchina/#Echobox=1547505185) [dostęp: 19.02.2025]

szereg komercyjnie dostępnych produktów m.in. wspierających zdrowie psychiczne (*Oxyzen*), wspomagające sen i redukujące stres (*Easleep*, *FocusCalm*)[28].

Prócz przywoływanych wyżej urządzeń można również wskazać szereg inicjatyw, które wygasły pomimo obiecujących zapowiedzi i zbiórek w serwisach crowdfundingowych (np. *Aurora Dreamband*[29]). To także sygnał wskazujący rosnące zainteresowanie technologiami umożliwiającymi kontrolowanie urządzeń a także modyfikowanie czy ulepszanie jakości życia poprzez urządzenia rejestrujące aktywność mózgu. Można to uznać także za kolejne kroki na drodze interakcji *człowiek-maszyna*. Równolegle trudno przewidzieć, jak szybko zostaną one wdrożone na szeroką skalę, wychodząc poza obszar technogadżetów, trafiających do wąskiej grupy entuzjastów nowych technologii i przedstawicieli mediów odwiedzających technologiczne targi, np. CES (*Consumer Electronics Show*) w Las Vegas[30].

III. Bariery i zastrzeżenia

Stosowanie interfejsów BCI, w szczególności do celów konsumenckich, budzi wiele wątpliwości, zarówno pod kątem ich realnej efektywności, jak i potencjalnego wpływu na ludzkie zachowania. Obecnie liczne rozwiązania znajdują się wciąż na etapie badań i rozwoju, a ich komercyjna dostępność jest ograniczona. Gregoire Cattan zwraca uwagę, że pomimo postępów w technologii EEG i adaptacyjnych algorytmach, stan współczesnej technologii BCI nie pozwala na jej upowszechnienie do celów konsumpcji mediów i rozrywki. Jako główne bariery hamujące ich rozwój jako

[28] Zob. strona firmowa *BrainCo*: (https://brainco.tech/#/) [dostęp: 19.02.2025]

[29] ABC News, https://www.youtube.com/watch?v=GIIRCINGDHw [dostęp: 19.02.2025]

[30] CES to jedno z największych i najważniejszych wydarzeń technologicznych na świecie. Organizowane przez *Consumer Technology Association* (CTA), CES odbywa się co roku w Las Vegas i przyciąga tysiące wystawców oraz setki tysięcy uczestników z całego świata. Na CES prezentowane są najnowsze innowacje i produkty z różnych dziedzin technologii, takich jak elektronika konsumencka, sztuczna inteligencja, robotyka, pojazdy autonomiczne i wiele innych CES; szerzej zob. https://www.ces.tech/ [dostęp: 19.02.2025]

np. wskazuje bariery technologiczne i kosztowe. Zwraca również uwagę na złożoność urządzeń do pomiaru fal mózgowych EEG, jak i konieczność odpowiedniego przeszkolenia użytkowników. Równolegle niezbędna jest standaryzacja urządzeń i protokołów dla twórców gier i programistów, ponieważ obecnie są one niejednolite[31]. Odrębnym problem jest fakt, że aby realnie mogły zacząć funkcjonować gry wykorzystujące potencjał BCI, musi dokonać się zmiana dotycząca konceptu kreatywnego i samej architektury gier, gdyż obecnie są one projektowane z myślą o wykorzystaniu tradycyjnych kontrolerów (np. klawiatura, myszka).

Dodatkowo, pojawiają się obawy dotyczące prywatności danych i etycznych aspektów związanych z monitorowaniem aktywności użytkowników a także gromadzeniem, przetwarzaniem i przechowywaniem tych danych. Dane neuronalne są danymi biometrycznymi o szczególnym charakterze, a ich potencjalne wykorzystanie (lub nadużycie) jest obszarem wyjątkowo wrażliwym. Dotyczą one m.in. możliwości profilowania użytkowników na podstawie ich aktywności mózgowej, potencjalnej dyskryminacji, a nawet manipulacji ich zachowaniem. Zwracają na to uwagę m.in. twórcy opublikowanego w 2023 r. raportu UNESCO *Unveiling the neurotechnology landscape: scientific advancements innovations and major trends* wskazując, że neurotechnologie mogą nie tylko leczyć choroby, ale także zmieniać osobowość czy wspomnienia, co rodzi szereg fundamentalnych pytań o wolność myśli i tożsamość człowieka. W tym kontekście pojawia się koncepcja „praw neuronowych" (*neurorights*), którą zaproponowali Marcello Ienca i Roberto Andorno w 2017 r.[32] Prawa neuronowe w tym ujęciu to zestaw norm mających na celu ochronę integralności psychicznej, autonomii i prywatności mentalnej jednostki wobec

[31] Cattan, G., *The Use of Brain–Computer Interfaces in Games Is Not Ready for the General Public,* (2021) Frontiers in Computer Science V.3. (https://www.frontiersin.org/journals/computer-science/articles/10.3389/fcomp.2021.628773) [dostęp: 12.02.2025]

[32] Andorno, R., Ienca, M., *Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology*, Life Sciences, Society and Policy, 2017 (DOI: 10.1186/s40504-017-0050) [dostęp: 22.02.2025]

technologii ingerujących w aktywność mózgu[33]. Znaczący wkład w rozwój i popularyzację tej koncepcji wniósł również neurobiolog Rafael Yuste. Jego zaangażowanie w tym obszarze doprowadziło m.in. do współpracy z chilijskimi politykami i naukowcami oraz stworzenia pierwszej na świecie propozycji ustaw dotyczących ochrony praw neuronowych. W efekcie w 2021 r. Chile stało się pierwszym krajem na świecie, który wpisał ochronę praw neuronowych do swojej konstytucji[34]. Ta pionierska regulacja zakłada ochronę użytkowników przed nieautoryzowanym dostępem do danych neuronalnych oraz ich wykorzystaniem do manipulowania zachowaniem lub podejmowaniem decyzji. Wprowadzenie tych regulacji w chilijskiej ustawie zasadniczej stanowi istotny krok w kierunku ochrony praw człowieka w kontekście postępujących technologii ingerujących w aktywność mózgu, zapewniając, że takie technologie nie będą wykorzystywane w sposób naruszający wolną wolę czy godność osobistą jednostki.

Jednym z fundamentalnych wyzwań związanych z rozwojem neurotechnologii, które legło u podstaw koncepcji praw neuronowych, jest ryzyko komercjalizacji i nadużywania danych neuronalnych. Podczas gdy początkowo interfejsy *mózg-komputer* (BCI) rozwijano przede wszystkim w kontekście medycyny i rehabilitacji, to rosnąca precyzja i dostępność tych technologii otwiera nowe możliwości ich zastosowania w sektorze komercyjnym. W szczególności wykorzystanie BCI w marketingu, w tym w analizie reakcji emocjonalnych użytkowników, stanowi jedno z potencjalnych zagrożeń dla prywatności danych neuronalnych, ponieważ może prowadzić do zaawansowanego profilowania konsumentów oraz personalizacji treści reklamowych.

[33] Zob. Hain, D. S., Jurowetzki, R., i in. (red.), *Unveiling the neurotechnology landscape: scientific advancements innovations and major trends,* Raport UNESCO 2023, s. 30-31. (https://doi.org/10.54678/OCBM4164); [dostep: 22.02.2025]

[34] Ruiz, S., Valera, L., Ramos, P., Sitaram, R., *Neurorights in the Constitution: from neurotechnology to ethics and politics*, (21.10. 2024) https://doi.org/10.1098/rstb.2023.0098; [dostęp: 22.02.2025]

Warto zauważyć, że już teraz dane neuronalne stają się towarem. Przykładem są badania neuromarketingowe, głównie dotyczące preferencji konsumenckich i percepcji przekazów reklamowych, zainicjowane przez Herberta Krugmana w latach 70. XX w.[35]. Współcześnie tego rodzaju usługi są komercyjnie oferowane przez agencje badawcze i stanowią element współczesnego instrumentarium marketingowego[36].

Także urządzenia konsumenckie, jak np. wzmiankowany *Emotiv EPOC X*, zbierają dane użytkowników do cyfrowej chmury, gdzie po zanonimizowaniu mogą być wykorzystane w celach badawczych i marketingowych[37]. Budzi to szczególne obawy w kontekście wrażliwych danych neuronalnych. Istnieje bowiem ryzyko, że w dłuższej perspektywie, wraz z rosnącą precyzją i dostępnością urządzeń BCI, technologie te zostaną włączone do systemów umożliwiających nie tylko analizę aktywności neuronalnej, czy wręcz kształtowania zachowań. O rosnącym zainteresowaniu tymi rozwiązaniami świadczy fakt, że liczba publikacji naukowych dotyczących zastosowań BCI w marketingu znacząco wzrosła w ostatnich latach, na co uwagę zwracają w swoim przeglądzie Andrea Bazzani oraz Silvio Ravaioli[38]. Z tego też względu praktyki neuromarketingowe powinny być ściśle powiązane z regulacjami prawnymi i normami etycznymi, zapewniającymi ochronę prywatności użytkowników i ich autonomii poznawczej.

---

[35] H. Krugman jako pierwszy wykorzystał techniki neuroobrazowania (EEG) do badań nad skutecznością reklam, co zapoczątkowało rozwój neuromarketingu jako dyscypliny naukowej; zob. Daugherty, T., Hoffman, E., Kennedy, K., i in., *Measuring consumer neural activation to differentiate cognitive processing of advertising: Revisiting Krugman*, European Journal of Marketing, Vol. 52 No. 1/2, 2018 s. 182-198. https://doi.org/10.1108/EJM-10-2017-0657 [dostęp: 22.02.2025]

[36] Zob. np. strona firmowa Nielsen (https://nielseniq.com/global/en/landing-page/bases-system-1) a także AMS Research Solutions: https://neurodata.pl/ [dostęp: 22.02.2025]

[37] Na taką praktykę mogą wskazywać nieprecyzyjne zapisy w polityce prywatności dotyczące pól eksploatacji, zob. strona firmowa Emotiv, sekcja „polityka prywatności" (https://id.emotivcloud.com/eoidc/privacy/terms/) [dostęp: 22.02.2025]

[38] Bazzani., A., Ravaioli, S., Trieste, L. I in., *Is EEG Suitable for Marketing Research? A Systematic Review*, (21.12.2020), DOI: 10.3389/fnins.2020.594566) [dostęp: 22.02.2025]

IV. UMYSŁ W ŚWIATŁOWODZIE

Interfejsy mózg-komputer (BCI) w połączeniu z Internetem Rzeczy (IoT) faktycznie otwierają nowe możliwości interakcji człowieka z otoczeniem cyfrowym. Mimo że integracja BCI i IoT znajduje się na wczesnym etapie rozwoju, badania wskazują na potencjał tej technologii, zwłaszcza w obszarze wsparcia osób z niepełnosprawnościami[39]. Należy również zauważyć, że pomimo licznych prac prowadzonych przez wiodące firmy technologiczne, trudno prognozować kiedy przetestowane rozwiązania w tym obszarze będą dostępne do powszechnego zastosowania. Jest to jednak kierunek, który jest eksplorowany ze względu na potencjał komercyjnego wykorzystania. Jak wskazują badania Francisco Laporta i zespołu, interfejsy BCI mogą być wykorzystywane do sterowania urządzeniami IoT, automatyzując i optymalizując działanie sprzętów domowych, takich jak telewizory, klimatyzatory czy oświetlenie. Już obecnie osiągnięto obiecujące wyniki w badaniach nad wykorzystaniem omawianego wcześniej interfejsu *P300 speller* do obsługi urządzeń elektronicznych przez osoby z poważnymi niepełnosprawnościami, na co wskazuje m.in. Corralejo z zespołem[40].

Równolegle prowadzone są eksperymenty nad połączeniem ludzkich mózgów za pośrednictwem sieci IoT w celu usprawnienia wymiany informacji i doświadczeń między jednostkami. Znamiennego eksperymentu w tym zakresie dokonali w 2013 r. Rajesh P. N. Rao oraz Andrea Stocco, badacze z Uniwersytetu Waszyngtońskiego. Udowodnili możliwość przesłania przez sieć odkodowanych sygnałów mózgowych

[39] Corralejo, R., Nicolás-Alonso LF, Álvarez D. i in., *A P300-based brain-computer interface aimed at operating electronic devices at home for severely disabled people*. Med Biol Eng Comput. 2014;52:861–872 (DOI: 10.1007/s11517-014-1191-5) [dostęp: 12.02.2025]

[40] Laport, F., L., Vazquez-Araujo, F., Castro-Castro, P. i in., *Brain-Computer Interfaces for Internet of Things*. (2018) Proceedings. (https://www.researchgate.net/publication/327705322_Brain-Computer_Interfaces_for_Internet_of_Things) [dostęp: 12.02.2025]

i wywołania określonego działania (ruchu palcami) u odbiorcy, bez świadomego udziału[41].

Choć przeprowadzono liczne eksperymenty demonstrujące możliwość sterowania urządzeniami IoT za pomocą BCI, integracja sieci *mózg-mózg* przez infrastrukturę IoT pozostaje aktualnym wyzwaniem badawczym. Szczególnie istotne jest opracowanie bezpiecznych protokołów transmisji sygnałów neuronalnych oraz zbadanie możliwości łączenia różnych modalności komunikacyjnych, takich jak interfejsy *umysł-umysł* i *umysł-maszyna*. Równolegle należy zwrócić szczególną uwagę na aspekt etyczny tego rodzaju badań i wdrożeń. Jak wskazuje Nikolas Rose, współczesne technologie biomedyczne coraz częściej przekształcają ciało w nośnik danych i technologii, poddając je logice rynkowej[42]. W przypadku BMI, pacjent może stać się zależny od korporacyjnych ekosystemów (np. oprogramowania *Neuralink*), co ogranicza jego kontrolę nad własnym ciałem i umysłem. Równolegle krytyczne znaczenia ma kwestia prywatności danych neuronalnych, gdyż potencjalnie mogą być wykorzystywane do różnych celów, np. komercyjnych (profilowania konsumenckiego lub jako oferta dla innych podmiotów do zastosowania w celach promocyjnych), a w ekstremalnych przypadkach – do kontroli społecznej. Dlatego też rozwój tej kategorii technologii musi być prowadzony z zachowaniem rygorystycznych zasad etycznych i transparentnej polityki, szczególnie w kontekście prywatności danych neuronalnych i autonomii jednostki.

V. WNIOSKI

[41] Zob. Rao, Rajesh, R., Stocco, A. i in., *A Direct Brain-to-Brain Interface in Humans*, (2014) PLoS ONE. (https://www.researchgate.net/publication/267809989_A_Direct_Brain-to-Brain_Interface_in_Humans); [dostęp: 12.02.2025]

[42] Rose, N., *The Human Sciences in a Biological Age*, Theory, Culture & Society, 30(1), s. 3-34; (https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0263276412456569); [dostęp: 22.02.2025]

Jedną z konsekwencji postępującej cyfryzacji oraz badań z zakresu neurobiologii jest rozwój nowych form interakcji *człowiek-maszyna* (HMI), których najbardziej zaawansowaną współcześnie formę stanowią interfejsy *mózg-komputer* (BCI). Impulsem do ich dynamicznego rozwoju było, oprócz bezprecedensowego zwiększenia mocy obliczeniowej maszyn cyfrowych, także rozwój sztucznej inteligencji, a w szczególności Dużych Modeli Językowych. Ta synergia odgrywa kluczową rolę w coraz bardziej precyzyjnej interpretacji sygnałów mózgowych, stanowiących fundament funkcjonowania BCI.

Interfejsy neuronalne mają ogromny potencjał, by fundamentalnie zmienić sposób, w jaki człowiek wchodzi w interakcję ze światem cyfrowym, również w obszarze mediów, rozrywki, edukacji czy nawet komunikacji międzyludzkiej. Z perspektywy medioznawczej, rozwój BCI to jednak nie tylko szansa na rewolucję w sposobie, w jaki konsumujemy treści. To także szereg wyzwań, zarówno technologicznych, jak i prawnych oraz etycznych, które stoją na drodze do upowszechnienia się tej technologii z poszanowaniem prawa człowieka do samostanowienia i wolnej woli przy podejmowaniu decyzji. Z tego też względu wymagają dalszych badań, a w szczególności uregulowania kwestii przetwarzania danych biomedycznych - bo za takie należy uznać informacje dotyczące aktywności elektrycznej mózgu. Z tej perspektywy za pozytywny krok należy uznać inicjatywę zainicjowaną przez UNESCO, mającą na celu przygotowanie globalnych wytycznych dotyczących etyki neurotechnologii, które mają zostać przyjęte w 2025 r. Wśród nich szczególną uwagę zwrócono na ochronę praw człowieka, wolność myśli i godność ludzka, zapobieganie nadużyciom neurotechnologii oraz zapewnienie równego dostępu do korzyści płynących z jej rozwoju[43].

[43] Hain, D. S., Jurowetzki, R., i in., (red.), *Unveiling the neurotechnology landscape: scientific advancements innovations and major trends,* Raport UNESCO 2023, s. 5. (https://doi.org/10.54678/OCBM4164); [dostęp: 22.02.2025]

Mimo tych wyzwań, wizja przyszłości, w której BCI w połączeniu z Internetem Rzeczy, stają się naturalnym przedłużeniem ludzkich możliwości poznawczych i interakcyjnych, stopniowo się urealnia. Scenariusz ten jest tym bardziej prawdopodobny w świetle obecnych trendów i kierunku rozwoju technologii, gdzie granice między człowiekiem a maszyną ulegają zatarciu. Tym samym można stwierdzić, że w XXI w. realizuje się idea Marshalla McLuhana postrzegającego media, jako przedłużenie ludzkich zdolności, przy czym granica między umysłem a technologią staje się jeszcze bardziej płynna.

Literatura

1. Bazzani., A., Ravaioli, S., Trieste, L. et. al, *Is EEG Suitable for Marketing Research? A Systematic Review*, (21.12.2020), DOI: 10.3389/fnins.2020.594566) [dostęp: 22.02.2025]
2. Brandman, D. M., Cash, S. S. i Hochberg, L. R. (2018) *Review: Human Intracortical Recording and Neural Decoding for Brain-Computer Interfaces*. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 26(9), (DOI: 10.1109/TNSRE.2018.2846955); [dostęp: 22.02.2025]
3. Cattan, G. (2021) *The Use of Brain-Computer Interfaces in Serious Games: A Review*. Frontiers in Computer Science, 3, art. 658765 (DOI: 10.3389/fcomp.2021.658765); [dostęp: 22.02.2025]
4. Corralejo R, Nicolás-Alonso LF, Álvarez D, Hornero R. *A p300-based brain-computer interface aimed at operating electronic devices at home for severely disabled people*. Med Biol Eng Comput. 2014; doi: 10.1007/s11517-014-1191-5.
5. Couldry, N., *Media, Society, World: Social Theory and Digital Media Practice*, Cambridge: Polity Press 2012 (https://www.researchgate.net/publication/281562480_Media_Society_World_Social_Theory_and_Digital_Media_Practice); [dostęp: 22.02.2025]
6. Cudo, A., Zabielska, E. (2020) *Interfejsy mózg-komputer: definicje, zastosowania i wyzwania*. Psychologia i Technologia, 12(2)
7. Daugherty, T., Hoffman, E., Kennedy, K., i in., *Measuring consumer neural activation to differentiate cognitive processing of advertising: Revisiting Krugman*, European Journal of Marketing, Vol. 52 No. 1/2, 2018 (https://doi.org/10.1108/EJM-10-2017-0657); [dostęp: 22.02.2025]
8. Farwell, L.A, Donchin, E., *Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials*, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Volume 70, Issue 6, 1988, (https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0013469488901496) [dostęp: 12.02.2025]
9. Hain, D. S., Jurowetzki, R., i in. (red.), *Unveiling the neurotechnology landscape: scientific advancements innovations and major trends,* Raport UNESCO 2023, (DOI: 10.54678/OCBM4164); [dostep: 22.02.2025]
10. Hsieh,J.-Ch., Alawieh, H., Millán, J., *The Evolving Landscape of Non-Invasive EEG Brain-Computer Interfaces,* (20.10.2024) Cockrell School of Engineering at The University of Texas, (https://cockrell.utexas.edu/news/archive/10097-the-evolving-landscape-of-non-invasive-eeg-brain-computer-interfaces) [dostęp: 12.02.2025]
11. Ienca, M., Andorno, R., *Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology*, Life Sciences, Society and Policy, 2017 (DOI: 10.1186/s40504-017-0050) [dostęp: 22.02.2025]
12. Knosala, R., i inn., *Zastosowanie innowacyjnych technologii informatycznych,* Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2024.

13. Laporta, F., Siegel, J., Garcia, M. (2022) *Brain-Computer Interfaces and the Internet of Things: A Systematic Review*. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 19(1), art. 87. ; (DOI: 10.1186/s12984-022-01045-3); [dostęp: 22.02.2025]
14. Latour, B. (2005) Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory. Oxford: Oxford University Press.
15. Maiseli, B., Mdegella, O. i Mushi, J. (2023) *Brain-Computer Interface: Trend, Challenges, and Threats*. Brain Informatics, 10(1), art. 13 (DOI: 10.1186/s40708-023-00199-3); [dostęp: 22.02.2025]
16. Misiura, M., *Musk wszczepił implant do ludzkiego mózgu. Neuralink ma jednak sporą konkurencję,* Bankier.pl (https://www.bankier.pl/wiadomosc/Musk-wszczepil-implant-do-ludzkiego-mozgu-Neuralink-ma-jednak-spora-konkurencje-8686838.html) [dostęp: 12.02.2025]
17. McLuhan, M., *Zrozumieć media. Przedłużenia człowieka*, (1964) Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.
18. Rao, R. P. N. i Stocco, A. (2013) *Direct Brain-to-Brain Communication in Humans: A Pilot Study*. PLoS ONE, 8(8), e72310 (DOI: 10.1371/journal.pone.0072310); [dostęp: 22.02.2025]
19. Rose, N., *The Human Sciences in a Biological Age*, Theory, Culture & Society, 30(1); (https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0263276412456569); [dostęp: 22.02.2025]
20. Rose, N., *The Politics of Life Itself. Theory Culture & Society*, Theory Culture & Society 18(6):1-30, (https://www.researchgate.net/publication/247948450_The_Politics_of_Life_Itself) [dostęp: 12.02.2025]
21. Ruiz, S., Valera, L., Ramos, P., Sitaram, R., *Neurorights in the Constitution: from neurotechnology to ethics and politics* (21.10. 2024) (DOI: 10.1098/rstb.2023.0098) [dostęp: 22.02.2025]
22. Tadeusiewicz, R., Części zamienne dla ludzkich zmysłów. Implanty ślimakowe, Wszechświat, 119 (7-9), (2018).
23. TajDini, M., Sokolov, V. i inni (2022) *Consumer Brain-Computer Interfaces: A Review of Wearable Neurotechnology Trends*. IEEE Consumer Electronics Magazine, 11(4); (DOI: 10.1109/MCE.2021.3113456) [dostęp: 22.02.2025]
24. Willett, F.,Kunz, E., i in., *A high-performance speech neuroprosthesis*, August 2023, Nature 620 (7976) (https://www.researchgate.net/publication/373348109_A_high-performance_speech_neuroprosthesis); [dostęp: 12.02.2025]
25. Wysocka, J., Golec, K., Pluta, A., *Zastosowanie techniki fnirs w badaniach mechanizmów neuronalnych poznania społecznego przegląd najważniejszych badań*, [w:] Polskie Forum Psychologiczne, 2020, tom 25, numer 1; (DOI: 10.14656/PFP20200102); [dostęp: 22.02.2025]
26. Vidal, J. J., *Toward Direct Brain-Computer Communication*. Annual Review of Biophysics and Bioengineering, 1973, s. 157–180 (DOI: 10.1146/annurev.bb.02.060173.001105); [dostęp: 22.02.2025]

27. Ye, Y., *Brain-reading headsets trialled on 10,000 schoolchildren in China*, (14.01.2019), *NewScientist,* (https://www.newscientist.com/article/2190670-brain-reading-headsets-trialled-on-10000-schoolchildren-inchina/#Echobox=1547505185) [dostęp: 19.02.2025]

Strony firmowe

1. AMS Research Solutions: https://neurodata.pl/ [dostęp: 22.02.2025]
2. BrainCo: https://brainco.tech/#/ [dostęp: 19.02.2025]
3. CES: https://www.ces.tech/ [dostęp: 19.02.2025]
4. Emotiv: https://www.emotiv.com [dostęp: 22.02.2025]
5. Meta: https://ai.meta.com
6. Nielsen: https://nielseniq.com [dostęp: 20.02.2025]