

Metoda naukowa i niepewność. Dlaczego zrozumienie metody i niepewności naukowej jest ważne – historia pewnej idei

E. BARBARA OSTROWSKA^{*1}, MARCIN M. CHRZANOWSKI^{**2}, AGNIESZKA SUSZCZYŃSKA^{***2}

¹INSTYTUT BADAŃ EDUKACYJNYCH

² WYDZIAŁ BIOLOGII, UNIWERSYTET WARSZAWSKI

Do wyjaśnienia funkcjonowania świata badacze wykorzystują głównie metodę naukową. Jej historyczny rozwój, szczególnie w obszarze nauk przyrodniczych, wiązał się z podważaniem dotychczasowych teorii stanowiących ustaloną, ugruntowaną naukę. W publikacji omówiono rozwój i weryfikację naukową teorii samoródtwa jako przykładu zmian w rozumieniu naturalnych procesów oraz odniesiono się również do roli niepewności w nauce. Historia samoródtwa – od jej początków w starożytności, przez eksperymenty Jana Baptisty van Helmonta, Francesco Rediego i Ludwika Pasteura – pokazuje, jak naukowcy, zdobywając coraz to nowe informacje i formułując wnioski z prac eksperymentalnych, korygowali swoje przekonania w świetle nowych dowodów. Autorzy, wykorzystując przykłady z historii odkryć naukowych, podkreślają rolę rozumienia metody naukowej, umiejętnej oceny wniosków z badań, otwartości na nowe idee oraz krytycznego myślenia i nauczania o niepewności naukowej w procesie nauczania/uczenia się.

SŁOWA KLUCZOWE: niepewność naukowa, metoda naukowa, historia nauki, samoródtwo, krytyczne myślenie, PISA

* E-mail: b.ostrowska@ibe.edu.pl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5975-3339>

** E-mail: mm.chrzanowski@uw.edu.pl

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1109-4236>

*** E-mail: a.suszczyńska2@uw.edu.pl

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-9446-3050>

Scientific method and uncertainty. Why understanding the scientific method and uncertainty is important – the story of an idea

To explain how the world works, researchers mainly use the scientific method. Its historical development, especially in the field of natural sciences, has been associated with the questioning of existing theories that constituted established, well-founded science. The paper discusses the development and scientific verification of the theory of spontaneous generation as an example of changes to the understanding of natural processes, and also refers to the role of uncertainty in science. The history of abiogenesis – from its origins in antiquity, through the experiments of Jan Baptista van Helmont, Francesco Redi and Louis Pasteur – illustrates how scientists, as they acquired more and more new information and formulated conclusions from experimental work, adjusted their beliefs in light of new evidence. Using examples from the history of scientific discovery, the authors emphasize the role of understanding the scientific method, skillful evaluation of research conclusions, openness to new ideas, the role of critical thinking, and teaching about scientific uncertainty in the teaching-learning process.

KEYWORDS: scientific uncertainty, scientific method, history of science, abiogenesis, critical thinking, PISA

1. Wprowadzenie

Nauka to ta część kultury, która zajmuje się szeroko rozumianym wyjaśnianiem funkcjonowania świata. Budowanie i rozwój nauki, szczególnie w zakresie wiedzy przyrodniczej, odbywa się najczęściej za pomocą metody naukowej. Metodę naukową (*scientific method*) można zdefiniować jako „zespół procedur służących do zbierania i interpretowania obiektywnych informacji w sposób zapewniający minimalizację błędów oraz umożliwiające dokonywanie wiarygodnych generalizacji” (Zimbar-

do i Gerrig, 2009, s. 604). Metoda naukowa kieruje się ściśle określonymi procedurami pozwalającymi weryfikować (falsyfikować) hipotezy, odtworzać przeprowadzone eksperymenty, ważyć dowody czy analizować wnioski. Tworząc wiedzę, naukowcy starają się uzupełniać luki i przedstawiać nowe rozwiązania lub modyfikować już istniejące teorie. Nie należy jednak zapominać o niepewności naukowej, która jest nieodłączną częścią wiedzy i zazwyczaj będzie podążać za rozwojem i postępem. Niepewność zawsze towarzyszy badaniom naukowym i często rozumiana jest jako ograniczenie, którego nie jesteśmy w stanie określić czy zmierzyć. W różny sposób można weryfikować wiedzę i odnosić się do niepewności naukowej. Ciekawą inspiracją może być przyjrzenie się temu, w jaki sposób rozwijały czy zmieniały się niektóre elementy obecnej wiedzy oraz jak powstawały nowe teorie i idee.

Omawianie w szkole konkretnych przykładów z historii odkryć naukowych może być przyczynkiem do analizy błędów i sukcesów naukowców. Pozwala wzmocnić zrozumienie metody naukowej i znaczenie dowodów eksperymentalnych. Co równie ważne – na jej podstawie uczniowie mogą zrozumieć także rolę niepewności i rewizji wiedzy, otwierać się na nowe idee oraz uczyć się oceniania informacji w szerszym kontekście historycznym i społecznym. Historia teorii dotyczących powstania życia, w tym teorii samoródtwa, będzie dobrą ilustracją tego, jak uczyć otwartości na zmiany w nauce oraz zrozumienia procesu ewolucji wiedzy naukowej.

2. Teoria samoródtwa u zwierząt i roślin – od idei Arystotelesa do eksperymentów Jana Baptysty van Helmonta

Od zarania dziejów ludzie zastanawiali się nad tym, w jaki sposób powstało życie na Ziemi, a więc w jaki sposób związki chemiczne przekształcają się i łączą, aby ostatecznie uformować komórkę wykazującą cechy życia

(Weiner i Weiner 3, 2023). Bardzo długo panowało przekonanie, że żywe istoty mogą powstawać spontanicznie i samorzutnie z mieszaniny związków chemicznych. Koncepcja ta, zwana samorództwem lub abiogenezą, została sformułowana przez Arystotelesa w IV w. p.n.e. i przez kolejne stulecia (aż do XIX w.) stanowiła naukę ustaloną i ugruntowaną (*settled science*), czyli wyjaśnienie poparte wielokrotnymi testami i szeroko akceptowane przez środowisko naukowe (Berkbile, 2018). Teorię tę wykorzystywano do wyjaśniania m.in. podstaw rozrodu. Zgodnie z nią muchy powstają z gnijącego mięsa, pasożyty z wnętrzości organizmów, rośliny z gleby, ryby z mułu, a myszy ze słomy (Świeżyński, 2009). Koncepcja samorództwa przez kolejne wieki zmieniała się jednak równolegle z postępami nauk empirycznych, samej metody naukowej oraz filozoficznymi i teologicznymi koncepcjami wyjaśniającymi prawa przyrody. Analizując wielowiekową ewolucję idei samorództwa oraz eksperymenty potwierdzające lub ją falsyfikujące, można pokazać, w jaki sposób również obecnie prowadzi się badania naukowe oraz dlaczego w pracę naukowców zawsze wpisane jest ryzyko popełnienia błędu.

Dyskurs na temat Arystotelesowskiej teorii samorództwa był kontynuowany przez naukowców nowożytnych, którzy swoich opinii naukowych nie opierali wyłącznie na obserwacjach i przekonaniach, jak miało to miejsce w starożytności, ale szukali dowodów empirycznych, przede wszystkim w postaci wniosków z eksperymentów. Jedną z kluczowych prac tego okresu było *Ortus medicinae* (Świt medycyny) – publikacja zbierająca wszystkie doświadczenia przeprowadzone przez Jana Baptistę van Helmonta z chemii, medycyny i biologii (Helmont, 1652; Tatarkiewicz, 2007). Najistotniejsze w debacie naukowej na temat samorództwa były dwa doświadczenia. W pierwszym van Helmont sformułował przepis na wytworzenie myszy: „Włożyć kawałek przepoconej bielizny osobistej i nieco pszenicy do niezamkniętego słoika. Po 21 dniach odór się zmieni, a fer-

ment pochodzący z tkaniny i penetrujący ziarna pszenicy spowoduje ich przemianę w myszy. Co jeszcze bardziej zadziwiające, powstaną myszy obu płci, które będą zdolne do rozmnażania się z myszami narodzonymi w sposób naturalny z rodziców. Najbardziej zdumiewające jest to, że powstają w ten sposób nie małe myszki, lecz w pełni dorosłe” (Bulloch, 1960; s. 81; Helmont, 1652; Wiggins i Wynn, 2004). W kolejnym doświadczeniu van Helmont starał się zweryfikować hipotezę badawczą, zgodnie z którą za pomocą samoródtwa rozwijają się również rośliny: „O tym, że wszystko roślinne bezpośrednio i materialnie powstaje z samej wody, dowiedziałem się z tego eksperymentu. Wziąłem glinianą donicę, umieściłem w niej 200 funtów ziemi wysuszonej w piecu, nasyciłem to wodą i zasadziłem tam pęd wierzbowy ważący 5 funtów. Po upływie 5 lat drzewo, jakie z tego wyrosło, ważyło 169 funtów i 3 uncje. Lecz donica była stale podlewana tylko przez deszcz lub (gdy to było konieczne) wodę destylowaną; podlewanie było dostateczne i przesyciło wodą całą ziemię; aby zapobiec wmieszanemu do ziemi pyłu unoszącemu się wokoło, wierzch donicy pokryty był żelazną płytką powleczoną cyną i zaopatrzoną w wiele dziur. Nie ważyłem opadających liści w ciągu czterech jesieni. W końcu znowu wysuszyłem ziemię w donicy i stwierdziłem, że waży znowu te same 200 funtów bez około 2 uncji. A zatem 164 funtów drewna, kory i korzeni powstało tylko z wody” (van Helmont, 1652; Świeżyński, 2009).

Choć łatwo nam w rozmaity sposób wyjaśnić efekty doświadczenia z myszami, które doprowadziło van Helmonta do błędnych wniosków, dla współczesnych jemu ludzi był to spektakularny wynik potwierdzający powszechne i utrwalone w społeczności naukowej przekonanie. Drugie doświadczenie, w którym van Helmont stwierdził, że roślina rozwija się i rośnie, wykorzystując do tego wyłącznie wodę, zostało przygotowane i wykonane dużo staranniej. Obecnie powiedzielibyśmy, że postawiona hipoteza badawcza została potwierdzona, a więc zweryfikowana

pozytywnie doświadczeniem wykonanym zgodnie z metodą naukową, a wnioski są adekwatne, czyli bezpośrednio wynikają z analizy wyników. Mimo to współcześnie wiemy, że wniosek ten jest błędny, ponieważ wyniki zostały zinterpretowane bez znajomości procesu fotosyntezy, a także z niepełną wiedzą na temat stanów skupienia materii – pojęcie „gaz” (gr. *Cháos* – chaos) zostało wprowadzone przez samego van Helmonta i odnosiło się wyłącznie do substancji powstającej w wyniku spalania węgla (van Helmont, 1652). Zatem autor tego eksperymentu, żyjąc w XVII w., nie miał możliwości prawidłowego zinterpretowania otrzymanych wyników¹. Warto pamiętać, że sami naukowcy są świadomi możliwości popełnienia tego typu niezawinionych błędów, dlatego omawiając otrzymane wyniki i formułując wnioski, często używają wyrażenia „zgodnie z obecnym stanem wiedzy...”. Zastanawiając się nad interpretacją wyników uzyskanych przez ówczesnych badaczy, warto wziąć również pod uwagę zjawisko ślepoty wywołanej teorią – po tym, jak naukowiec zaakceptuje teorię i wykorzysta ją jako narzędzie w swoim myśleniu, może być mu niezwykle trudno zauważyć jej wady. Jeśli natknie się na obserwację, która wydaje się nie pasować do modelu, może założyć, że musi istnieć inne dobre wyjaśnienie, w jakiś sposób przeoczone. Może się wtedy zdarzyć, że ów naukowiec, ufając społeczności ekspertów, którzy daną teorię zaakceptowali, nie będzie jej podważał, uznając, że istnieje inne logiczne wyjaśnienie, jeszcze nikomu nieznane (Kahneman, 2013).

¹ W przeprowadzanych od 25 lat międzynarodowych badaniach edukacyjnych PISA również wykorzystywane są teksty opisujące historię odkryć naukowych (OECD, 2009). Przykładem może być zestaw zadań pt. *Pamiętnik Sammelweisa* nawiązujący do obserwacji prowadzonej w 1846 r. przez Ignaza Philippa Semmelweisa, lekarza wiedeńskiej kliniki. W jednym z pytań dyskutowany jest wpływ trzęsienia ziemi na gorączkę połogową kobiet, w innym hipotezy stawiane przez lekarza związane z procedurami panującymi na oddziale. Ciekawe jest spojrzenie na opisane wydarzenia z punktu widzenia współczesnej wiedzy.

3. Pierwsze wątpliwości – eksperymenty Francesca Rediego i powtarzalność wyników

Wracając do historii idei samoródtwa, należy cofnąć się do XVII-wiecznej Europy, kiedy to opublikowano informacje o kwestionujących ideę samoródtwa przełomowych eksperymentach Włocha Francesco Rediego, profesora Uniwersytetu w Pizie. W przeprowadzanych badaniach Redi weryfikował hipotezę o powstawaniu much z popsutego mięsa. W swoim najsłynniejszym doświadczeniu rozdzielił udziec wołowy na dwie części, po czym jedną porcję pozostawił na talerzu na świeżym powietrzu, a drugą zamknął w naczyniu i „chustką obwinął, aby ani muchy, ani żadne robactwo latające nie mogło mieć do niego przystępu” (Redi, 1668, s. 20). Po kilku dniach oba kawałki mięsa zaczęły się rozkładać, wydzielając nieprzyjemny zapach, jednak larwy much pojawiły się tylko na tym, który leżał na nieprzykrytym talerzu (Pękacka-Falkowska, 2015).

Eksperyment Rediego został dobrze zaprojektowany, zawierał próbę kontrolną i badawczą, otrzymany wynik był jednoznaczny, a wnioski umożliwiały zweryfikowanie hipotezy badawczej, która podawała w wątpliwość zachodzenie zjawiska samoródtwa (przynajmniej u much). Co więcej, otrzymany wynik był powtarzalny – do takich samych wniosków doprowadziły go eksperymenty, w których zmieniał rodzaj produktów zwierzęcych (np. węże, ryby, ser), lub naczynia, w których zachodził ich rozkład. Kiedy zarzucono mu, że w zamkniętym pojemniku rozwój larw hamowany był przez brak dostępu powietrza, niektóre naczynia przykrył cienkim materiałem umożliwiającym wentylację, a inne pozostawił otwarte, i ponownie uzyskał taki sam wynik (Pękacka-Falkowska, 2015; Redi, 1668).

Warto również zauważyć, że chcąc przybliżyć metodę naukową uczniom, niekoniecznie trzeba przeprowadzać i opisywać tak skomplikowane

eksperymenty. Można zadać uczniom bardzo proste pytanie i opisać poszczególne etapy procedury badawczej. Przykładem może być zadanie pt. *Które ciastko jest smaczniejsze?* z Bazy Dobrych Praktyk Instytutu Badań Edukacyjnych²:

Pewien cukiernik postanowił sprawdzić, które z jego ciastek jest smaczniejsze: kremówka za 6 zł czy napoleonka za 8 zł. Do badania zaprosił zaprzyjaźnioną wielopokoleniową rodzinę. Każda z uczestniczących w badaniu osób zjadła najpierw napoleonkę, a potem kremówkę, po czym oceniała ich smak w skali od 1 do 10.

Czy wszystkie elementy tego doświadczenia zostały poprawnie zaplanowane?

Lp. Sposób przeprowadzenia doświadczenia	Czy jest to poprawne?
1. Badani byli w różnym wieku.	tak/nie
2. Badani byli ze sobą spokrewnieni.	tak/nie
3. Wszyscy otrzymywali napoleonkę jako pierwszą.	tak/nie
4. Badani nie znali cen ciastek i nie musieli za nie płacić.	tak/nie

Poprawne odpowiedzi to: 1. Tak, 2. Nie, 3. Nie, 4. Tak (Instytut Badań Edukacyjnych, 2015).

Wracając do eksperymentu Rediego. Zgodnie z dzisiejszą wiedzą wniośki z tych doświadczeń są w pełni poprawne i prowadzą do odkrycia prawdy naukowej (wiedzy). Jednak czy praca badawcza jednego naukowca (nawet tak dobrze zaplanowana i wykonana), w której uzyskano wniosek przeciwny do powszechnie uznanego dogmatu, była w stanie zmienić przekonania ludzi lub opinię naukowców? W XVII w. był to tylko kolejny głos w debacie na temat natury życia, równie cenny co doświadczenia van Helmonta. Nawet sam Redi, nie umiając wyjaśnić cyklu życia-

² Prezentowane zadanie pochodzi z zestawu zadań Pracowni Przedmiotów Przyrodniczych „Laboratorium myślenia”. Na stronie internetowej można zapoznać się z komentarzem do narzędzia oraz wynikami uczniów rozwiązujących to zadanie (IBE, 2015).

wego pasożytów, nie odrzucił jednoznacznie przekonania, że powstają one z tkanek żywiciela (Redi, 1688; Świeżyński, 2009). Jednak rzetelność przeprowadzonych doświadczeń i powtarzalność otrzymanych wyników były podstawą do wzbudzenia pierwszych poważnych wątpliwości i dyskusji dotyczących rozmnażania zwierząt. Dzisiaj, powtarzając za Williamem Harveyem, że *omne vivum ex ovo* (wszystko, co żywe, bierze się z jaj), uznajemy doświadczenia Rediego za pionierskie i kluczowe w obaleniu wielowiekowego dogmatu o samoródtwie (Harvey, 1651).

4. Niepewność naukowa – mikroskop Antoniego van Leeuwenhoek’a i samoródtwo mikroorganizmów

Na przełomie XVII i XVIII w., kiedy wnioski z eksperymentów Rediego uzyskiwały coraz większe poparcie wśród ówczesnych naukowców, dyskusja na temat samoródtwa wkroczyła w nowy rozdział za sprawą odkrycia mikroskopu, a tym samym świata mikroorganizmów. W tym czasie wielu badaczy (m.in. Lazzaro Spallanzani, John Needham, Antoni van Leeuwenhoek, Jean Baptiste de Lamarck, John Tyndall) próbowało sprawdzić, czy zjawisko samoródtwa zachodzi w świecie (jak wtedy wydawało się) najprostszych organizmów niewidocznych gołym okiem. W tym celu przeprowadzano eksperymenty, których założeniem było potwierdzenie lub sfalsyfikowanie hipotezy mówiącej o tym, że mikroorganizmy mogą pojawić się samoistnie (w wyniku samoródtwa) w sterylnym środowisku odizolowanym od środowiska zewnętrznego. Wyniki tych doświadczeń różniły się między sobą ze względu na brak podstawowej wiedzy dotyczącej mikroorganizmów (m.in. ich obecności w powietrzu, glebie i wodzie) i antyseptyków (Świeżyński, 2009).

5. Ludwik Pasteur, próby kontrolne i falsyfikowanie hipotez

Dyskusja pomiędzy zwolennikami (na czele których stał Archimedes Pou-chet) a przeciwnikami teorii samoródtwa mikroorganizmów, podsycana przez coraz nowsze doświadczenia dające przeciwstawne wnioski, na początku XIX w. była tak ożywiona, że skłoniła Francuską Akademię Nauk do wyznaczenia nagrody dla naukowca, który jednoznacznie rozstrzygnie ten spór naukowy. Zwycięzcą okazał się Ludwik Pasteur. Jego układ doświadczalny był analogiczny do tego, co robili poprzednicy – sprawdzał, czy proces fermentacji świadczący o obecności mikroorganizmów w próbie będzie zachodził w sterylnej pożywce odizolowanej od środowiska zewnętrznego. Rozstrzygające znaczenie w jego doświadczeniach miała ich powtarzalność oraz zastosowanie wielu prób kontrolnych. Tego, czego dokonał Pasteur, nie udało się osiągnąć nikomu wcześniej, ponieważ jako jedyny wyszedł z założenia, że mikroorganizmy są wszechobecne, więc wszystko, co ma kontakt z próbą sterylną, musi zostać wyjałowione (Pasteur, 1862). Podobnie jak Rediemu, zarzucono mu, że brak mikroorganizmów w próbie sterylnej świadczy bardziej o witalnej sile powietrza niż braku samoródtwa u mikroorganizmów. Wypełnił więc naczynie z wysterylizowaną pożywką powietrzem, które wcześniej przepuścił przez rozżarzoną platynową rurkę. Innym razem powietrze sterylizował za pomocą filtra z waty. Aby dowieść jego skuteczności, przeprowadził próbę kontrolną pozytywną, w której analizował przyrost mikroorganizmów w pożywce zawierającej zużyty filtr (Salamon i Jagielski, 2022).

Pasteurowi dała przewagę jego wyjątkowa dociekliwość, pracowitość oraz systematyczność i skrupulatność w utrzymaniu jałowych warunków układu eksperymentalnego. Starania, które podejmował, i czynności, które wykonywał, zapewne dla większości obserwatorów były niezrozumiałe, niepotrzebne, a być może wręcz śmieszne. Jednak trwając w prze-

konaniu o swojej racji, uzyskał powtarzalność wyników, a zachowując otwartość umysłu, był w stanie skonstruować eksperymenty umożliwiające odrzucenie każdej wątpliwości, która pojawiła się w czasie dyskusji naukowej. W ten sposób przekonał najpierw Francuską Akademię Nauk, później pozostałych naukowców, a na końcu społeczeństwo.

W ostatecznym odrzuceniu teorii samoródtwa pomogły kolejne odkrycia z XVIII i XIX w. Przede wszystkim sformułowanie teorii komórkowej (wszystkie organizmy zbudowane są z komórek) przez Matthiasa Schleidena i Theodora Schwanna, której rozwinięcie przez Rudolfa Virchowa o zasadę *omnis cellula e cellula* (każda komórka bierze się z komórki) ostatecznie odrzuciło możliwość spontanicznego pojawiania się organizmów w przyrodzie (Schleiden 1838; Schwann 1839; Świeżyński, 2009; Virchow, 1858). Późniejsza teoria ewolucji Karola Darwina była kolejnym potwierdzeniem konieczności występowania jakiejś ciągłości życia (nie znano jeszcze podstaw dziedziczenia) między organizmami rodzicielskimi i potomstwem, co ostatecznie zakończyło okres wiary w samoródtwo jako jedną z form powstawania i rozmnażania się organizmów (Chwieduk, 2011).

6. Teoria samoródtwa współcześnie

Czy dyskusja na temat samoródtwa została ostatecznie zamknięta? Odrzucenie możliwości spontanicznego formowania organizmów z materii nieorganicznej pozostawiło kolejne pytanie bez odpowiedzi. Skoro każdy organizm powstaje z innego organizmu, a każda komórka z innej komórki, w jaki sposób powstała ta pierwsza? Obecnie funkcjonuje kilka teorii tłumaczących ten etap w dziejach Ziemi:

1. Teoria „ciepłego małego stawu” – eksperyment przeprowadzony przez Stanleya Millera i Harolda Ureya w 1953 roku wykazał,

że w mieszaninie metanu, amoniaku, wodoru i pary wodnej (związków, w które najprawdopodobniej obfitowała pierwotna atmosfera ziemską) pod wpływem wyładowań elektrycznych mogą powstawać aminokwasy, które łączą się, tworzą białka – główny budulec organizmów (Miller i Urey, 1953).

2. Hipoteza czarnych dymów (żelazo-siarkowa) – badania okolic kominów hydrotermalnych na dnie oceanów pokazały, że składniki wody morskiej mogą wchodzić w różne reakcje chemiczne z gorącymi składnikami skał, dając bogactwo różnorodnych związków chemicznych (w tym związków organicznych) oraz tworząc środowisko życia dla wielu mikroorganizmów (Wächtershäuser, 1988).

3. Teoria RNA – opiera się na obserwacji zjawiska samokopiiwalności RNA. Sugeruje się, że wykształcenie tej cechy umożliwiło powstanie życia (Mills, Peterson i Spiegelman, 1967; Szostak, Bartel i Luisi, 2001).

4. Teoria liposomów – liposomy są to kuliste struktury zbudowane z lipidów i innych cząsteczek amfifilowych, tworzące izolowane środowisko wewnętrzne, w którym mogą koncentrować się różne związki chemiczne. Liposomy przypominają zatem błony komórkowe tworzące komórki (Hanczyc, Fujikawa i Szostak, 2003).

5. Teoria koacerwatów – wprowadzona przez Aleksandra Oparina (1924). Koacerваты to duże półprzepuszczalne micelle – materia najbardziej zbliżona do komórek. Wprowadzając do koacerwatu enzymy, można doprowadzić do powstania w takim układzie pseudometabolizmu. Od lat dwutysięcznych teoria koacerwatów nabiera na znaczeniu w związku z nowymi odkryciami naukowymi dotyczącymi m.in. *Phragmatopoma californica* (Brangwynne i in., 2009; Nakashima, Vibhute i Spruijt, 2019).

6. Hipoteza panspermii – sugeruje, że życie na Ziemi przybyło z kosmosu. Hipotezę tę oparto na odkryciu obecności aminokwasów w meteorytach oraz na Marsie (Crick i Orgel 1973; Helden i Schuster, 2004).

Każda z opisanych teorii (poza teorią panspermii, która z kolei nie tłumaczy, w jaki sposób powstało życie na innych planetach) zakłada, że komórka została uformowana przez stopniowe przekształcanie prostych związków chemicznych w złożone układy, które w pewnym momencie zaczęły wykazywać cechy życia. Czy przywołane doświadczenia lub argumenty są wystarczająco przekonujące, by uznać, że abiogeneza (samorództwo) była źródłem życia na Ziemi? Najwięcej wątpliwości wzbudza fakt, że jak dotąd nikomu nie udało się odtworzyć tego procesu w taki sposób, by efektem końcowym było otrzymanie komórki (Chwieduk, 2011). Zatem obecnie, w związku z ciągłym niedostatkiem wiedzy na temat początków życia na Ziemi, jesteśmy w takiej samej sytuacji jak ludzie w XVII w., którzy wierzyli w samorództwo organizmów, ponieważ nie mogli znaleźć innego wyjaśnienia obecności larw much na psującym się mięsie czy szybko zwiększającej się populacji gryzoni w magazynach ze zbożem. Być może w przyszłości, kiedy poznamy już historię życia na Ziemi, przyszłe pokolenia będą zastanawiać się, dlaczego ludzkość tyle lat wierzyła w teorię abiogenezy, pomimo przemawiających za nią tak skąpych i słabych argumentów. Trudno w tym miejscu nie wrócić do niepewności naukowej. Bez względu na to, ile poprawnie zaplanowanych eksperymentów przeprowadzą naukowcy, nigdy nie będzie można powiedzieć, że mamy stuprocentową pewność, jako że nowe metody i możliwości detekcji zarówno weryfikują wiedzę podstawową, jak również ją rozwijają.

7. Czego o nauce uczy historia teorii samoródtwa?

Wielowiekowa ewolucja teorii samoródtwa dobrze obrazuje, jak działa nauka, czyli w jaki sposób prowadzone są badania naukowe, których wnioski wzbogacają naszą wiedzę o świecie. Początek tej historii wynikał z obserwacji przyrodniczej, w efekcie której zauważono, że larwy much pojawiają się na nieświeżym mięsie. Następnie postawiono hipotezę badawczą mówiącą o tym, że organizmy te formułują się spontanicznie ze związków powstających z mułu, brudu czy też w czasie rozkładu szczątków zwierzęcych. Hipoteza ta została silnie utrwalona w społeczeństwie – stanowiła naukę ustaloną, ponieważ dawała proste i logiczne wyjaśnienie powszechnie obserwowanego zjawiska oraz była jedynym przekonującym wytłumaczeniem tego zagadnienia.

W każdej epoce rodzą się ludzie ciekawi świata, których domeną jest powątpiewanie, odwaga i otwarty umysł. Są to najczęściej naukowcy, którzy nie chcą jedynie wierzyć, ale wiedzieć, i dlatego weryfikują to, co dla innych bywa oczywiste. Z tego powodu nieustannie odnawiano dyskusję na temat samoródtwa, a czynnikiem napędzającym te dysputy był rozwój nauk przyrodniczych oraz samej metody badań empirycznych. Od van Helmonta po Pasteura naukowcy przeprowadzali eksperymenty zgodne z obecnie stosowaną metodą naukową, tj. oparte na weryfikowalnych dowodach empirycznych, kwantyfikacji wyników i analizie danych obejmującej m.in. porównywanie prób kontrolnych i badawczych (Lilpop, Zachwatowicz, Banasiak, Chrzanowski i Bębas, 2017). Zatem dlaczego doświadczenia te często prowadziły do zgoła przeciwnych wniosków, a tym samym dyskusja naukowa trwała całe wieki, nim ostatecznie odrzucono hipotezę o samoródtwie jako kolejnym sposobie na rozmnażanie organizmów? Należy pamiętać, że naukowcy mogą się mylić, czyli wyciągnąć błędne wnioski nawet z najlepiej zaplanowanego i przeprowadzonego doświadczenia. Błędy te najczęściej wynikają

z braku wystarczającej wiedzy, co sprawia, że otrzymane wyniki mogą być interpretowane niewystarczająco dogłębnie (jak w doświadczeniu z wierzbą van Helmonta), lub z tego, że podczas planowania doświadczenia nie uwzględniano zmiennych, które powinny być kontrolowane (jak w doświadczeniach mikrobiologicznych Leeuwenhoeke). Prawdopodobieństwo popełnienia błędu w pracy naukowej może zmniejszyć powtarzalność otrzymanych wyników, stąd przełomowe w dyskursie na temat samoródtwa okazały się prace Rediego i Pasteura. Inny problem – oprócz braku wystarczającej wiedzy – to próby porównywania badań, które nie powinny być porównywane. Taka sytuacja miała przykładowo miejsce kilka lat temu w trakcie pandemii. W bardzo uproszczony sposób podawano wyniki badań bez charakterystyki próby czy warunków cytowanego badania. Prowadziło to do wielu nieporozumień i obniżenia zaufania do naukowców (Ściślewska, Ostrowska i Chrzanowski, 2022). Zrozumienie istoty niepewności w nauce może być pomocne w odbudowie tego zaufania.

Współczesny nam człowiek traktuje badania naukowe jako źródło jednoznacznych odpowiedzi na skomplikowane pytania. Jest to bardzo częsty błąd w rozumieniu tego, w jaki sposób prowadzone są eksperymenty. Nawet najbardziej skrupulatni naukowcy nie mają możliwości bezpośredniego poznania prawdy o świecie. Ich narzędziem pracy jest stawianie hipotez badawczych i ich weryfikacja m.in. poprzez eksperymenty. Zgromadzenie wielu argumentów potwierdzających badaną hipotezę zmniejsza prawdopodobieństwo popełnienia błędu, jednak najczęściej dopiero po wielu latach (czasami wiekach) można ostatecznie ocenić jej prawdziwość. Wyjątkowo problematyczne są badania, w których chcemy udowodnić, że czegoś nie ma lub dane zjawisko nie występuje. Wyniki takich eksperymentów pozostawiają zawsze otwartą dyskusję, w której należy zaznaczyć, że pomimo starań badaczy nie da się wszystkiego

sprawdzić (zatem być może istnieją takie warunki, w których wystąpiłoby to, co chcemy pokazać, że nie istnieje) lub że być może czułość metody badawczej, którą obecnie dysponujemy, jest zbyt niska (a w przyszłości pojawią się inne techniki, które zweryfikują poprawność wniosków). Problem ten pojawił się również w interpretacji badań o samoródtwie. Weźmy pod uwagę chociażby pierwsze doświadczenia mikrobiologiczne. Van Leeuwenhoek jednym eksperymentem, w którym stwierdził, że w zbutwiałej wodzie zarówno w otwartym, jak i w zamkniętym naczyniu rozwinęło się tyle samo mikroorganizmów, ponownie ożywił dyskusję na temat samoródtwa (van Leeuwenhoek, 1684). Ponad sto lat później Pasteur musiał pokazać wyniki wielu doświadczeń uwzględniających różne czynniki i warunki, by przekonać naukowców, że taki proces nie ma miejsca. Ten sam paradoks leży u podstaw największego współczesnego kryzysu wiary w naukę, który związany jest z tzw. ruchem antyszczepionkowym (Kamińska i Chrzanowski, 2022; Rosińska i in., 2022). W 1998 roku opublikowano jedną pracę wskazującą na związek między szczepieniem preparatem skojarzonym zapewniającym odporność wobec wirusów odry, świnki i różyczki (*measles, mumps, and rubella vaccine*, MMR), a autyzmem (Wakefield i in., 1998). Obecnie nadal obserwujemy konsekwencje ukazania się tej pracy, pomimo wielokrotnego podważenia poprawności zastosowanej w niej metodologii i przeprowadzenia niezliczonych badań populacyjnych i metaanaliz, które pokazują brak takiej zależności (Demicheli, Debalini i Di Pietrantonj, 2012).

8. Czy można wierzyć naukowcom?

Skoro sformułowanie „potwierdzone badaniami naukowymi” nie jest gwarancją prawdy, to czemu lub komu może ufać współczesny człowiek zewsząd bombardowany informacjami, z których tylko część jest

prawdziwa? Pomimo możliwości popełnienia błędu we wnioskowaniu, często braku pełnej zgodności między naukowcami i niejednoznaczności wyników doświadczeń badania oparte na metodzie empirycznej nadal są najlepszym sposobem na poznawanie świata. Wszakże – powracając do przykładu historii teorii samoródtwa – ostatecznie za pomocą eksperymentów opartych na metodzie naukowej udało się jednoznacznie rozstrzygnąć tę wielowiekową wątpliwość. Odpowiadając na pytanie zawarte w temacie tego rozdziału, należy stwierdzić, że można (a nawet trzeba) ufać naukowcom, jednak warto mieć również wiedzę i rozumieć, w jaki sposób prowadzone są badania naukowe, by nie ulec rozczarowaniu wynikającemu z idealizacji nauki, umieć odróżnić naukę od pseudonauki i fakty od opinii. O dużym deficycie tych umiejętności w społeczeństwach świadczą m.in.:

1. Ruchy antyszczepionkowe. W badaniu naukowców z Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego z 2021 r. aż 31% badanych zgodziło się ze stwierdzeniem, że szczepienia są promowane głównie dlatego, że leży to w interesie firm farmaceutycznych, a ponad 22% uważało, że szczepionki dla dzieci mogą powodować poważne zaburzenia rozwojowe, w tym autyzm (Włodarska, Gujski, Pinkas i Raciborski, 2021),
2. Tak zwana medycyna alternatywna. Zgodnie z badaniami Clemesa Wolfa i in. (2021) stosowało ją nawet do 73% pacjentów chorych na nowotwory.
3. Negowanie antropogenicznych zmian klimatycznych. Obecnie teoria dotycząca wpływu antropogenicznego na zmiany klimatu stanowi ustaloną (ugruntowaną) naukę – we wnioskach dotyczących zmian klimatycznych istnieje stabilny konsensus w ponad 99% publikacji naukowych (Lynas, Houlton i Perry, 2021), a przykładowo z badań CBOS wynika, że 44% Polaków zgadza się ze stwierdzeniem:

„Naukowcy nie są zgodni, czy działalność człowieka ma wpływ na klimat” (Centrum B dania Opinii Publicznej, 2010).

9. Jak uczyć o nauce i naukowości?

Przede wszystkim należy się zastanowić, czy i dlaczego warto o niej uczyć. Wyniki badania Komisji Europejskiej pt. *Eurobarometr, European citizens' knowledge and attitudes towards science and technology* (Komisja Europejska, 2021) pokazują, że Polacy nie interesują się zagadnieniami naukowymi: co czwarty Polak nie jest zainteresowany problematyką zmian klimatu, 37% nie jest zainteresowanych nowymi odkryciami i rozwojem nauk medycznych, również 37% deklaruje całkowity brak zainteresowania odkryciami naukowymi czy rozwojem nowych technologii, a 39% Polaków uważa, że nie czerpie żadnych korzyści z rozwoju nauki i technologii. Spośród 38 zbadanych krajów Polska zajęła w większości przypadków ostatnie lub przedostatnie miejsce w tych badaniach. Wbrew temu, co Polacy myślą o przydatności nauki (prawie połowa z nas zgadza się ze stwierdzeniem „W życiu codziennym wiedza o nauce jest nieistotna”), tematy naukowe wpływają na życie codzienne. Widać to było choćby w czasie pandemii wirusa Sars-CoV-2 – wyniki badania YouGov z 2020 r. wykazały, że Polska była jedynym krajem spośród 26 przebadanych, w którym ludzie w kwestii COVID-19 bardziej ufali rodzinie i znajomym (81% zaufania) niż lekarzom i pielęgniarkom (72%) (Smith, 2020). Programowe kształcenie ogólne zobowiązuje nauczycieli przedmiotów przyrodniczych do „kształtowania u uczniów myślenia naukowego” (biologia, szkoła podstawowa) oraz „myślenia i działania opartego na metodzie naukowej” (fizyka, szkoła podstawowa) (Ministerstwo Edukacji Narodowej, 2017). Wydawałoby się, że młodzi ludzie po ukończeniu obowiązkowej edukacji będą bardziej świadomi. Można postawić pytanie: Czy nie jest tak, że w polskiej szkole nauczanie przedmiotów przyrodniczych na-

dal ogranicza się jednak do przekazywania faktów i opisów zjawisk jako gotowych wiadomości do pamięciowego opanowania i odtwarzania? Warto zauważyć, że w sformułowaniu wymagań szczegółowych podstawy programowej nie zastosowano czasowników odnoszących się do wiadomości, takich jak: znać, rozumieć czy wiedzieć, ale wymagane wiadomości pojawiają się w kontekście umiejętności, najczęściej prostych, definiowanych przez czasowniki operacyjne: wymieniać, opisywać, podawać, wskazywać itd. (Ostrowska i Spalik, 2010). Współcześnie, w dobie natychmiastowego dostępu do informacji o zróżnicowanej jakości (smogu informacyjnego), rozwiązanie polegające na przekazywaniu i odtwarzaniu faktów nie wydaje się optymalne (Tadeusiewicz, 1999). Nacisk powinien być raczej położony na wyposażenie uczniów w umiejętności krytycznego myślenia, analizy danych oraz oceny wiarygodności źródeł. Należy skupić się na kształtowaniu nawyków myślenia naukowego, które pomagają odróżniać fakty od opinii, a także identyfikować dezinformację, fake newsy i teorie pseudonaukowe. Co więcej – nie można zapominać o znaczeniu naturalnego elementu procesu badawczego, a więc o niepewności naukowej. Zrozumienie tego zjawiska jest kluczowe w interpretacji wyników badań, niejednokrotnie dotyczących wprost codziennego życia (pandemia COVID-19 i szczepienia, energia jądrowa i elektrownie, globalne zmiany klimatu). „W dzisiejszych (...) czasach brak zrozumienia tego zjawiska [tj. niepewności naukowej – przyp. autorów] jest szczególnie odczuwalny” (Ostrowska i Chrzanowski, 2022). Jak pokazują przytoczone wyżej wyniki badań, trzeba zdecydowanie zwiększyć nacisk na realizację tych celów, ponieważ we współczesnym świecie wydają się najistotniejszymi kompetencjami, w które musimy wyposażać ucznia, by świadomie mógł wkroczyć w dorosłe życie (Sitek i Ostrowska, 2020).

10. Podsumowanie i wnioski

Historia idei samoródtwa pokazuje, ile czasu, eksperymentów, pracy naukowej i wysiłku wielu ludzi kosztowało dojście do wiedzy, która dla współczesnego człowieka wydaje się oczywista. Historia ta może stanowić dla nauczyciela inspirację do przeprowadzenia lekcji o metodzie naukowej z historią w tle. Analizując drogę obalenia teorii samoródtwa, możemy ukazać wszystkie wady i zalety metody naukowej. Poznając kolejne doświadczenia, możemy zastanowić się nad tym, jak wyglądałyby one we współczesnym świecie, krytycznie przeanalizować ich projekt i wykonanie, a także spróbować zaplanować dodatkowe próby kontrolne, które być może ustrzegłyby badacza przed popełnieniem błędu. Zajęcia takie mogą również skłonić młodego człowieka do kolejnych refleksji. Warto na koniec zastanowić się i postawić pytanie: Które informacje traktowane dzisiaj przez nas jako pewnik mają poparcie naukowe, a które są tylko utartymi w społeczeństwie przekonaniem?

Bibliografia

- Berkbile, D.H. (2018). What Is "Settled Science"? *The Torch Magazine*, 91(2).
- Bigelow, M. (1910). Experiments on the Generation of Insects. *Nature*, 83, 215–216.
- Brangwynne, C.P., Eckmann, C R., Courson, D.S., Rybarska, A., Hoeghe, C., Gharghani, J., Julicher, F. i Hyman, A.A. (2009). Germline P Granules Are Liquid Droplets That Localize by Controlled Dissolution/Condensation. *Science*, 324(5935), 1729–1732.
- Bullock, W. (1960). *The history of bacteriology*. Londyn: Oxford University Press.
- Centrum Badania Opinii Publicznej. (2010). *Polacy i stanie środowiska i zmianach klimatu. Komunikat z badań nr BS/1/2010*. Warszawa: Fundacja Centrum Badania Opinii Publicznej. Pobrano z https://www.cbos.pl/PL/publikacje/raporty_tekst.php?id=4123
- Chwieduk, E. (2011). *Pochodzenie życia – wyjątkowy akt samoródtwa?* Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.

- Crick, F.H.C. i Orgel, L.E. (1973). Directed panspermia. *Icarus*, 19(3), 341–346.
- Demicheli, V., Rivetti, A., Debalini, M.G. i Di Pietrantonj, C. (2012). Vaccines for measles, mumps and rubella in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 15(2), CD004407.
- Hanczyc, M., Fujikawa, S.M. i Szostak, J.M., (2003). Experimental Models of Primitive Cellular Compartments: Encapsulation, Growth, and Division. *Science*, 302(5645), 618–622.
- Harvey, W. (1651). *De Generatione Animalium 1651 Exercitationes de generatione animalium. Quibus accedunt quaedam de partu; de membranis ac humoribus uteri; & de conceptione*. Londyn: Elzevirium.
- Helden, L.P. van, Schuster, G.S.O. i Schuster, A.M. (2004). Panspermia and the origin of life. *Journal of Theoretical Biology*, 226(1), 9–16.
- Helmont, J.B. van (1652). *Ortus Medicinæ id est Initia Physicæ Inaudita Progressus Medicinæ Novus, in Morborum Ultionem, ad Vitam Longam*. Amsterdam: Elzevirium.
- Instytut Badań Edukacyjnych. (2015). *Wiązka zadań „Które ciastko jest smaczniejsze?”*. Pobrano z <https://bdp.ibe.edu.pl/tool-page/377>
- Kahneman, D. (2013). *Thinking, Fast and Slow* (wyd 1). New York (NY): Farrar, Straus and Giroux.
- Kamińska, M. i Chrzanowski, M.M. (2022). Błędne przekonania w zakresie szczepień ochronnych przed pandemią i w trakcie pandemii koronawirusa SARS CoV-2. W: A.M. Wójcik, E. Gajuś-Lankamer i I. Żeber-Dzikowska (red.), *Kształtowanie kompetencji kluczowych w edukacji przyrodniczej od przedszkola po studia wyższe. Refleksje – aplikacje – inspiracje* (s. 87–96). Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Komisja Europejska. (2021). *European citizens' knowledge and attitudes towards science and technology – Report*. European Union: Publications Office of the European Union.
- Leeuwenhoek, A. van (1696). *Vijfde vervolg der brieven, geschreven aen verscheide hoge standspersonen en geleerde luijden*. Delft: Boekverkooper.
- Lilpop, J., Zachwatowicz, M. Banasiak, Ł., Chrzanowski, M.M. i Bębas, P. (2017). Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną? *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa*, 2, 79–102.

- Lynas, M. Houlton, B.H. i Perry, S. (2021). Greater than 99% consensus on human caused climate change in the peer-reviewed scientific literature. *Environmental Research Letters*, 16(114005), 1–7.
- Miller, S. i Urey, H. (1953). A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science*, 117(3046), 528–529.
- Mills, D.R., Peterson, R.L. i Spiegelman, S. (1967). An extracellular Darwinian experiment with a self-duplicating nucleic acid molecule. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 58(1), 217–24.
- Ministerstwo Edukacji Narodowej. (2017). *Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 14 lutego 2017 r. w sprawie podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej*. Warszawa: Ministerstwo Edukacji Narodowej.
- Nakashima, K.K., Vibhute, M.A., i Spruijt, E. (2019). Biomolecular Chemistry in Liquid Phase Separated Compartments. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 6(21), 1–9.
- OECD. (2009). *Take the Test: Sample Questions from OECD's PISA Assessments*. Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264050815-en>.
- Oparin, A.I. (1924). *Proischozhdienije žizni*. Moskwa: Iad. Mostkowisklj Ratooczij.
- Ostrowska B. i Spalik, K. (2010). *Umiejętności złożone w nauczaniu historii i przedmiotów przyrodniczych*. Warszawa: Instytut Filozofii i Socjologii PAN.
- Ostrowska, B.E. i Chrzanowski, M.M. (2022). Nowy, wspaniały i dostępny świat. *Polonistyka. Innowacje*, 15, 149–162.
- Pasteur, L. (1862) Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère: examen de la doctrine des générations spontanées. Leçon professée à la société chimique de Paris. *Annales de Chimie et de Physique*, 3(64), 4–37.
- Pękacka-Falkowska, K. (2015). *Skąd bierze się życia? Abiotyzm. Silva Rerum. Pasaż Wiedzy*. Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie. Pobrano z <https://wilano-w-palac.pl/pasaz-wiedzy/skad-bierze-sie-zycie-abiotyzm>
- Redi, F. (1668). *Esperienze intorno alla generazione degli insetti*. Firenze: All'Insegna della Stella.

- Rosińska, J.M., Kierył, J., Kamińska, M., Heba, A., Płócienniak, A. i Chrzanowski, M.M. (2022). Świadomość wirusologiczna w społeczeństwie a błędne przekonania w zakresie szczepień ochronnych. W: A.M. Wójcik, E. Gajuś-Lankamer i I. Żeber-Dzikowska (red.), *Kształtowanie kompetencji kluczowych w edukacji przyrodniczej od przedszkola po studia wyższe. Refleksje – aplikacje – inspiracje* (s. 97–108). Lublin: Wydawnictwo UMCS.
- Salamon, D. i Jagielski, T. (2022). Różne oblicza sławnego odkrywcy. Pamięci Ludwika Pasteura w 200. rocznicę urodzin. *Postępy Mikrobiologii – Advances of Microbiology*, 61(4), 205–209.
- Schleiden, M.J. (1838). Beiträge zur Phytogenesis. W: J. Müller (red.), *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin* (s. 137–176). Berlin: Veit.
- Schwann, T. (1839). *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen*. Berlin: Sander'schen Buchlandlung.
- Sitek, M. i Ostrowska B.E. (2020). *PISA 2018. Czytanie, rozumienie, rozumowanie*. Warszawa: Instytut Badań Edukacyjnych.
- Smith, M. (2020). *International COVID-19 tracker update: 18 May. Latest round-up of YouGov's coronavirus survey results*. Pobrano z <https://yougov.co.uk/international/articles/29757-international-covid-19-tracker-update-18-may>
- Szostak, J.M., Bartel, D.P. i Luisi, P.L. (2001). Synthesizing life. *Nature*, 409(6818), 387–390.
- Ściślewska, P., Ostrowska, B. i Chrzanowski, M.M. (2022). Edukacja a fake newsy W: M.M. Chrzanowski, I. Żeber-Dzikowska i J. Chmielewski (red.), *Doskonalenie dydaktyki szkolnej i akademickiej* (s. 169–190). Warszawa: Wydawnictwo Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie.
- Świeżyński, A. (2009). Nowożytnie przemiany idei samorządztwa. *Roczniki Filozoficzne*, 57(1), 195–229.
- Tadeusiewicz, R. (1999). Smog Informacyjny. *Prace Komisji Zagrożeń Cywilizacyjnych. Polska Akademia Umiejętności*, 2, 97–107.
- Tatarkiewicz, K. (2007). Kiedy powstała nauka nowożytna? *Rocznik Polskiego Towarzystwa Matematycznego*, 6(1), 249–266.

- Virchow, R. (1858). *Die Cellularpathologie in ihrer Begründung auf physiologische und pathologische Gewebelehre*. Berlin: Verlag von August Hirschwald.
- Wächtershäuser, G. (1988). Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiological Reviews*, 52(4), 452–484.
- Wakefield, A.J., Murch, S.H., Anthony, A., Linnell, J., Casson, D.M., Malik, M., Berelowitz, M., Dhillon, A.P., Thomson, M.A., Harvey, P., Valentine, A., Davies, S.E. i Walker-Smith, J. A. (1998). Ileal-lymphoid-nodular hyperplasia, non-specific colitis, and pervasive developmental disorder in children. *Lancet (London, England)*, 351(9103), 637–641.
- Weiner, J. i Weiner 3, J. (2023). *Jak powstało życie na Ziemi*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Wiggins, A.W. i Wynn, C.M. (2004) *Pięć największych nierozwiązanych problemów nauki*. Tłum. zbiorowe. Warszawa: Wydawnictwo Amber.
- Włodarska, A., Gujski, M., Pinkas, J. i Raciborski, F. (2021). The influence of socio-demographic characteristics on attitudes towards prophylactic vaccination in Poland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 34(1), 121–132.
- Wolf, C.P.J.G., Rachow, T., Ernst, T., Hochhaus, A., Zomorodbakhsch, B., Foller, S., Rengsberger, M., Hartmann, M. i Huebner, J. (2022). Complementary and alternative medicine (CAM) supplements in cancer outpatients: analyses of usage and of interaction risks with cancer treatment. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 148(1), 1–13.
- Zimbardo, G. i Gerrig, R.J. (2009). *Psychologia i życie*. Wydanie Nowe. Tłum. M. Materska, J. Radzicki. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.