

## Biologiczna wieża Babel – o granicach pojęć i problemach neurobiologii roślin

Zofia Szlachtowska

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Biologii  
zofiaszlachtowska@gmail.com

Tutor: prof. UAM dr hab. Ewa Sobieszczuk - Nowicka

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Biologii,  
Zakład Fizjologii Roślin

**Słowa kluczowe** – *neurobiologia roślin, inteligencja roślin, inteligencja*

Karol Darwin w swoim dziele „*Power of movements in plants*” sformułował hipotezę Root Brain, dotyczącą analogii pomiędzy wierzchołkiem korzenia a mózgiem niższych zwierząt (Darwin, 1880). Po 140 latach okazuje się, że jego przypuszczenia nie muszą odbiegać od prawdy. Współczesne badania dowodzą, że wierzchołek korzenia interpretuje wpływ ponad 20 chemicznych i fizycznych parametrów, dodatkowo emituje i podbiera liczne substancje, które umożliwiają komunikację pomiędzy roślinami (Trawavas, 2009). Zadaniem neurobiologii roślin jest przedstawienie tej grupy organizmów jako zdolnych do podejmowania ukierunkowanych i celowych działań. Konstruowanie takich założeń opiera się często na wskazywaniu analogii pomiędzy układem nerwowym a mechanizmami zachodzącymi u roślin. Jest to powodem licznych kontrowersji – jedną z nich jest uznanie roślin za organizmy inteligentne.

Słowo jest środkiem do celu w komunikacji społecznej. Umożliwia ludziom usystematyzowanie tego, co postrzegają. Człowiek posługując się nim, wyznacza granice bytów i pozwala sobie na kategoryzację i podporządkowanie tego, co istnieje – słowu. Umożliwia mu to tworzenie świata wspólnym z innymi, którzy porozumiewają się tym samym językiem. Dzięki wspólnej płaszczyźnie zrozumienia powstaje fundament dla rozwoju. Słowo, będąc w użyciu ulega modyfikacji i buduje wokół siebie sieć skojarzeń. Dlatego, dla dobra komunikacji, musimy zadawać sobie pytanie, czy zastosowanie danego terminu jest funkcjonalne. Czy użycie słowa „inteligencja” w kontekście odkryć z zakresu neurobiologii roślin ma swoje podstawy, czy stanowi nadużycie?

Ciekawa jest natura naszego spojrzenia na rośliny. Arystoteles w „*De Anima*” (Arystoteles, 1992) określa je jako stworzenia znajdujące się u pogranicza świata żywego, posiadające jedynie podstawową duszę wegetatywną, które nie poruszają się i nie korzystają ze zmysłów. Podobna koncepcja powtórzyła się w XX w. u niemieckiego filozofa Maxa

Schellera (Scheler, 1987), który na tej podstawie również zhierarchizował organizmy żywe. Względna statyka roślin powoduje, że powszechnie bywają często odbierane jedynie jako element krajobrazu. Patricia Churchland zajmująca się neuroetyką posłużyła się sformulowaniem – „If you root yourself in the ground, you can afford to be stupid.” („jeśli jesteś ukorzeniony w ziemi, możesz sobie pozwolić na bycie głupim.” Churchland, 1986). W późniejszych pracach również odniosła się do roślin, gdzie przedstawiła je jako bierne, w kontrze do zwierząt, które poruszając się zdobywają pokarm czy bronią terenu (Churchland, 2002). Takie podejście do neurobiologii roślin kwestionuje udział ewolucji w kształtowaniu się bioróżnorodności. „Different needs, different solutions” (ang. „Inne potrzeby, różne rozwiązania” Calvo, 2016) – konkretne rozwiązania ze świata zwierząt nie będą powtarzać się u roślin. Powracając do wypowiedzi Churchland, warto zauważyć, że rośliny przytwierdzone do podłoża nie mogą pozwolić sobie na ucieczkę z miejsca, w którym następuje zagrożenie lub zmiana warunków. Z tego względu, wykształcenie złożonych celowych działań wydaje się tym bardziej uzasadnione. „Zaprogramowane”, podstawowe schematy zachowań nie sprawdzają się w złożonym środowisku (Calvo, 2016), również w takim, którego nie można opuścić, przemieszczając się w inne miejsce. Strategia przetrwania roślin jest zatem inna od tej, która występuje u zwierząt – odpowiedzi na bodźce następują powoli i z dużą precyzją, a sterowanie całym organizmem jest zdecentralizowane (odwrotnie niż w przypadku wyższych zwierząt, u których tę funkcję sprawuje głównie jeden organ – mózg). Złożony behavior może występować jedynie dzięki integracji wielu bodźców i celowej, skierowanej odpowiedzi na nie. Takie rozwiązania realizowane są u zwierząt dzięki sprawnej sygnalizacji elektrycznej w obrębie układu nerwowego. Podobne mechanizmy występują również u roślin.

Strukturą, która odgrywa istotną rolę w przewodzeniu sygnału nerwowego na poziomie komórki, jest błona komórkowa. Nie jest ona charakterystyczna jedynie dla zwierząt – obecna jest w każdej poznanej żywej komórce. Jej specyficzne właściwości pozwalają na kontrolowany transport jonów (do wnętrza i na zewnątrz komórki), czego efektem jest utrzymujący się potencjał spoczynkowy. Dzieje się tak, dzięki wbudowanym w błonę kanałom jonowym, które umożliwiają transport ładunków w określonym kierunku (Wojtaszek i in., 2007). Współczesne badania wskazują na wiele podobieństw pomiędzy zwierzęcymi i roślinnymi kanałami jonowymi, występującymi w błonie komórkowej (Brenner i in., 2006). Te zbieżności są podstawą postulowania, że komórki roślinne są w stanie, na podobnej zasadzie co komórki zwierzęce (szczególnie neurony), przewodzić sygnały elektryczne. To zaś pozwala na szukanie znacznie liczniejszych analogii. W tej sytuacji rozpoczęto poszukiwania komórek roślinnych, które jak najbardziej odpowiadałyby neuronom. W jednym ze swoich doświadczeń Bose — indyjski uczony, zauważył, że wyizolowane wiązki naczyniowe zachowują się podobnie pod względem elektrycznym do wyizolowanych nerwów żaby (Stahlberg, 2006). Kilka lat później, dokonano pierwszego pomiaru potencjału błonowego oraz pomiaru potencjału czynnościowego komórki roślinnej (Stahlberg, 2006). Potencjał czynnościowy powstaje w wyniku działania zewnętrznego bodźca (sygnału), który zaburza potencjał błonowy (spoczynkowy) – w wyniku czego dochodzi do chwilowej zmiany wartości potencjału. Kanały, które utrzymywały określone stężenia jonów  $Ca^{2+}$  i  $Cl$  po obydwu stronach błony otwierają się, a ich przepływ powoduje powstanie niewielkiego nadmiaru ładunku elektrycznego. Innymi słowy, zmieniły się stężenia jonów po obu stronach błony, a wraz z nimi wartość potencjału. To powoduje, że w sąsiednich obszarach błony również dochodzi do przekroczenia wartości progowej potencjału spoczynkowego i "przeniesienia" potencjału czynnościowego (ang. *action potential* – AP)(Wojtaszek i in., 2007). Pozwala to na postępowanie impulsu elektrycznego, a opisany mechanizm jest prawie identyczny w komórkach roślinnych i zwierzęcych. Sygnały przesyłane tym sposobem kodują informacje związane z fotosyntezą, załadunkiem lyka, kwitnieniem kwiatów oraz atakami herbicydów (Stahlberg, 2006, s. 7, Starck, 2011). Co ciekawe, u roślin występuje niespotykany u innych organizmów potencjał wariacyjny (ang. *slow wave potential* – VP). Jest to długodystansowy system sygnalizacji o charakterze długotrwałych depolaryzacji — zmiany w potencjale błonowym trwają dłużej niż te obserwowane podczas AP (Brenner, i in., 2006). Indukowany jest poprzez gwałtowny wzrost turgoru — zmiany stężenia hydrostatycznego wywołują strumienie jonowe (Wojtaszek i in., 2007). Dzisiaj wiemy, że w ten sposób przesyłane są sygnały głównie w obrębie ksylemu, dotyczące przegrzań i zranień (Stahlberg, 2006). Obecność potencjału wariacyjnego świadczy o tym, że przekazywanie impulsów elektrycznych jest ewolucyjnym osiągnięciem roślin, niejedynie zdolnością, która „przydarzyła się” wraz z obecnością pewnych elementów budowy komórkowej. Oznacza to również, że dochodzenie do funkcjonalnych rozwiązań jest możliwe na inne sposoby niż te, które

znamy ze świata zwierząt.

W komórkach zwierzęcych przenoszenie sygnału elektrycznego pomiędzy dwoma komórkami odbywa się poprzez synapsy. Gdy impuls nerwowy osiąga zakończenie neurytu, synapsa chemiczna uwalnia substancję – neurotransmitter, który oddziałuje na receptory w błonie postsynaptycznej, wywołując impuls elektryczny w kolejnej komórce (Lewiński i in., 2002). Wiele związków pełniących funkcję neurotransmiterów u zwierząt odnaleziono również u roślin (Baluška i Mancuso, 2009). Przykładem jest m.in. GABA (kwas  $\gamma$ -aminomasłowy), który wywołuje gwałtowne depolaryzacje błony komórkowej korzeni. Co więcej, roślinne receptory, odbierające glutaminę, która również jest neuroprzekaznikiem, są szczególnie podobne i filogenetycznie powiązane z tymi, które odbierają ten sam związek u zwierząt (Brenner i in., 2006).

Od dłuższego czasu postuluje się, że auksyna – jeden z najważniejszych hormonów roślinnych – mogłaby również pełnić znaczącą funkcję w przesyłaniu sygnałów elektrycznych (Brenner i in., 2006). W 2003 roku ukazał się artykuł „Plant neurobiology: no brain, no gain?”, w którym skrytykowano hipotezę ówczesnej neurobiologii roślin. Odniesiono się w nim również do roli auksyn, gdzie podkreślono długodystansowy charakter transportu tego związku. Taki postulat uniemożliwiał potraktowanie jej jako neurotransmitera, który w swoim założeniu przesyłany jest na bardzo małe odległości (Alpi i in., 2007). Jednak w kolejnych latach pojawiało się coraz więcej przesłanek za tym, że ten związek spełnia istotną funkcję w roślinnym transporcie sygnału elektrycznego. Wszystko to, ze względu na obecność w błonie komórkowej korzeni specjalnych białek, które umożliwiają egzo- i endocytozę pęcherzyków zawierających auksynę. Ten sposób transportu substancji spowodował, że w literaturze naukowej zaczyna pojawiać się pojęcie synapsy auksynowej, odwołujące się do analogii transportu obecnego w układzie nerwowym z tym występującym u roślin (Baluška i Mancuso, 2013).

Dzisiejszy stan wiedzy na temat neurobiologii roślin, który obejmuje m.in. poznane mechanizmy przesyłania impulsu elektrycznego u roślin oraz wielorakie biochemiczne podobieństwa, implikuje pytania o zdolność roślin do przeprowadzania złożonych reakcji. Coraz częściej mówi się również o inteligencji roślin, co wywołuje kontrowersje nie tylko wśród osób niezwiązanych z nauką, ale również wśród tych, którzy biologią zajmują się na co dzień.

Jest to spowodowane tym, że termin „inteligencja” nie posiada definicji biologicznej. Podjęcie jej tematu, przez psychologię, kognitywistykę czy filozofię przyniosło wielokierunkowy rozwój tego pojęcia bez jednoznacznego określenia ich wspólnego obszaru. Mając na uwadze mnogość definicji, można zadać pytanie, czy określenie roślin jako organizmów inteligentnych to biologiczne nadużycie, czy może u podstaw kontrowersji leży jedynie problem lingwistyczny? Przy sprawdzaniu funkcjonalności pojęć ważne jest uchwycenie ich relacji ze światem rzeczywistym. Zagadnienie to podejmowane jest obszernie w filozofii języka, której dokonania można odnieść również do problemów komunikacyjnych. To, co umożliwia społeczne porozumiewanie

się, Wittgenstein nazywa formą logiczną (Wittgenstein, 2019). Jest to osnowa logiczna świata, która ma spotykać się zarówno w słowie, jak i faktach oraz pozwala wychwycić „esencję” tego, o czym mówimy (Brożek, 2018). Zidentyfikowanie w ten sposób obiektów substancjalnych nie stanowi problemu – pojawia się on, gdy chcemy nazwać pojęcia nieszczególne, transcendentalne oraz niektóre zjawiska – jak np. inteligencję. Warto zauważyć, że obecność „inteligencji” w wielu dyscyplinach powoduje jej powiązania z zagadnieniami, pochodzącymi z zupełnie odległych sobie obszarów. Poszukując wówczas twierdzeń wspólnych, dochodzimy do zdań na tyle ogólnych, co w praktyce pustych. Rodzi to pytanie, czy sensowne jest włączanie do naukowych teorii pojęcia, za którym nie stoją treściwe zdania bazowe? Lub czy nie jest to odpowiednia okoliczność dla ich zweryfikowania i uaktualnienia?

Brak definicji to jednak problem formalny – ten istotniejszy to potoczne rozumienie terminu. „Inteligencja” jest silnie zrelatywizowana historycznie i kulturowo. Sieć skojarzeń, którą obudowała wokół siebie, ujawnia jej bliskie konotacje z naukami humanistycznymi, których przedmiotem jest człowiek. O konceptualizacji pojęć językowych w umyśle mówi teoria prototypów Eleonor Rosch (Gemel, 2018). Jest to jedna z teorii kategoryzacji, którą można odnieść do rozważanego problemu. Według niej pojęcie to sumaryczna reprezentacja, która może być rozumiana jako uśredniona reprezentacja przedstawiciela typowego lub idealnego. O przynależności do kategorii (pojęcia) decyduje stopień podobieństwa do przedstawiciela (Gemel, 2018). Idąc tym tropem, można pokusić się o znalezienie prototypu ‘organizmu inteligentnego’. Nie trzeba go daleko szukać — dla większości z nas jest nim człowiek. Poszukiwanie innych desygnatów ‘organizmu inteligentnego’ uzależnione jest zatem od ciągłych odwołań do nas samych i tego, co ludzkie. Dopiero znajomość fizjologii procesów i biologicznych analogii może sugerować zainteresowanym podobieństwa i argumentować istnienie terminu „inteligencja roślin”. Nie jest to jednak wiedza rozpowszechniona – nie każdy będzie miał możliwość dojść do podobnych wnioskowań. W tym przypadku naukowe przesłanki zostaną zastąpione intelektualnymi i kulturowymi przyzwyczajeniami. Godnym uwagi jest również wciąż całkiem powszechny pogląd o hierarchizacji organizmów żywych – zazwyczaj błędnie utożsamiany z teorią ewolucji. Arthur O. Levey w 1936 roku opisał wywodzącą się ze starożytnej filozofii koncepcję „łańcuchu bytów” (Lovejoy, 1936). Na jej szczycie znajdowali się bogowie, niewiele za nimi ludzie, a na jej drugim końcu, tuż przed materią nieożywioną – rośliny. I choć dziś nikt nie powołuje się na takie przedstawienie świata w publicznej debacie, w podświadomości wielu z nas świat jest także zorganizowany hierarchicznie. Żyjemy w czasach wciąż głęboko wyznawanego antropocentryzmu, w którym inteligencja zarezerwowana jest jednemu gatunkowi – *Homo sapiens*, a rozszerzenie tego terminu na inne istoty żywe – w tym rośliny, to, w myśl tej koncepcji upadek z drabiny jestestw ze szczytu na sam dół.

Wśród wielu badań prowadzonych w ostatnim czasie dowiedziono, że rośliny potrafią odpowiadać na około 20 biotycznych i abiotycznych bodźców i zastosować odpowiednią

odpowiedź behawioralną (Trawavas, 2009). Są zdolne do odróżnienia wibracji zwierząt im zagrażających od innych zjawisk, takich jak wiatr czy odgłosy owadów (Calvo, 2016). Potrafią rozpoznawać swoje własne korzenie (Biedrzycki, 2010) i regulować mikrobiom w tej sferze (Brenner i in., 2006). Znane są również przejawy zachowań społecznych m.in. takich, w których kontaktują się z innymi roślinami poprzez dostarczanie informacji na temat infekcji czy ataków owadów (Brenner, i in., 2006). Przykładem tego typu behawioru jest przesyłanie sygnałów defensywnych młodym roślinom, aby uodporniły się na przyszły stres. Warto również wspomnieć o skomplikowanych zachowaniach, które zależnie od potrzeb, służą zwabianiu i odstraszaniu owadów (Simard, 2016).

W wielu definicjach „inteligencji” podkreślane jest znaczenie doświadczenia oraz płynącej z niego nauki. Objawia się to istnieniem pamięci i wykorzystaniem przechowywanych przez nią informacji podczas ontogenezy organizmu. Dziś wiemy, że rośliny uczą się z sytuacji stresowych poprzez modyfikację swojego metabolizmu, struktur komórkowych, anatomii i fizjologii (Thellier i Lüttge, 2013). W 2014 roku opublikowano badania dotyczące reakcji *Mimosa pudica* na powtarzany bodziec stresowy. Reakcją obronną było składanie się liści rośliny. Powtarzanie sytuacji stresowej spowodowało przyzwyczajanie organizmów – czego efektem były różnice w stopniu zwinięcia liści i szybkości ich rozwijania, w porównaniu z reakcjami obserwowanymi przed doświadczeniem. Co więcej, wyuczone zachowania utrzymywały się nawet po miesięcznym okresie izolacji *Mimosy* od działania bodźca (Gagliano i in., 2014).

Neurobiologia roślin jako nauka ma przed sobą wiele wyzwań. Pragnęłam zwrócić uwagę zarówno na to, jak zazwyczaj postrzegamy rośliny, ale również na informacje, jakie dostarczają nam współczesne badania. Poznając biologię i mechanizmy jej działania można zaobserwować, że za najbardziej spektakularne zjawiska odpowiadają często proste rozwiązania. Natomiast schematy, które potwierdzają swoją funkcjonalność, utrwalane są przez ewolucję. W naturze człowieka leży chęć poznania i opisanie otaczającego go świata. Poprzez poszukiwanie podobieństw i analogii tłumaczy sobie zależności, które obserwuje. W ten sposób wyznacza granice bytów – nazywa je, tworzy wizję świata i dzieli się nią z innymi. Jednak kontrowersje, które wywołują zagadnienia neurobiologii roślin, ukazują, że język może również utrudniać komunikację. W maju 2020 roku ukazał się artykuł podważający rezultaty badań głównych propagatorów dziedziny (Robinson i in., 2020), w którym po raz kolejny błędnie interpretowane są stawiane przez nich postulaty. Ignorancją jest lekceważenie współczesnych odkryć dotyczących fizjologii sygnalizacji elektrycznej u roślin i złożonego behawioru, tylko ze względu na intelektualne nawyki i uwarunkowania kulturowe. Równie przykrym wydarzeniem dla nauki może być sytuacja, kiedy kontrowersje językowe, mogłyby odsunąć naukowców od poszukania odpowiedzi na coraz odważniejsze pytania. Historia pełna jest przykładów, w których naukowe odkrycia, zmieniające spojrzenie na świat biologii nie zyskiwały poparcia, tylko i wyłącznie ze względu na presję przyzwyczajania. Odkrycia

Mendla czy rozwój myśli ewolucyjnej zostały zatrzymane na wiele lat, dla spójności i formalnej prostoty teorii — tym samym zacierając horyzont postępu. Problemy, z którymi spotyka się neurobiologia roślin, uwidaczniają bariery, które sami na siebie nałożyliśmy. Okropną stratą dla naszego poznania świata byłoby ograniczenie się do tej jednej narracji przyrody dyktowanej nam przez język i utarte schematy myślowe, pomijając różnorodność i bogactwo natury, które nie mieszczą się w granicach dzisiejszych pojęć. Z tego względu, warto zastanowić się, czym jest antropomorfizacja, a co stanowi koniec monopolu człowieka w terminologii dziedzin biologicznych. Często za niekonwencjonalnymi rozwiązaniami idą zupełnie nowe i nieschematyczne pomysły, konieczne dla rozwoju nauki. Dlatego tak ważna jest ciągła weryfikacja pojęć i świadome ich stosowanie. Szczególnie w dziedzinach przyrodniczych, które często zapominają, że nie są niezależne od humanistyki.

Jako podsumowanie chciałabym posłużyć się cytatem, który został zawarty w „Logik der Forschung” Poppera:

„Gdyby okazało się pewnego dnia, że dokonujący obserwacji naukowcy nie mogą osiągnąć zgody co do zdań bazowych, spowodowałoby to kłeskę języka jako środka powszechnej komunikacji. Powstałaby wtedy nowa wieża Babel: odkrycia naukowe przeistoczyłyby się w absurd.” (Popper, 1977, s. 89).

## Literatura

- Alpi, A., i in., 2007. *Plant neurobiology: no brain no gain*, *Trends Plant Sci.*, 12, s.135-136.
- Arystoteles. 1992 *O Duszy*, w: Paweł Siwek (przel.) Arystoteles Dzieła Wszystkie. T. 3, 33-146. Warszawa, PWN
- Baluška, F., Mancuso, S., 2009. *Deep evolutionary origins of neurobiology: Turning the essence of 'neural' upside-down*, *Communicative & Integrative Biology*, 2(1), s. 60–65.
- Baluška, F., Mancuso, S., 2013. *Microorganism and filamentous fungi drive evolution of plant synapses*, *Front Cell Infect Microbiol.*, 3, 44.
- Biedrzycki, M.L., i in., 2010. *Root exudates mediate kin recognition in plants*, *Communicative and Integrative Biology*, 3, s. 1–8.
- Brenner, E.D. i in., 2006. *Plant neurobiology: an integrated view of plant signaling*, *Trend Plant Sci.*, 11, s. 413-419.
- Brożek B., 2018. *Granice interpretacji*, Kraków, Copernicus Center Press, s. 81, 85-86.
- Calvo, P., 2016. *The philosophy of plant neurobiology: A manifesto*, *Synthese*, 193, s. 1323–1343.
- Churchland, P. S., 1986. *Neurophilosophy: Toward a unified science of the mindbrain*, Cambridge, MIT Press, s. 13.
- Churchland, P. S., 2002. *Brain-wise: Studies in neurophilosophy*, Cambridge, MIT Press, s. 70.
- Darwin, C., 1880. *The Power of Movement in Plants*, London, John Murray, s. 230.
- Gagliano, M., i in., 2014. *Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters*, *Oecologia*, 175, s. 63–72.
- Gemel, A., 2018. *Kognitywna teoria prototypu - próba filozoficznej analizy*. Humanistyka I Przyrodoznawstwo, (19), s. 75-88
- Heller. M., Życiński J., 2018. *Dylematy ewolucji*, Kraków, Copernicus Center Press, s.31-42.

- Lewiński, W., i in., 2002. *Biologia 1. Zakres podstawowy*. Rumia, Operon, s. 45.
- Lovejoy, A. C., 1936. *The Great Chain of Being. A Study of the History of an Idea*, Cambridge, Harvard University Press.
- Mancuso, S., 2010, *The roots of plant intelligence*, [https://www.ted.com/talks/stefano\\_mancuso\\_the\\_roots\\_of\\_plant\\_intelligence/transcript?language=pl#t-20354](https://www.ted.com/talks/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intelligence/transcript?language=pl#t-20354) [dostęp 03.07.2018]
- Popper, K., 1977. *Logika odkrycia naukowego*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 89.
- Robinson, D. G., Draguhn, A., Taiz, L., 2020. *Plant „intelligence” changes nothing*. EMBO Reports 21: e5039
- Scheler, M., 1987. *Stanowisko człowieka w Kosmosie*, w: A. Węgrzecki, S. Czerniak (tłum.), Pisma z antropologii filozoficznej i teorii wiedzy, Warszawa, s. 32.
- Simard S., 2016, *How trees talk to each other*, [http://www.ted.com/talks/suzanne\\_simard\\_how\\_trees\\_talk\\_to\\_each\\_other](http://www.ted.com/talks/suzanne_simard_how_trees_talk_to_each_other)[dostęp: 14.04.2019]
- Stahlberg, R., 2006. *Historical overview on plant neurobiology*, *Plant Signal Behav.*, 1, s. 6–8.
- Starck, Z., 2011. *Roślina in vivo – sztuka funkcjonalności wzorowanej na procesach zachodzących u zwierząt*, *Wiadomości Botaniczne*, 55(1/2), s. 9–25.
- Thellier, M., Lüttge, U., 2013. *Plant memory: a tentative model*. *Plant Biol.*, 15, s. 1–12.
- Trawavas, A. J., 2009. *What is plant behaviour?* *Plant Cell Environ*, 32, s. 606-616
- Wittgenstein, L., 2019. *Tractatus logico – philosophicus*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2.18.
- Wojtaszek, P., Woźny, A., Ratajczak, L., 2007. *Biologia komórki roślinnej tom 2 - Funkcja*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 493-499.

## Notka o Autorce

*Studentka biologii I stopnia i filozofii I stopnia na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Interesuje ją relacja człowieka z przyrodą oraz zagadnienia fizjologii roślin. Uważna obserwatorka świata, w ciągłym zachwycie nad nieskończoną różnorodnością biologicznego świata. Wolne chwile lubi spędzać na ciekawych rozmowach i odpoczynku na hamaku w ogrodzie.*