

EDUKACJA WYKORZYSTUJĄCA OSIĄGNIĘCIA NEURONAUK

Włodzisław Duch

*Katedra Informatyki Stosowanej, Instytut Nauk Technicznych,
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej,
Laboratorium NeuroKognitywne, ICNT
Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Grudziądzka 5, Toruń;
wduch@umk.pl; <http://www.is.umk.pl/~duch/indexpl.html>*

Ewa Międzobrodzka

*Department of Communication Science,
Faculty of Social Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam,
De Boelelaan 1105, 1081 HV Amsterdam, Holandia
e.j.miedzobrodzka@vu.nl*

Abstract. While teachers are interested in learning more about brain, many of them are not able to distinguish between neuro-facts and neuro-myths. The aim of the current paper is (1) to introduce neuroeducation as an interdisciplinary scientific field, bridging neuroscience, psychology and pedagogy, and (2) to highlight how to apply evidence from neuroeducational research in a classroom. This paper introduces "Neuroscience and education review" by Howard-Jones (2014), recently updated and translated to Polish.

1. Wstęp

1.1. Od genów do neuronów i zachowania

Od czasu poznania większości ludzkiego genomu w 2003r. [1] mówiło się o genetycznym determinizmie, czyli ogólnych ograniczeniach wynikających z informacji genetycznej wpływających na sprawność działania mózgu. Gdyby jednak porównać ilość genów nicienia i człowieka, okaza-

łoby się, że jest ona prawie identyczna (ok. 19.000 genów) i nie wyjaśnia ogromnej różnicy w złożoności naszych układów nerwowych. Mózg człowieka składa się z około 100 mld neuronów, natomiast nicienia zaledwie 302 neuronów. Genetyka na pewno nie wystarczy by zrozumieć złożoność ludzkiego mózgu.

W budowie ludzkiego mózgu istotną rolę odgrywają nie tylko same neurony, ale również połączenia między nimi, czyli synapsy, których człowiek posiada około 10^{14} - 10^{15} (milion miliardów). Jednym z najważniejszych odkryć badań nad mózgiem jest zjawisko neuroplastyczności [2], które dotyczy powstawania nowych połączeń między komórkami nerwowymi pod wpływem doświadczeń życiowych, treningu czy wychowania. Odkrycie to stanowi fundament wiedzy o mózgu, która może przydać się w edukacji.

1.2. Początki neuroplastyczności

Celem „the Developing Human Connectome Project” [3] jest ustalenie, jak rozwija się konektom, czyli sieć połączeń w mózgu w okresie pre-natalnym, a dokładnie między 20-44 tygodniem ciąży. Badania w ramach tego projektu prowadzone są za pomocą neuroobrazowania (fMRI, EEG), obserwacji ruchów i reakcji płodu oraz dzięki genetyce. Dokładniejsze badanie możliwe jest dopiero od 24 tygodnia ciąży, kiedy neurony zaczynają wysyłać impulsy nerwowe.

Równie ciekawym obiektem do badania neuroplastyczności jest mózg niemowlęcia. Jednym z pierwszych bodźców wpływających na organizację przepływu informacji przez mózg jest ruch i związane z nim wrażenia. Zanim dziecko zacznie wymawiać pierwsze słowa, potrafi pokazać swoje intencje gestami.

1.3. Neuroedukacja i nauki o uczeniu się

Już pod koniec XIX wieku, kiedy możliwości badania mózgu były jeszcze bardzo ograniczone, neurologi i pedagodzy zdawali sobie sprawę ze znaczenia badań nad mózgiem dla edukacji. Dwa pierwsze dzieła na ten temat napisali neurolog Henry Herbert Donaldson (1895) i pedagog Reuben Post Halleck (1896). Gwałtowny rozwój badań o wykorzystaniu wiedzy o mózgu w edukacji o nastąpił dopiero prawie 100 lat później. Jest on związany z dostępnością nowoczesnych metod neuroobrazowania mózgu, takich jak funkcjonalny rezonans magnetyczny (fMRI) czy techniki elektroencefalograficzne (EEG), pozwalające obserwować mózg w trakcie wyko-

nywania różnych zadań. W obszarze tym można wyróżnić dwa na razie mało nakrywające się kierunki badań:

(1) Neuronauki edukacyjne (ang. educational neuroscience), lub neuro-edukacja – badanie uczenia się na poziomie zmian zachodzących w mózgu.

(2) Nauki o uczeniu się (ang. learning sciences), bliższe tradycyjnej pedagogice, używając metod psychologii kognitywnej, społecznej i kulturowej, badające wpływ różnych innowacyjnych procedur, nowych metodologii, projektowania nowych środowisk uczenia się. Tylko w nielicznych ośrodkach są one łączone z neuronaukami.

Podstawowe mechanizmy uczenia związane są z neuroplastycznością. Przy wszystkich osiągnięciach i zaletach badań neuroobrazowych, warto podkreślić ich ograniczenia w kontekście edukacji:

- Badania robione na zwierzętach nie zawsze dają się uogólnić na ludzi.
- Najczęściej są to proste eksperymenty, zwłaszcza w skanerach fMRI, których trafność ekologiczna jest niska – trudno je porównać do sytuacji w szkole.
- Zwykle eksperymenty (poza badaniami podłużnymi) trwają stosunkowo krótko, natomiast edukacja trwa wiele lat.
- Badania nie uwzględniają roli emocji, środowiska, czy czynników społecznych.

1.4. Neuro- i psycho-mity

Wiedza o mózgu w całej swojej złożoności, niesie ze sobą wiele niebezpieczeństw związanych z nadinterpretacjami i nadmiernymi generalizacjami. Przykładem może być tzw. „efekt mózgu” polegający na większej ufności danym naukowym, jeśli dotyczą one mózgu, np. obok pokazana jest ilustracja mózgu. „Ofiarami” błędnych interpretacji i nadużyć na tym polu padają również nauczyciele. Do najbardziej popularnych neuro- i psycho-mitów w edukacji [4] oraz wśród polskich nauczycieli [5] należą następujące przekonania:

- Używamy 10% swojego mózgu (ok. 25% nauczycieli w Polsce w 2014 roku, w 5 krajach – UK, Holandia, Turcja, Grecja, Chiny to ok 50%).
- Dostosowanie się do preferowanego stylu uczenia się – wzrokowego, słuchowego czy kinestetycznego – wpływa na skuteczność uczenia (>80%).

- Dominacja lewej („inżynierskiej”) lub prawej półkuli mózgu (artyścycznej) wyjaśnia różnice uzdolnień uczniów (60-80%).
- Dobrą metodą uczenia się jest „gimnastyka mózgu” Paula Dennisona, kinezylogia edukacyjna, programowanie neurolingwistyczne (NLP), wykorzystanie struktogramów i wiele innych.

1.5. Rzetelne materiały na temat neuroedukacji

Sporo ciekawych opracowań i praktycznych materiałów na temat neuroedukacji dostępnych jest po angielsku. Przykładami mogą być z kursy online dla nauczycieli, takie jak FutureLearn z Australii [6]. Zespół IlluminatED Open Educational Resources (Finlandia) opracował darmowy kurs (MOOC) jak też narzędzia wspomagające nauczanie (slajdy, wideo, artykuły, ankiety, quizy) na temat neuronauki w edukacji dla nauczycieli [7].

Do tej pory, brakowało podobnych rzetelnych tekstów napisanych przystępnym (popularnonaukowym) językiem po polsku. W tym roku zostało bezpłatnie udostępnione online polskie tłumaczenie i aktualizacja ponad 100-stronicowego raportu n.t. neuroedukacji Paula Howarda-Jonesa (2014) [8]. Raport ten podsumowuje wyniki badań naukowych z 18 zagadnień oraz wskazuje stopień możliwości aplikacji w edukacji rozwiązań proponowanych przez neuronaukę.

2. Neuroedukacja - wskazówki praktyczne

Czego więc nauczyliśmy się badając mózgi? Poniżej przedstawiamy (za zgodą autorów tłumaczenia) kilka zagadnień najlepiej przetestowanych w kontekście edukacyjnym.

2.1. Matematyka

2.1.1. Lęk przed matematyką: Arytmofobia

Istnieją dowody na to, że używanie liczb wywołuje lęk nawet u bardzo młodych uczniów i utrzymuje się to na dalszych etapach edukacji. Lęk może niekorzystnie wpływać na pamięć roboczą, wysoki poziom lęku zwiększa aktywność ciała migdałowatego oraz zmniejsza aktywność w obszarach mózgu związanych z pamięcią roboczą i przetwarzaniem liczb.

Lęk może zostać przeniesiony z nauczyciela na ucznia. Trudności doświadczane przez dorosłych studentów można przewidzieć na podstawie stopnia zaangażowania obszarów mózgu odpowiedzialnych za kontrolę poznawczą, potrzebna jest kontrola negatywnych reakcji emocjonalnych na obiekty związane z matematyką. Stworzono proste, możliwe do zastosowania w klasie szkolnej i potencjalnie skuteczne interwencje.

Sporo wyników badań świadczy też o wpływie stresu na procesy uczenia się.

2.1.2. Trening opanowania lęku przed matematyką

Czy zrozumienie lęku przed matematyką może doprowadzić do poprawy osiągnięć w matematyce?

Interwencja skupiona na kontrolowaniu negatywnych reakcji emocjonalnych okazała się prowadzić do poprawy wyników w teście z matematyki. Jedno badanie pokazało, że negatywny wpływ lęku przed matematyką na poziom wykonania testu u nastolatków można ograniczyć prosząc ich o opisanie odczuwanych emocji. Pisanie na temat lęku może być jednym ze sposobów trenowania kontroli tych emocji. Bazując na badaniach uzyskanych w laboratorium, przeprowadzono interwencję w warunkach szkolnych u 106 uczniów w wieku 14-15 lat. Na początku uczniowie oceniali poziom swojego lęku przed matematyką, a następnie losowo przydzielono ich do dwóch grup. Przez 10 minut, bezpośrednio przed testem z matematyki, jedna grupa pisała o swoim lęku związanym z matematyką, a druga grupa na temat niezwiązany z matematyką i testem. Wśród uczniów o wyższym lęku przed matematyką, ci którzy mieli okazję opisać swoje lęki poradzili sobie w teście istotnie lepiej niż uczniowie z drugiej grupy a ich poziom wykonania testu był zbliżony do poziomu uzyskanego przez grupę o niskim lęku przed matematyką.

2.1.3. Matematyka: Niesymboliczna i symboliczna reprezentacja liczb.

Neuronauka pomogła odkryć znaczenie niesymbolicznej i symbolicznej reprezentacji ilości zarówno w najwcześniejszych jak i późniejszych etapach edukacji matematycznej. Dzieci muszą nauczyć się wiązać ze sobą te dwa rodzaje reprezentacji. W interwencjach mających na celu rozwijanie reprezentacji niesymbolicznych u dzieci uzyskano zróżnicowane wyniki.

Postały gry diagnostyczno-terapeutyczne, przydatne również dla osób cierpiących na dyskalkulię (np. MathCognition Lab na UMK).

Niektóre z nich wydają się pokazywać wpływ treningu na reprezentacje symboliczne i transfer na inne umiejętności związane z posługiwaniem się liczbami

Dowody na skuteczność w edukacji są na razie średnie, a możliwość zastosowania w najbliższym czasie też średnia.

2.1.4. Matematyka: gnozja palców

Gnozja palców to zdolność rozróżniania tylko na podstawie informacji dotykowej czy dotknięty został jeden czy dwa różne palce (to również test na synchronizację półkul). W eksperymencie z 8-latkami używanie palców zwiększało aktywację w obszarach ciemieniowych związanych ze zmysłem numerycznym (HIPS, poziomy odcinek bruzdy śródcieniowej). Palce reprezentują ucieleśnione obiekty zaangażowane w szacowanie wielkości liczbowych, dużo pomyłek o 5 wynika z wykorzystania palców do reprezentowania pośrednich wyników obliczeń (i pominięcia jakiejś piątki). Badanie dzieci w wieku 6-12 lat sugeruje, że liczenie na palcach ma istotne znaczenie dla przejścia od reprezentacji niesymbolicznych do symbolicznego, dokładnego przetwarzania liczb. Liczenie na palcach wydaje się być ważnym przykładem ucieleśnionego poznania, w którym procesy sensomotoryczne są podstawą rozwoju. Warto wykorzystywać tę naturalną funkcję palców. Liczydła też w tym pomagały.

2.1.5. Matematyka: treningi wyobraźni

Czy trening w zakresie rotacji mentalnych może doprowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie przedmiotów matematyczno-technicznych (STEM)?

Wyniki badania podłużnego przeprowadzonego wśród studentów sugerują, że trening spowodował poprawę u osób, które początkowo miały trudności w zakresie umiejętności przestrzennych. Studenci, którzy wzięli udział w tej interwencji osiągnęli wyższe oceny z kursów technicznych, matematycznych i w zakresie przedmiotów ścisłych, a postęp w nauce był u nich lepszy.

Pozytywny wpływ gier wideo na sprawność rotacji mentalnych i rola, którą te zdolności odgrywają dla osiągnięć w zakresie STEM, wydają się uzasadniać hipotezę, że granie w gry wideo (powszechnie dostępne i/lub specjalnie w tym celu stworzone) prowadzi do poprawy osiągnięć w zakresie STEM. Wyniki tego badania z udziałem studentów wskazują na poprawę osiągnięć w zakresie STEM na skutek treningu przestrzennego. Nie

mamy jednak bezpośrednich dowodów na to, że gry wideo mogą prowadzić do poprawy osiągnięć w zakresie STEM poprzez poprawę sprawności rotacji mentalnych, chociaż jest to często spotykany pogląd.

2.1.6. Logika i język

Chociaż nie ma tego w omawianym raporcie warto wspomnieć, że rozumienie argumentów językowych i formuł logicznych to funkcje angażujące różne obszary mózgu [9, 10].

Przykład argumentu logicznego używanego w badaniu:
jeśli zarówno X i Z to nie Y, lub jeśli Y to ani nie X ani nie Z.

Przykład argumentu lingwistycznego używanego w badaniu:
rzecz X, którą Y widział jak Z brał, lub Z był widziany przez Y biorąc X.

Nie ma tu prostego przeniesienia gdyż w obu przypadkach aktywacji ulegają nieco inne obszary mózgu. Nauka abstrakcyjnych formuł logicznych nie spowoduje więc, że w realnych sytuacjach ludzie będą rozumować w sposób bardziej logiczny. Zdolności matematyczne nie opierają się na tych samych strukturach mózgu co językowe.

2.2. Czytanie

Przeprowadzono wiele badań naukowych w celu zrozumienia procesów związanych z umiejętnością czytania, zarówno w laboratoriach, jak i w kontekście szkolnym. Stworzono również bazujące na wynikach tych badań programy komputerowe.

- Na umiejętność płynnego czytania składa się wiele umiejętności cząstkowych.
- Dzieci uczą się czytać, przyporządkowując symbole (grafemy, czyli litery, cyfry i inne znaki) do odpowiednich dźwięków. Muszą opanować nie tylko umiejętność przekładania pisanych słów i zdań na dźwięki, ale też poznać ich znaczenia, sens symboli.
- Czy trenowanie neuropoznawczych komponentów czytania może korzystnie wpłynąć na jego sprawność? Treningi z wykorzystaniem komputera rozwijające umiejętności fonologiczne przynoszą poprawę u osób doświadczających trudności w nauce czytania.
- Wykazano skuteczność kilku wielokomponentowych interwencji, co może świadczyć o złożonym charakterze samego procesu czytania i konieczności indywidualizowania takich programów.

2.3. Ćwiczenia fizyczne

Przeprowadzono szereg badań nad wpływem ćwiczeń fizycznych na osiągnięcia szkolne. Ich wyniki są jednak zróżnicowane. Nadal nie zidentyfikowano specyficznych czynników związanych z ćwiczeniami fizycznymi wpływających na poziom osiągnięć akademickich. Przyszłe badania powinny się skoncentrować na wyizolowaniu tych czynników.

- Ćwiczenia aerobowe zwiększają efektywność działania sieci neuronalnych, czołowych i ciemieniowych obszarów kory istotnych dla procesów uczenia się, sprawności czołowo-ciemieniowych sieci kontrolujących uwagę.
- Ćwiczenia fizyczne zwiększają przepływ krwi do mózgu i wzmacniają połączenia neuronalne w hipokampie, kluczowym obszarze odpowiedzialnym za tworzenie śladów pamięciowych i ich konsolidację. Objętość hipokampa jest związana ze stopniem aktywności fizycznej, poprawą pamięci przestrzennej i zwiększeniem poziomu BDNF we krwi.
- Dla osób dorosłych pokazano, że ćwiczenia fizyczne prowadzą do wzrostu objętości różnych obszarów istoty białej i istoty szarej mózgu.

2.4. Sprawdzanie wiedzy

Wiele badań pokazało, że sprawdzenie wiedzy z danego materiału pozytywnie wpływa na pamiętanie jego treści na końcowym teście, lepiej niż kolejne czytanie tego samego materiału. Sprawdzanie wiedzy spowalnia stopień zapominania materiału nawet po upływie długiego czasu. Efekt ten jest silny dla szerokiego zakresu materiału i w różnych kontekstach, zaliczając do niego rozumienie przez osoby dorosłe wyjaśnień naukowych przedstawianych za pomocą technologii multimedialnych, testów wielokrotnego wyboru, quizów naukowych dla 13-14-latków.

- Sprawdzanie wiedzy może poprawiać pamięć dotyczącą przyswojonego materiału, a także rozwijać inne rodzaje uczenia się.
- Kilka procesów neuronalnych może przyczynić się do efektów wynikających ze sprawdzania wiedzy; nie jest znany główny proces za nie odpowiedzialny.

Korzystanie z “metody przyciskowej” (ang. clicker technique) może skrócić czas nauki oraz poprawić wyniki. Pokazano wyraźną zależność pomiędzy korzystaniem z klikera a “efektem sprawdzania wiedzy”.

2.5. Inne zagadnienia

Ponadto, raport Howarda-Jonesa [8] omawia też tematy dotyczące innych aspektów neuroedukacji, co do których nie mamy jeszcze wielu wiarygodnych badań. Zalicza się do nich genetyka, uczenie się z przerwami, rola ciała i ruchu w procesach poznawczych, trening funkcji wykonawczych, grywalizacja, kreatywność, a także nowe technologie oparte na metodach neuro- i bio-feedback oraz neuromodulacja za pomocą impulsów prądu zmiennego i pola magnetycznego.

3. Podsumowanie

Neuroedukacja to interdyscyplinarna dziedzina nauki łącząca wyniki neuronauk, psychologii i pedagogiki w celu opracowania bardziej efektywnych metod nauczania [8]. Wyniki badań w tej dziedzinie należy jednak interpretować ostrożnie.

3.1. Najważniejsze aspekty

Badania neuroedukacyjne podkreślają znaczenie następujących aspektów wpływających na procesy uczenia się:

- Energia: do sprawnego uczenia się potrzebna jest glukoza, dotlenienie mózgu, nawodnienie organizmu.
- Stan organizmu: do konsolidacji wiedzy potrzebny jest sen, pomaga relaks i nauka oczyszczania umysłu, trening uwagi.
- Konsolidacja pamięci jest lepsza jeśli stosuje się przerwy, ćwiczenia fizyczne połączone z mentalnymi.
- Neurony skupione dłużej na tym samym powinny odpocząć, więc warto przeplatać różne typy aktywności, mieszać znane z nowym, co pozwala pobudzić inne obszary mózgu.
- Większe zaangażowanie w trakcie nauki to większa aktywacja obszarów mózgu i lepiej zapamiętana informacja: liczy się forma przekazu, ciekawość, skupienie, zainteresowanie.
- Ważna jest odpowiednia motywacja, stąd rola wyzwań, emocji, grywalizacji i mechanizmów uwagi w neuroplastyczności: prezentacje przed grupą wzmagają motywację.

- Wzrok angażuje prawie połowę mózgu: pomaga kolor, ruch, tekst, infografiki. Język, ruch angażuje drugą połowę mózgu. Pomaga muzyka i taniec! Głębokie kodowanie informacji pogłębia jej zrozumienie, tworzenie różnorodnych skojarzeń.
- Hierarchiczna struktura informacji ułatwia uczenie się, od ogólnego szkicu do szczegółów i podsumowania.

3.2. Najważniejsze wnioski z neuronauk dla nauczania

Louis Cozolino w książce o społecznych neuronaukach w edukacji podkreśla, że „bliskie, wspierające relacje stymulują pozytywne emocje, neuroplastyczność i uczenie się” [11]. Jego 9 najważniejszych wniosków płynących z neuronauk częściowo pokrywających się z podanymi powyżej.

1. Mózg jest organem społecznym.
2. Nauka we wczesnym okresie życia jest bardzo ważna.
3. Mamy dwa mózgi (lewy-prawy, seryjny-równoległy).
4. Świadome i nieświadome przetwarzanie informacji zachodzi z różnymi prędkościami, często jednocześnie [12].
5. Umysł, mózg i ciało są ze sobą nierozzerwalnie połączone.
6. Mózg potrafi się koncentrować tylko na krótko, potrzebuje powtórzeń i stymulacji wielu zmysłów, aby nastąpiło głębsze uczenie się.
7. Strach i stres utrudniają naukę.
8. Analizujemy innych, ale nie siebie: to prymat zewnętrznych projekcji.
9. Uczeniu się pomaga podkreślanie szerszego obrazu, a następnie umożliwienie uczniom samodzielnego odkrywania szczegółów.

3.3. Perspektywy wykorzystania neuroedukacji w niedalekiej przyszłości

Neuronauki dają na razie edukacji ogólne wskazówki, ale wiele jeszcze nie wiemy. W szczególności rozwój technologii stwarza zupełnie nowe możliwości, na razie jeszcze odległe od powszechnego zastosowania w edukacji.

Neuroplastyczność jest podstawą uczenia się. Do pewnego stopnia można na nią wpływać, przygotowując mózgi do uczenia się i kreatywnego myślenia. Atrakcyjna prezentacja wiedzy, wzbudzenie zainteresowania i

oczekiwań, pobudzenie emocjonalne wynikające z prezentacji przed grupą lub grywalizacji zwiększa neuroplastyczność w naturalny sposób. Kreatywność i inteligencja mają różne formy, trzeba szukać właściwej dla danej osoby.

- Indywidualne różnice konektomów prowadzą do odmiennej neurodynamiki odpowiedzialnej za wyobraźnię i specyficzne uzdolnienia.
- Związek różnic w budowie konektomów z teoriami inteligencji wielorakiej nie jest jeszcze zbadany, ale istnieją projekty na wielką skalę, dzięki którym w niedługim czasie będziemy mieli wiarygodne informacje na ten temat. Integracja procesów w obszarze czołowym i ciemniowym wydaje się najważniejsza dla rozwoju inteligencji logiczno-matematycznej.
- Wczesna diagnostyka problemów rozwojowych (np. dysleksji, dyskalculii, uczelnia się i pamięci) jest możliwa w oparciu o markery EEG/ERP i neuroobrazowania, ale na razie stosowana tylko w celach badawczych.
- Badania nad tymczasowym zwiększaniem neuroplastyczności, pozwalającej szybko zapamiętać nowe umiejętności i wiedzę dzięki bezpośredniej stymulacji neuronów przez wykorzystaniu słabych prądów i impulsów magnetycznych są obiecujące. Na razie są to jednak odległe perspektywy zastosowań w edukacji.
- Neurofeedback, medytacja, czy techniki oddechowe i relaksacyjne pozwalają przygotować mózgi do uczenia się, zmniejszając liczbę procesów zachodzących na nieświadomym poziomie.
- Farmakologia może również pomóc w regulacji neuroplastyczności, ale zalecana jest tylko w przypadku zaburzeń. Psychostymulanty działają niezbyt precyzyjnie, wywołując często niepożądane skutki.
- Należy zaczynać jak najwcześniej stymulować u dzieci ciekawość, chęć eksploracji świata, stawiać wyzwania wymagające angażowania pamięci roboczej.

Pedagogika i socjotechnika będą coraz bardziej związane z neurobiologią.

Literatura

- [1] Human Genome Project:
<https://www.genome.gov/human-genome-project> .
- [2] Doidge, N. *The Brain That Changes Itself: Stories of Personal Triumph from the Frontiers of Brain Science*. Penguin, 2007.
- [3] The Developing Connectome,
<http://www.developingconnectome.org/>
- [4] Szczygieł, M. i Cipora, K. *Falszywe przekonania na temat działania mózgu i zjawisk psychicznych, czyli neuromity i psychomity w edukacji*. Edukacja. 2(127), 53–66, 2014
- [5] Miedzobrodzka, E. i Cipora, K. *Neuromity w wersji polskiej*, 2016.
<https://www.granicenauki.pl/neuromity-w-wersji-polskiej-68316>,
ostatni dostęp 08.09.2020 r.
- [6] *Future Learn: Orientation to Educational Neuroscience* (Australia)
<https://www.futurelearn.com/courses/educational-neuroscience/>
ostatni dostęp 08.09.2020 r.
- [7] IlluminatED, <http://www.illuminatedproject.eu/>, ostatni dostęp 08.09.2020r.
- [8] Howard-Jones, P. *Neuronauka i Edukacja: Przegląd Interwencji i Podejść Edukacyjnych Korzystających z Osiągnięć Neuronauki. Pełen Raport i Podsumowanie*. Tłumaczenie: K. Cipora, A. Bereś, E. Miedzobrodzka, J. Płachetka, 2020, <https://osf.io/9yf8k/>, ostatni dostęp 08.09.2020 r.
- [9] Monti, M. M., Parsons, L. M., & Osherson, D. N. The boundaries of language and thought in deductive inference. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(30), 12554–12559, 2009.
- [10] Coetzee, J., Monti, M., Iacoboni, M., Wu, A., & Johnson, M. *Separability of logic and language: A TMS study*. *Brain Stimulation* 12, 543, 2019.
- [11] Cozolino, L. *The Social Neuroscience of Education: Optimizing Attachment and Learning in the Classroom*. W. W. Norton & Co, 2013.
- [12] Kahneman, D. *Pułapki myślenia. O myśleniu szybkim i wolnym*. Media Rodzina, 2013.