

2(63)
2017

KWARTALNIK

ISSN 1643-8779

EDUKACJA

BIOLOGICZNA I ŚRODOWISKOWA

Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną?

Pozyskiwanie azotu przez rośliny mięsożerne

Zajęcia terenowe – ekscytująca przygoda z przyrodą

Przystosowanie roślin do środowiska – propozycja zajęć

IBE



INSTYTUT
BADAŃ
EDUKACYJNYCH

NAUKA
geografia
biologia
chemia
fizyka
medycyna
środowisko
przyroda

- 3 Jakub Maculewicz, Sylwia Śliwińska-Wilczewska, Adam Latała
Zjawisko oddziaływania allelopatycznego pikoplanktonowej sinicy *synechococcus* sp. na nitkowate sinice *geitlerinema amphibium* i *rivularia* sp.
- 10 Magdalena Zboińska
Niezwyczajny sposób pozyskiwania azotu przez rośliny mięsożerne
- 20 Grażyna Dąbrowska, Henryk Paweł Dąbrowski, Olga Narbutt
Proces liofilizacji, jego zastosowanie i wybrane mechanizmy obronne organizmów przed odwodnieniem
- 30 Sandra Górka
Karbapenemazy KPC – niebezpieczne ogniska epidemiologiczne w Polsce i na świecie
- 37 Jan Boczek, Małgorzata Kiełkiewicz, Małgorzata Kłyś
Najstarsi ogrodnicy spośród owadów
- 42 Małgorzata Kłyś, Jan Boczek
Żyjemy w świecie opanowanym przez owady

NAUKA – artykuły przede wszystkim o charakterze przeglądowym, adresowane do osób zainteresowanych naukami przyrodniczymi – dotyczą głównie zagadnień biologii i biochemii, ale mogą też obejmować problematykę pozostałych dyscyplin przyrodniczych. W naszym zamierzeniu mają zarówno dostarczyć rzetelną wiedzę, jak i skłonić do dyskusji, jakie treści i w jakiej formie warto proponować nauczycielom, by pomóc im w nauczaniu. Sprawia to, że dział ten ma charakter przede wszystkim pedagogiczny.

SZKOŁA
narzędzia dydaktyczne
jak uczyć
scenariusze zajęć
narzędzia w internecie
jak zainteresować
zadania

- 52 Marcin M. Chrzanowski, Irmina Buczek, Małgorzata Musialik, E. Barbara Ostrowska
Tabele i wykresy w podręcznikach do nauczania chemii dla III etapu edukacyjnego
- 71 Jan Amos Jelinek
Grzechy edukacji przyrodniczej, których korzenie sięgają wychowania przedszkolnego i nauczania w klasach I-III
- 79 Joanna Lilpop, Maria Zachwatowicz, Łukasz Banasiak, Marcin Chrzanowski, Piotr Bębas
Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną?
- 103 Elżbieta Roland
Zajęcia terenowe – ekscytująca przygoda z przyrodą
- 107 Magdalena Zboińska
Przystosowania roślin do środowiska w praktyce – propozycja zajęć

KONSPEKT

KONSPEKT

SZKOŁA – artykuły lub materiały przedstawiające rozmaite źródła informacji (np. serwisy i kursy internetowe), uwarunkowania nauczania (m.in. prawne i społeczne), a także metody pracy z uczniami, konspekty i scenariusze lekcji. W każdym numerze – najnowsze zadania Pracowni Przedmiotów Przyrodniczych IBE.

KRÓTKO
recenzje
wydarzenia
informacje
najnowsze odkrycia

- 116 Redakcja
Sukces reprezentantów Polski na Międzynarodowej Olimpiadzie Biologicznej
- 117 Monika Pietraszko
Kozioróg dębosz *Cerambyx cerdo* – dumny mieszkaniec parków Wrocławia

szukajcie się ważne wydarzenie?
poinformuj nas o nim
ebis@ibe.edu.pl

KRÓTKO
– recenzje (książek, a nawet płyt z muzyką), zapowiedzi wydarzeń i relacje z nich, depesze o nowościach ze świata nauki oraz dyskusje i komentarze.

NAUKA

SZKOŁA

KRÓTKO

Redakcja

Redaktor naczelny: Takao Ishikawa

Sekretarz redakcji: Magdalena Rzeszotek

Redaktorzy merytoryczni:

Urszula Poziomek, Jolanta Korycka-Skorupa

Kontakt z redakcją i propozycje tekstów: ebis@ibe.edu.pl

Strona internetowa: ebis.ibe.edu.pl

Adres redakcji: ul. Górczewska 8, 01-180 Warszawa

Rada naukowa

przewodniczący Rady: prof. zw. dr hab. Adam Kołataj
(Instytut Genetyki i Hodowli Zwierząt PAN, Jastrzębiec),

zast. przewodniczącego: prof. dr hab. Katarzyna Potyrała
(Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie),

a także: dr hab. Ondrej Hronec (Uniwersytet w Presowie, Słowacja),
prof. dr hab. Daniel Raichvarg (Uniwersytet Burgundzki w Dijon, Francja),
prof. dr hab. Valerij Rudenko (Wydział Geograficzny, Uniwersytet w Czerniowcach, Ukraina),
prof. zw. dr hab. Danuta Cichy (założyciel EBiŚ)
prof. zw. dr hab. Wiesław Stawiński (emerytowany profesor Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie),
dr Renata Jurkowska (Uniwersytet w Stuttgarcie, Niemcy),
dr Paul Davies (Institute of Education, University of London)

Poza radą czasopismo posiada również zespoły doradcze oraz stałych recenzentów – zob. na stronie: ebis.ibe.edu.pl

Wydawnictwo

Wydawca: Instytut Badań Edukacyjnych,
ul. Górczewska 8, 01-180 Warszawa

Projekt okładki: M. Broniszewski i red.;
zdjęcie ze zbiorów własnych

Skład i łamanie: Marcin Trepczyński

czasopismo punktowane: **8 punktów**,
indeksowane w bazach CEJSH, CEEOL, EBSCO
i Index Copernicus

wersją referencyjną czasopisma jest wydanie elektroniczne
opublikowane na stronie: ebis.ibe.edu.pl
wszystkie artykuły z abstraktami zostały zrecenzowane

Od redakcji

Takao Ishikawa

Drodzy Czytelnicy,
zbliży się połowa wakacji i być może niektórzy z Państwa zdążyli już wypocząć i szukają inspiracji do następnego roku szkolnego lub akademickiego. Tym razem wyjątkowo zacznę przedstawianie treści EBiŚ od działu SZKOŁA, a to dlatego, że znajdują Państwo – nomen omen – inspirację nie tylko dla pracy dydaktycznej, ale także dla uczniów biorących udział w Olimpiadzie Biologicznej. W tym numerze publikujemy „Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną? – poradnik”. Jest to przystępnie napisany – ale i obszerny – poradnik, który obejmuje najważniejsze zagadnienia dotyczące wykonywania doświadczeń oraz interpretacji wyników. Myślę, że jest to lektura obowiązkowa nie tylko dla uczniów zainteresowanych udziałem w Olimpiadzie Biologicznej, ale także dla nauczycieli czy uczniów niekoniecznie mających styczność z tym ogólnopolskim konkursem.

W artykule „Tabele i wykresy w podręcznikach do nauczania chemii dla III etapu edukacyjnego” autorzy przyjrzeni się podręcznikom chemii używanych w gimnazjum. Przygotowując się do pracy dydaktycznej w nadchodzącym roku szkolnym warto zapoznać się z wynikami analiz przeprowadzonych przez autorów tego tekstu.

W dziale NAUKA znajdą Państwo artykuł „Niezwyczajny sposób pozyskiwania azotu przez rośliny mięsożerne”. Są to rośliny, które fascynują i intrygują wielu z nas; dla tych z Państwa na pewno jest to tekst, do którego warto zajrzeć. Z kolei dla osób bardziej zainteresowanych *klimatami laboratoryjnymi* polecam artykuł „Proces liofilizacji, jego zastosowanie i wybrane mechanizmy obronne organizmów przed odwodnieniem”. Liofilizator to zwykle dość głośne urządzenie, które pozwala na całkowite wysuszenie próbki. W artykule poruszono nie tylko zagadnienie samej liofilizacji,

ale także odpowiedź różnych organizmów na naturalne procesy powodujące ich odwodnienie.

Korzystając z okazji chciałbym raz jeszcze Państwu polecić poprzedni numer EBiŚ, czyli 2017/1. Razem z aktualnym numerem wydaliśmy wersję polską numeru 2017/1. Jeśli nie zdążyli się Państwo zapoznać z wersją angielską, okres wakacyjny będzie doskonałym momentem na nadrobienie zaległości w lekturze w rodzimym języku.

Życzę Państwu pięknej drugiej połowy wakacji!

Takao Ishikawa



Zjawisko oddziaływania allelopatycznego pikoplanktonowej sinicy *synechococcus* sp. na nitkowate sinice *geitlerinema amfibium* i *rivularia* sp.

Jakub Maculewicz, Sylwia Śliwińska-Wilczewska, Adam Latała

DOI: 10.24131/3247.170201

Streszczenie:

W ostatnim okresie wzrasta przekonanie, że allelopatia może być kluczowym czynnikiem wpływającym na dominację niektórych gatunków sinic w środowisku wodnym. W przeprowadzonych badaniach określono wpływ pojedynczego i wielokrotnie dodawanego przesączu uzyskanego z hodowli pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. na rozwój nitkowatych sinic *Geitlerinema amfibium* i *Rivularia* sp. W pracy wykazano, że przesącz wpływał stymulująco na wzrost i parametr fluorescencji charakteryzujący maksymalną wydajność fotosystemu II (F_v/F_m) u *G. amfibium*. Ponadto w pracy zaobserwowano, że wielokrotne dodanie przesączu miało większy wpływ na badaną sinicę, niż przesącz dodawany raz na początku eksperymentu. Po wielokrotnym dodaniu przesączu zanotowano stymulację wzrostu i parametru F_v/F_m u *G. amfibium*, która wyniosła odpowiednio 114% i 128% w stosunku do kontroli. W pracy nie zanotowano natomiast istotnych zmian liczebności i wartości parametru fluorescencji u drugiej analizowanej sinicy *Rivularia* sp. Otrzymane wyniki sugerują, że poszczególne gatunki sinic cechują się zróżnicowaną wrażliwością na związki produkowane przez *Synechococcus* sp., co może w ukięrkowany sposób wpływać na sukcesję fitoplanktonu w środowisku wodnym.

Słowa kluczowe: allelopatia, wzrost, fluorescencja chlorofilu a, sinice

otrzymano: 10.05.2017; przyjęto: 10.06.2017; opublikowano: 16.08.2017

Wprowadzenie

Wyniki badań wskazują, że oddziaływanie allelopatyczne jest szeroko rozpowszechnione i może występować we wszystkich wodnych ekosystemach (Gross, 2003). Niektóre gatunki fitoplanktonu zdolne są do produkowania i uwalniania wtórnych metabolitów, które oddziałują na wzrost i funkcje życiowe licznych innych organizmów (np. Rzymski i wsp., 2014; Żak i Kosakowska, 2015; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016a,b; Wang i wsp., 2017). Badania wykazały, że organizm testowy, zwany również organizmem targetowym, może być całkowicie wyeliminowany, hamowany, odporny, a niekiedy nawet stymulowany przez związki allelopatyczne obecne w środowisku (Suikkanen i wsp., 2004; 2005). Uważa się, że selektywna stymulacja lub hamowanie wzrostu poszczególnych gatunków sinic i mikroglonów



Jakub Maculewicz:

Instytut Oceanografii, Wydział Oceanografii i Geografii,
Uniwersytet Gdański



dr Sylwia Śliwińska-Wilczewska:

Instytut Oceanografii, Wydział Oceanografii i Geografii,
Uniwersytet Gdański



prof. dr hab. Adam Latała:

Instytut Oceanografii, Wydział Oceanografii i Geografii,
Uniwersytet Gdański

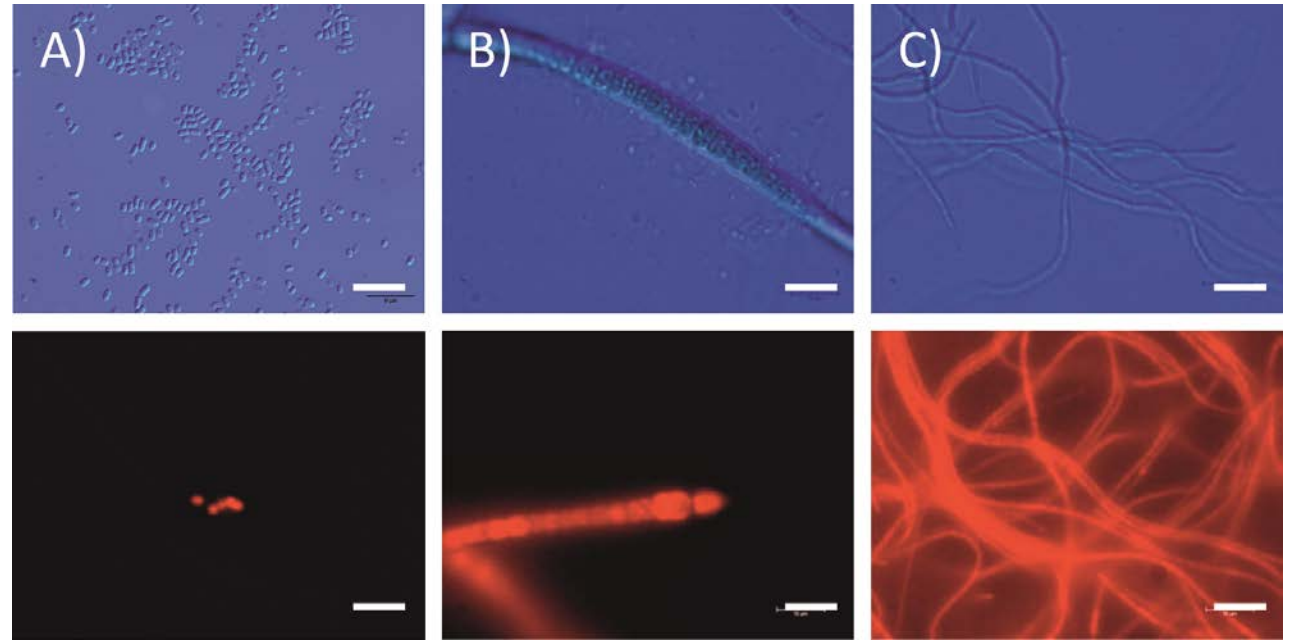
może przyczyniać się do sukcesji fitoplanktonu w środowisku wodnym (Wang i wsp., 2017). Według Granéli i wsp. (2008a) obecnie znanych jest około 40 gatunków fitoplanktonu, które wykazują oddziaływanie allelopatyczne na inne mikroorganizmy. Produkowanie związków allelopatycznych przez gatunki fitoplanktonu zostało stwierdzone u sinic, zielenic, bruzdnic i złotowiciowców (np. Gross, 2003; Legrand i wsp., 2003; Yang i wsp., 2010; Żak i Kosakowska, 2015). Wśród gatunków zdolnych do wydzielania związków allelopatycznych w ekosystemach morskich dominują bruzdnice i haptofity, natomiast w środowisku słodkowodnym i słonawym zjawisko to jest obserwowane głównie u sinic (Granéli i wsp., 2008b).

W środowisku naukowym koncepcja zjawiska allelopatii nie zawsze jest podobnie rozumiana. Niektórzy badacze opisują wspólnie zjawisko allelopatii i konkurencję międzygatunkową o zasoby (światło, sole pokarmowe, dwutlenek węgla), ponieważ uważają, że nie jest możliwe rozdzielenie tych dwóch mechanizmów w środowisku naturalnym (Larsen i Bryant, 1998). Z drugiej strony Uchida (2001) sklasyfikował zjawisko allelopatii i konkurencję jako osobne procesy, które mogą występować w tym samym czasie niezależnie od siebie. Uważa się, że zjawisko allelopatii może odnosić się do oddziaływania zarówno antagonistycznego, jak i synergistycznego i jest procesem dużo bardziej złożonym niż ten obserwowany w doświadczeniach laboratoryjnych. Naukowcy sądzą, że w środowisku wodnym występuje większa różnorodność związków allelopatycznych, niż w środowisku lądowym (McClintock i Baker, 2001). Uważa się także, że oddziaływanie allelopatyczne wpływa na biologię komórek, występowanie gatunków i sukcesję gatunkową, w tym na konkurencję pomiędzy sinicami (np. Paz-Yepes i wsp., 2013; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016a). Niekiedy allelopatia może być na tyle efektywną strategią niektórych gatunków sinic, że

powoduje tworzenie się masowych zakwitów tych organizmów w wielu zbiornikach wodnych (Antunes i wsp., 2012; Rzymski i wsp., 2014). Dlatego w ostatniej dekadzie oddziaływania allelopatyczne sinic są coraz intensywniej badane i analizowane (Rzymski i wsp., 2014; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016a,b; Wang i wsp., 2017). Głównym celem niniejszej pracy było wykazanie wpływu oddziaływania allelopatycznego pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. na wybrane gatunki nitkowatych sinic bałtyckich poprzez analizę zmian ich liczebności w hodowli oraz fluorescencji chlorofilu *a*.

Materiał i metody

Materiał wykorzystywany w doświadczeniach stanowiły szczepy bałtyckich pikoplanktonowych sinic *Synechococcus* sp. (BA-124) oraz sinic *Geitlerinema amphibium* (BA-13) i *Rivularia* sp. (BA-66), które zostały wyizolowane z naturalnych wód Zatoki Gdańskiej. Obecnie szczepy te, jako monokultury przetrzymywane są w Kolekcji Kultur Glonów Bałtyckich (CCBA) znajdującej się w Pracowni Ekofizjologii Roślin Morskich na Uniwersytecie Gdańskim (Latała i wsp., 2006). Badane organizmy hodowano na sterylnej pożywce mineralnej *f/2* (Guillard, 1975). Pożywki były przygotowywane na bazie wody bałtyckiej o zasoleniu 8 psu, która po dostarczeniu do laboratorium była sączona przez sączki z bibuły szklanej GF/C Whatman. Hodowle wyjściowe przetrzymywane były w stałych warunkach światła PAR (promieniowanie fotosyntetycznie czynne) wynoszącego $10 \mu\text{mol fotonów} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ o fotoperiodzie L:D 16:8 i temperaturze 18°C . Zadane warunki świetlne uzyskano stosując sztuczne źródło światła – lampy halogenowe Philips (OSRAM L 36W/640-1). Pomiarów intensywności promieniowania PAR dokonywano przy pomocy miernika Li Cor, model LI-189 z kolektorem cosinusowym.



Rys. 1. Wykorzystane w pracy szczepy bałtyckich sinic (zdjęcia wykonane przy użyciu mikroskopu świetlnego oraz mikroskopu epifluorescencyjnego): A) *Synechococcus* sp., B) *Rivularia* sp., oraz C) *G. amphibium*

Źródło: oprac. własne.

W celu przeprowadzenia doświadczeń dla zbadania zjawiska allelopatii pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. została wykorzystana metoda „cross-culturing” (Suikkanen i wsp., 2004). W metodzie tej, badanie określające oddziaływanie allelopatyczne było prowadzone poprzez dodanie do hodowli badanych organizmów przesączu uzyskanego z kultury sinicy *Synechococcus* sp. będącej w fazie logarytmicznego wzrostu. Przed rozpoczęciem eksperymentu, pikoplanktonowa sinica przetrzymywana była w optymalnych warunkach do wzrostu. Przesącz ($V=2 \text{ ml}$) pochodził z przefiltrowania kultury pikoplanktonowej sinicy przez sączki z bibuły szklanej Macherey-Nagel MN GF-5 i dodawa-

ny był raz, na początku eksperymentu lub wielokrotnie do 25 ml kolb Erlenmeyera zawierających testowane sinice ($V=20 \text{ ml}$). We wszystkich eksperymentach wyjściowe stężenie chlorofilu *a* w kulturach wynosiło $0,8 \mu\text{g chl } a \text{ ml}^{-1}$. W przypadku doświadczeń z wielokrotnym dodawaniem przesączu, codziennie usuwano z każdej kolby 2 ml zawiesiny komórkowej i dodawano równoważne ilość przesączu w celu zachowania stałej objętości hodowli przez cały czas trwania eksperymentu. W eksperymencie polegającym na wielokrotnym dodawaniu przesączu, wykorzystywany był cały czas ten sam przesącz pobrany pierwszego dnia. Do prób kontrolnych zamiast przesączu dodano pożywkę mi-

neralną $f/2$. Podczas trwania eksperymentu, badane organizmy przetrzymywane były w stałych warunkach światła PAR wynoszącego $10 \mu\text{mol fotonów}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, temperaturze 18°C i zasoleniu 8 psu. Po 1, 3 i 7 dniach ekspozycji badanych nitkowatych sinic określono koncentrację komórek w hodowlach i fluorescencję chlorofilu *a*. Każdy wariant doświadczenia był prowadzony w trzech powtórzeniach, a wyniki eksperymentów zostały przedstawione jako wartość średnia z trzech niezależnych pomiarów.

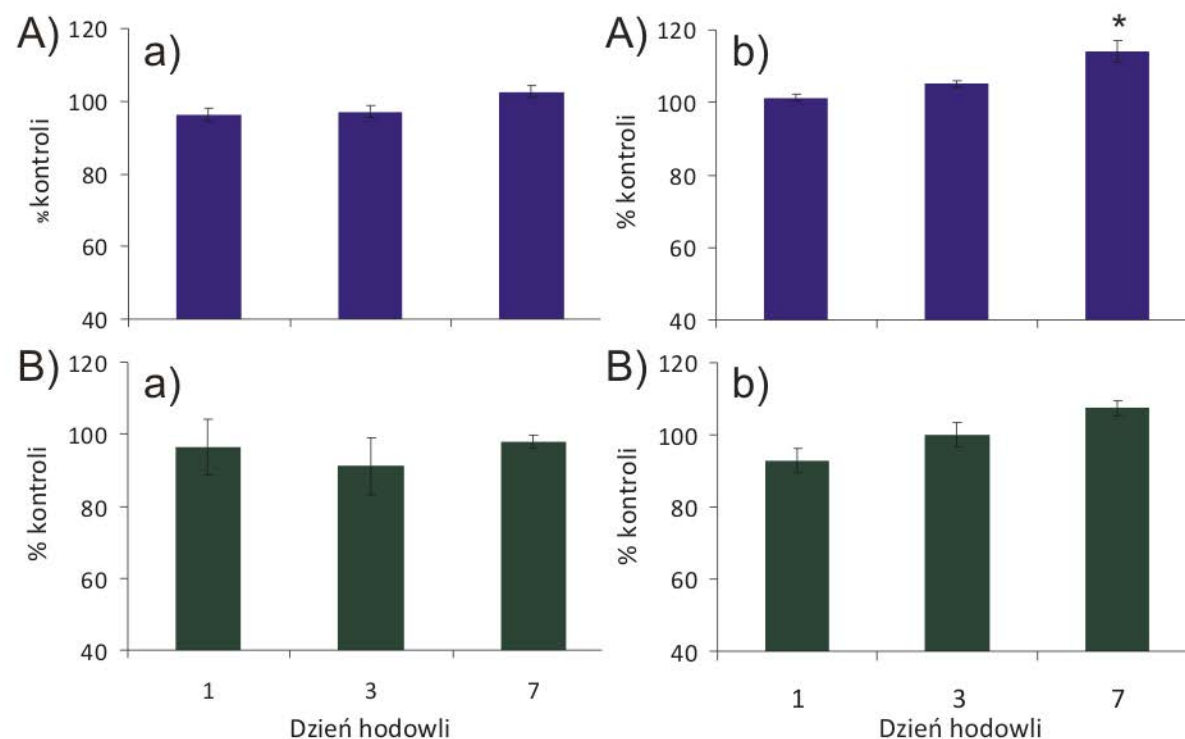
W przeprowadzanych doświadczeniach koncentrację komórek w hodowlach określano przez pomiar jej gęstości optycznej. Uprzednio wyznaczono zależność prostoliniową pomiędzy liczebnością komórek i gęstością optyczną hodowli. Pomiar liczebności komórek badanych organizmów przeprowadzono przy użyciu mikroskopu świetlnego Nikon Eclipse 80i z zastosowaniem komory Bürkera. Równolegle mierzona była gęstość optyczna (OD) na spektrofotometrze UV/Vis Beckman, model DU 530, dla długości fali 750 nm. W przeprowadzonych doświadczeniach do pomiaru fluorescencji zastosowano metodę pulsacyjnej modulacji amplitudy (PAM) przy użyciu fluorymetru Hansatech FSM-1. Przed pomiarami fluorescencji, jednakowe ilości roztworu pobrano z hodowli właściwych i przesączono przez sączki z bibuły szklanej Whatman GF/C. Następnie sączki umieszczane były w odpowiednich tipsach, które dodatkowo zostały pokryte cienką warstwą roztworu pobranego z hodowli sinic w celu zapewnienia środowiska płynnego. Przed rozpoczęciem pomiarów próby były przetrzymywane w ciemności przez około 15 min. W pracy określono maksymalną kwantową wydajność fotosystemu II (F_v/F_m) (Campbell i wsp., 1998). W celu potwierdzenia wpływu przesączu uzyskanego z hodowli sinic na koncentrację organizmów targetowych oraz parametry fluorescencji chlorofilu *a* została wykonana dwuczynnikowa analiza wariancji

(ANOVA) oraz test Tukeya (HSD) ($p > 0,05$) przy użyciu programu komputerowego SSP Statistica® 10.

Wyniki

W pracy przedstawiono liczebność komórek *G. amphibium* i *Rivularia* sp., którą uzyskano po dodaniu pojedynczego i wielokrotnego przesączu otrzymanego z kultur sinicy *Synechococcus* sp. (Rys. 1). W pracy wykazano, że wielokrotnie dodany przesącz uzyskany

z *Synechococcus* sp. powodował stymulację wzrostu sinicy *G. amphibium*. Stwierdzono również, że wraz z wydłużonym czasem ekspozycji na zadany przesącz wzrastała odpowiedź badanej sinicy. W pracy stwierdzono, że ostatniego dnia eksperymentu pod wpływem wielokrotnego dodania przesączu uzyskanego z kultur *Synechococcus* sp., nastąpił wzrost u analizowanej sinicy, który wyniósł 114% w stosunku do kontroli ($p < 0,05$). Natomiast pojedyncze dodanie przesączu nie miało statystycznie istotnego wpływu na liczebność



Rys. 2. Liczebność komórek (% kontroli) dla A) *G. amphibium* i B) *Rivularia* sp. stwierdzona 1, 3 i 7 dnia hodowli z dodatkiem a) pojedynczego i b) wielokrotnego przesączu otrzymanego z kultur sinicy *Synechococcus* sp.

Wartości przedstawiono jako średnie $\pm$ SD przy $n = 3$ powtórzeniach. * – oznacza różnice istotne statystycznie w stosunku do kontroli ($\alpha = 0,05$)

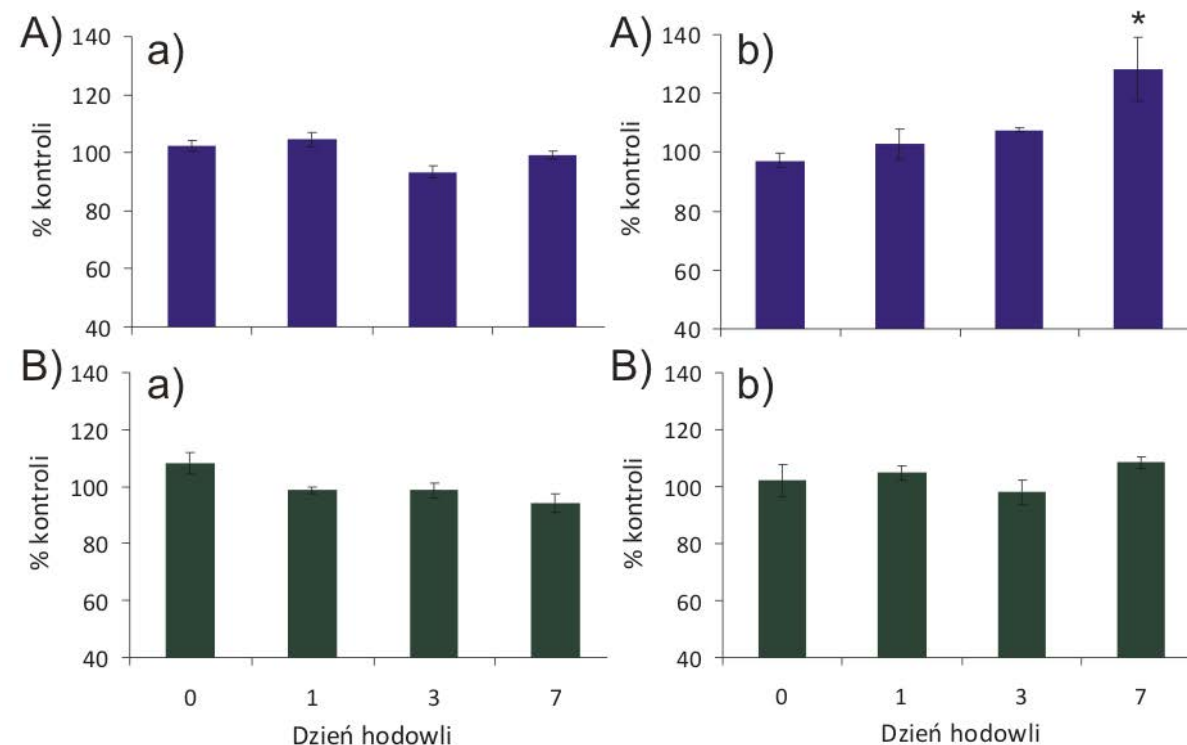
Źródło: oprac. własne.

komórek *G. amphibium* ($p > 0,05$). Z kolei na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zarówno pojedyncze, jak i wielokrotne dodanie przesączu uzyskanego z kultur sinicy *Synechococcus* sp. nie wykazało statystycznie istotnego wpływu na odpowiedź komórek sinicy *Rivularia* sp.

W pracy zbadano również reakcję badanych organizmów (przedstawioną jako % kontroli) uzyskaną dla parametru charakteryzującego maksymalną wydajność kwantową fotosystemu PSII – F_v/F_m w kontroli i doświadczeniach z dodaniem przesączu otrzymanego z kultur *Synechococcus* sp. (Rys. 2). Wyniki uzyskane w niniejszej pracy wskazują, że wielokrotne dodanie przesączu pozyskanego z hodowli *Synechococcus* sp. istotnie wpływało na wartości parametru fluorescencji F_v/F_m u *G. amphibium*. Odnotowano, że analizowany parametr fluorescencji po tygodniu trwania eksperymentu był o 28% wyższy, niż w kontroli ($p < 0,05$). W przypadku pojedynczo dodanego przesączu nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian wartości parametru F_v/F_m ($p > 0,05$). Przeprowadzone doświadczenia wykazały ponadto, że zarówno pojedynczy, jak i wielokrotnie dodawany przesącz uzyskany z *Synechococcus* sp. nie powodował istotnych statystycznie zmian wartości parametru fluorescencji F_v/F_m u *Rivularia* sp. w stosunku do kontroli ($p > 0,05$).

Dyskusja

Oddziaływania pomiędzy różnymi gatunkami sinic poprzez wydzielanie związków allelopatycznych mogą odgrywać znaczącą rolę w środowisku wodnym (Gross, 2003). Uważa się, że oddziaływania allelopatyczne wpływają na występowanie poszczególnych gatunków, sukcesję gatunkową i konkurencję pomiędzy sinicami (Legrand i wsp., 2003). Dotychczas uważano, że allelopatia jest zjawiskiem szczególnie powszech-



Rys. 3. Wartości parametru fluorescencji F_v/F_m (% kontroli) dla A) *G. amphibium* i B) *Rivularia* sp. odnotowane 0 (1godz.), 1, 3 i 7 dnia w doświadczeniach z dodatkiem a) pojedynczego i b) wielokrotnego przesączu otrzymanego z hodowli sinicy *Synechococcus* sp.

Wartości przedstawiono jako średnie $\pm$ SD przy $n = 3$ powtórzeniach. * – oznacza różnice istotne statystycznie w stosunku do kontroli ($\alpha = 0,05$).

Źródło: oprac. własne.

nym u słodkowodnych sinic (Gross, 2003), natomiast ostatnio przedstawiono dowody wskazujące na hamowanie wzrostu organizmów targetowych także przez brakiczne sinice (Suikkanen i wsp., 2004; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016a,b). Mimo, iż występowanie oddziaływania allelopatycznego jest powszechne u wielu przedstawicieli sinic, dokładny efekt działania i charakterystyka wielu wydzielanych przez nie zwią-

ków chemicznych pozostaje wciąż niewystarczająco poznana (Gross, 2003; Legrand i wsp., 2003). Dlatego w pracy podjęto się wykazania wpływu oddziaływania allelopatycznego pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. na współwystępujące gatunki nitkowatych sinic bałtyckich. Ponadto standardowym już podejściem badania zjawiska allelopatii jest analiza zmian liczebności komórek w hodowlach. W niniejszej pracy, oprócz

takiego klasycznego podejścia, zastosowano również nowatorską technikę badawczą, jaką jest analiza zmian fluorescencji chlorofilu *a*, która może być wskaźnikiem kondycji badanych organizmów.

Jak już stwierdzono, najbardziej powszechną metodą określania oddziaływania allelopatycznego jest analiza zmian liczebności organizmów targetowych (Suikkanen i wsp., 2004). W pracy wykazano, że największa stymulacja wzrostu sinicy *G. amphibium* występowała ostatniego dnia eksperymentu i była o 14% wyższa niż w warunkach kontrolnych. Natomiast druga sinica *Rivularia* sp. była praktycznie niewrażliwa na dodany przesącz. Dodatkowo w pracy wykazano, że wielokrotne dodanie przesączu miało większy wpływ na organizmy targetowe, niż przesącz dodany raz, na początku eksperymentu. Uzyskane w pracy wyniki mogą sugerować, że obserwowany efekt jest zbliżony do sytuacji występującej w środowisku naturalnym, gdzie związki allelopatyczne są stale uwalniane do otoczenia (Suikkanen i wsp., 2004; Fistarol i wsp., 2005). Pikoplanktonowe sinice *Synechococcus* sp. odgrywają znaczącą rolę w ekosystemach wodnych, natomiast niewiele jest wiadomo o ich zdolnościach do oddziaływania allelopatycznego. Informacja o aktywności allelopatycznej pikoplanktonowej sinicy z rodzaju *Synechococcus* była opisana przez Śliwińska i wsp. (2011). Autorzy wykonali doświadczenia, które miały na celu wykazanie i porównanie zdolności allelopatycznych 3 szczepów bałtyckiej sinicy *Synechococcus* sp. (BA-120, BA-124 i BA-132) na liczebność zielenicy *Chlorella vulgaris*. Na podstawie uzyskanych danych autorzy stwierdzili, że wszystkie 3 szczepy pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. wykazywały zdolność do oddziaływania allelopatycznego, jednakże szczep BA-124 powodował największą inhibicję wzrostu analizowanej zielenicy *C. vulgaris* (Śliwińska i wsp., 2011). W innej pracy Śliwińska-Wilczewska i wsp. (2016a) wykazali, że dodanie przesączu uzyska-

tego z kultur sinicy *Synechococcus* sp. miało istotny hamujący wpływ na liczebność komórek nitkowatej sinicy *Nodularia spumigena*. Dotychczasowe doniesienia literaturowe sugerują, że również niektóre nitkowate sinice zdolne są do produkowania wtórnych metabolitów, które wpływają na wzrost innych gatunków sinic. Schagerl i wsp. (2002) wykazali, że ekstrakt pochodzący z sinicy *Anabaena torulosa* hamował wzrost sinic *Pseudocapsa* sp. i *Nostoc* sp., natomiast zielenica *Klebsormidium* sp. była niewrażliwa na zadany ekstrakt. Badania przeprowadzone przez Suikkanen i wsp. (2005) wykazały, że takie sinice bałtyckie jak *N. spumigena*, *Anabaena* sp. i *Aphanizomenon* sp. wywierały wpływ na naturalny zespół fitoplanktonu, w którego skład wchodziły również sinice. Autorzy ci zanotowali np. stymulujący wpływ organizmów donorowych, czyli takich, które zdolne są do produkcji aktywnych związków allelopatycznych, na wybrane gatunki sinic, ale równocześnie inne mikroglony były znacząco hamowane. Liczebność *Snowella* sp. i *Pseudanabaena* sp. były znacząco wyższe we wszystkich eksperymentach z dodaniem przesączu sinic, niż w kontroli. Dodanie przesączu z *N. spumigena* znacząco zwiększyło liczebność *N. spumigena* i *Anabaena* spp. Z kolei przesącz z *Aphanizomenon* sp. powodował 50-krotny wzrost liczebności komórek *Aphanizomenon* sp. w zespołach fitoplanktonu w porównaniu z kontrolą. Na podstawie uzyskanych wyników Suikkanen i wsp. (2005) wykazali, że sinice mogą w różnicowany sposób wpływać na naturalne zbiorowisko fitoplanktonu. Nie jest wiadomo dokładnie jaki jest mechanizm aktywności stymulującej, natomiast autorzy uważają, że sinice są zdolne do wydzielania autostymulatorów, których zadaniem jest szybszy rozwój tych samych gatunków lub gatunków spokrewnionych i ich dominacja w środowisku. W naturalnych zespołach wiele współwystępujących gatunków mogło wykształcić mechanizmy ochronne przeciwko hamującym

metabolitom sinic, a nawet czerpać z nich korzyści. Wskazuje na to fakt, że niektóre grupy organizmów wykazują wzajemną tolerancję na związki allelopatyczne, co może być wynikiem koewolucji podczas ich współistnienia w danym ekosystemie wodnym (Suikkanen i wsp., 2004).

Kolejnym możliwym oddziaływaniem związków allelopatycznych jest ich wpływ na aktywność fotosyntetyczną organizmów targetowych. Analiza parametrów fluorescencji chlorofilu *a* pozwala oceniać aktywność fotosyntetyczną, co jest szczególnie przydatne podczas określania oddziaływania allelopatycznego na fotoautotrofy. Pomiary fluorescencji są przydatnym narzędziem w badaniach ekofizjologicznych organizmów roślinnych. W znacznej części zastępują one konwencjonalne pomiary intensywności fotosyntezy i są wysoce czułą metodą badania reakcji fotosyntetycznych roślin (Murkowski, 2004). Pomiary fluorescencji chlorofilu *a* są całkowicie nieinwazyjne i pozwalają badać fotosyntezę, co jest szczególnie przydatne w sytuacjach oddziaływania na rośliny różnych czynników, które mogą wpływać na ich fizjologię, w tym również oddziaływań allelopatycznych (Prince i wsp., 2008). W niniejszej pracy badano wpływ oddziaływania allelopatycznego sinic *Synechococcus* sp. na parametr fluorescencji chlorofilu *a*: F_v/F_m określający maksymalną wydajność kwantową PSII w ciemności. W pracy wykazano wzrost wartości parametru fluorescencji F_v/F_m u sinicy *G. amphibium* pod wpływem dodania przesączu z hodowli *Synechococcus* sp. Dane literaturowe wskazują, że związki allelopatyczne wydzielane przez sinice mogą wpływać na proces fotosyntezy, a szczegółowe badania wykazały, że działają one głównie na fotosystem II (PSII). W swojej pracy Issa (1999) przedstawił hamujący efekt działania antybiotyku produkowanego przez *Oscillatoria* sp. i *Calothrix* sp. na tempo wzrostu i fotosyntezę zielenicy *Chlorella fusca*. Bardziej szczegółowe badania przepro-

wadzili Prince i wsp. (2008), którzy analizowali wpływ bruzdnicy *Karenia brevis* na wydajność fotosyntetyczną na podstawie parametru fluorescencji F_v/F_m u badanych organizmów targetowych (*Akashiwo* cf. *sanguinea*, *Amphora* sp., *Asterionellopsis glacialis*, *Prorocentrum minimum* i *Skeletonema costatum*). Hamowanie wydajności fotosyntetycznej przez ekstrakt uzyskany z *K. brevis* pokrywał się z negatywnym wpływem na wzrost badanych organizmów targetowych. Odwrotną zależność, która może wskazywać na działania stymulujące w przeciwieństwie do inhibitującego odnotowano również w niniejszej pracy dla *G. amphibium*. Z uwagi na czułość i szybkość tej metody, uważa się, że pomiar wydajności fotosystemu PSII może także dostarczać informacji o tym, kiedy badane organizmy są najbardziej podatne na oddziaływanie allelopatyczne. Uważa się, że różny efekt działania związków allelopatycznych może być spowodowany różną wrażliwością testowanych gatunków (Mulderij i wsp., 2003) i może wyjaśniać dominację niektórych gatunków pikoplanktonowych sinic nad pozostałymi organizmami fitoplanktonowymi.

W środowisku naturalnym istnieje wiele czynników, które mogą równocześnie oddziaływać na organizm (Gross, 2003). Jednakże niewiele czynników środowiskowych było badanych pod kątem ich wpływu na produkcję związków allelopatycznych, dlatego rozpoznanie takie jest nadal dość słabo poznane. Uważa się, że czynniki abiotyczne i biotyczne mogą wpływać na produkcję związków allelopatycznych. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań można stwierdzić, że głównymi czynnikami środowiskowymi, które wpływają na rozwój sinic są: natężenie światła, temperatura, dostępność soli odżywczych oraz zasolenie (Legrand i wsp., 2003; Antunes i wsp., 2012; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016b). Powszechnie istnieje przekonanie, że organizmy targetowe mogą być bardziej wrażliwe na związki allelopatyczne pod

wpływem czynników stresowych, a organizmy donorowe mogą w takiej sytuacji zwiększać ich produkcję. Jednakże istnieją również prace, w których największe oddziaływanie allelopatyczne zanotowano u organizmów będących pod wpływem optymalnych dla wzrostu czynników środowiskowych (Antunes i wsp., 2012; Śliwińska-Wilczewska i wsp., 2016b). W niniejszej pracy do badań wykorzystano organizmy, hodowane w optymalnych warunkach i będące w fazie logarytmicznego wzrostu. Wzrost oddziaływania allelopatycznego pikoplanktonowych sinic w optymalnych warunkach środowiskowych może mieć istotne znaczenie w dobie pojawiających się problemów związanych ze wzrostem eutrofizacji, czy ocieplaniem się klimatu.

Skład a szczególnie jakość biomasy fitoplanktonu ma podstawowe znaczenie dla funkcjonowania sieci troficznej ekosystemów wodnych. Zjawisko allelopatii może być formą oddziaływań konkurencyjnych i jest wykorzystane do wyjaśnienia dominacji niektórych gatunków sinic nad pozostałymi organizmami fitoplanktonowymi (np. Antunes i wsp., 2012; Rzymiski i wsp., 2014). Stąd uważa się, że czynniki, które powodują wzmożenie oddziaływań allelopatycznych mogą również zmieniać proporcje pomiędzy organizmami donorowymi a targetowymi, które występują w tym samym zbiorniku wodnym. Jednakże na chwilę obecną zbyt mało jest wiadomo o roli zjawiska allelopatii w środowisku wodnym. Dlatego tak ważne jest dostarczanie nowych informacji na temat sposobu i zakresu działania związków allelopatycznych, aby móc w przyszłości lepiej zrozumieć przewagę sinic nad innymi producentami pierwotnymi w wielu zbiornikach wodnych.

Podziękowania: Autorzy pragną podziękować anonimowym Recenzentom za wszelkie sugestie i uwagi, które przyczyniły się do poprawy niniejszej pracy. Artykuł został sfinansowany z grantu BMN numer 538-G245-B211-16 oraz grantu BMN numer 538-G245-B568-17.

Literatura

- Antunes JT, Leão PN, Vasconcelos VM, (2012). Influence of Biotic and Abiotic Factors on the Allelopathic Activity of the Cyanobacterium *Cylindrospermopsis raciborskii* Strain LEGE 99043. *Microbial Ecology* 64: 584-592.
- Campbell D, Hurry V, Clarke AK, Gustafsson P, Öquist G, (1998). Chlorophyll fluorescence analysis of cyanobacterial photosynthesis and acclimation. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*. 62 (3): 667-683.
- Fistarol GO, Legrand C, Granéli E, (2005). Allelopathic effect on a nutrient-limited phytoplankton species. *Aquatic Microbial Ecology*. 41: 153-161.
- Granéli E, Weberg M, Salomon PS, (2008a). Harmful algal blooms of allelopathic microalgal species: The role of eutrophication. *Harmful Algae*. 8: 94-102.
- Granéli E, Salomon PS, Fistarol GO, (2008b). The role of allelopathy for harmful algal bloom formation. W: Evangelista V, Barsanti L, Frassanito A, Passarelli V, Gualtieri P, red. *Algal Toxins: Nature, Occurrence, Effect and Detection*. NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology, Springer, Netherlands, str. 159-178.
- Gross EM, (2003). Allelopathy of Aquatic Autotrophs. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22: 313-339.
- Guillard RRL, (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. W: Smith WL, Chanley MH, red. *Culture of Marine Invertebrate Animals*. Plenum press, New York, USA, str. 26-60.
- Issa AA, (1999). Antibiotic production by the cyanobacteria *Oscillatoria angustissima* and *Calothrix parietina*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 8: 33-37.
- Larsen A, Bryant S, (1998). Growth and toxicity in *Prymnesium parvum* and *Prymnesium patelliferum* (Haptophyta) in response to changes in salinity, light and temperature. *Sarsia* 83: 409-418.
- Latała A, Jodłowska S, Pniewski F, (2006). Culture Collection of Baltic Algae (CCBA) and characteristic of some strains by factorial experiment approach. *Archiv für Hydrobiologie* 165, Algological Studies. 122: 137-154.
- Legrand C, Rengefors K, Fistarol GO, Granéli E, (2003). Allelopathy in phytoplankton – biochemical, ecological and evolutionary aspects. *Phycologia*. 42 (4): 406-419.
- McClintock JB, Baker BJ, (2001). Marine Chemical Ecology. *Series in Marine Science*. (CRC Press: London. United Kingdom).
- Mulderij G, Van Donk E, Roelofs GM, (2003). Differential sensitivity of green algae to allelopathic substances from Chara. *Hydrobiologia*. 491: 261-271.
- Murkowski A, (2004). Zastosowanie luminescencji chlorofilu do badania reakcji paratu fotosyntetycznego roślin pomidora na stres świetlny oraz chłód. *Acta Agrophysica* 4: 431-439.

- Paz-Yepes J, Brahamsha B, Palenik B, (2013). Role of a Microcin-C-like biosynthetic gene cluster in allelopathic interactions in marine *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110: 12030-12035.
- Prince EK, Myers TL, Kubanek J, (2008). Effects of harmful algal blooms on competitors: Allelopathic mechanisms of the red tide dinoflagellate *Karenia brevis*. *Limnology and Oceanography*. 53: 531-541.
- Rzymiski P, Poniedziałek B, Kokociński M, Jurczak T, Lipski D, Wiktorowicz K, (2014). Interspecific allelopathy in cyanobacteria: cylindrospermopsin and *Cylindrospermopsis raciborskii* effect on the growth and metabolism of *Microcystis aeruginosa*. *Harmful Algae* 35: 1-8.
- Schagerl M, Unterrieder I, Angeler DG, (2002). Allelopathy among Cyanoprokaryota and Other Algae Originating from Lake Neusiedlersee (Austria). *International Review of Hydrobiology*. 87: 365-374.
- Suikkanen S, Fistarol GO, Granéli E, (2004). Allelopathic effects of the Baltic Cyanobacteria *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 308: 85-101.
- Suikkanen S, Fistarol GO, Granéli E, (2005). Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community. *Marine Ecology Progress Series*. 287: 1-9.
- Śliwińska S, Jodłowska S, Latała A, (2011). Ekofizjologiczne i allelopatyczne właściwości pikoplanktonowej sinicy *Synechococcus* sp. *Acta Geographica Silesiana*. 1: 63-66.
- Śliwińska-Wilczewska S, Pniewski F, Latała A, (2016a). Allelopathic interactions between *Synechococcus* sp. and *Nodularia spumigena* under different light conditions. *Allelopathy Journal* 37: 241-252.
- Śliwińska-Wilczewska S, Pniewski F, Latała A, (2016b). Allelopathic activity of the picocyanobacterium *Synechococcus* sp. under varied light, temperature and salinity conditions. *International Review of Hydrobiology* 101: 69-77.
- Uchida T, (2001). The role of cell contact in the life cycle of some dinoflagellate species. *Journal of Plankton Research*. 23: 889-891.
- Wang L, Zi J, Xu R, Hilt S, Hou X, Chang X, (2017). Allelopathic effects of *Microcystis aeruginosa* on green algae and a diatom: Evidence from exudates addition and co-culturing. *Harmful Algae* 61: 56-62.
- Yang WD, Xie J, van Rijssel M, Li HY, Liu J.S, (2010). Allelopathic effects of *Alexandrium* spp. on *Prorocentrum donghaiense*. *Harmful Algae* 10: 116-120.
- Żak A, Kosakowska A, (2015). The influence of extracellular compounds produced by selected Baltic cyanobacteria, diatoms and dinoflagellates on growth of green algae *Chlorella vulgaris*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 167: 113-118.

Allelopathic effects of picocyanobacterium *synechococcus* sp. on filamentous cyanobacteria *geitlerinema amphibium* and *rivularia* sp.

Jakub Maculewicz, Sylwia Śliwińska-Wilczewska, Adam Latała

Allelopathy may be one of the key factors contributing to the dominance of certain species of cyanobacteria in the aquatic environment. In this study the influence of allelopathic activity on the cyanobacteria *Geitlerinema amphibium* and *Rivularia* sp. was investigated by the addition of cell-free filtrate of picocyanobacterium *Synechococcus* sp. These studies indicate that the picocyanobacterium affect *G. amphibium* positively. It was examined that the *Synechococcus* sp. reveals allelopathic activity on the fluorescence which results in the stimulation of growth of analyzed cyanobacterium. The effects on *G. amphibium* were amplified by repeated filtrate additions compared to a single filtrate addition for the growth and fluorescence parameter Fv/Fm. At the seventh day of experiment, after addition the filtrate obtained from the picocyanobacterium, the maximum response of *G. amphibium* was 114% for growth and 128% for Fv/Fm. Moreover, the study showed that *Synechococcus* sp. had no allelopathic effect on *Rivularia* sp. The results suggest that different species of cyanobacteria are characterized by varying sensitivity to the allelochemicals produced by the *Synechococcus* sp., which can influence the succession of phytoplankton in the aquatic environment.

Key words: allelopathy, growth, chlorophyll *a* fluorescence, cyanobacteria

Niezwyczajny sposób pozyskiwania azotu przez rośliny mięsożerne

Magdalena Zboińska

DOI: 10.24131/3247.170202

Streszczenie:

Rośliny mięsożerne zasiedlają gleby ubogie w azot. Aby uzupełniać niedobory tego pierwiastka, w toku ewolucji wykształciły silnie wyspecjalizowane liście pułapkowe, których funkcją jest przywabianie, zabijanie i trawienie owadów oraz innych bezkręgowców. W wyniku rozkładu ich ciał do pułapki uwalniane są proste związki azotu, które mogą zostać zaabsorbowane przez roślinę. W trawieniu ofiary gatunki mięsożerne są niekiedy wspomagane przez organizmy symbiotyczne zamieszkujące ich pułapki. Celem niniejszej pracy jest opisanie przystosowań anatomicznych, morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych, umożliwiających roślinom mięsożernym pozyskiwanie azotu z ciał zwierząt.

Słowa kluczowe: pułapki roślin mięsożernych, enzymy, trawienie pokarmu, absorpcja, symbioza, *Nepenthes*, *Sarracenia*, *Dionaea*, *Drosera*, *Utricularia*, *Genlisea*, *Roridula*

otrzymano: 18.04.2017; przyjęto: 5.05.2017; opublikowano: 16.08.2017



mgr Magdalena Zboińska: Zakład Fizjologii Molekularnej Roślin, Instytut Biologii Eksperymentalnej, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Wrocławski

Wprowadzenie

Rośliny mięsożerne, podobnie jak orchidee, fascynują ludzi od lat. Z jednej strony, zaburzają one naturalnie przyjęte założenie, zgodnie z którym drapieżnik kojarzy się z polującym na sawannie lwem lub sporych rozmiarów pająkiem, a nie niewielką, często niedorastającą do 10 cm rośliną. Z drugiej strony, o mucholówce (*Dionaea*) czy rośliczce (*Drosera*) słyszało niemal każde dziecko, a więc tego typu sprytne przystosowanie się roślin do środowiska ubogiego w azot nie powinno współcześnie nikogo dziwić (Johnson, 2005). Wyrazem wieloletniej fascynacji ludzi mięsożernymi gatunkami roślin, jest niezwykle często cytowane zdanie jednego z najsłynniejszych biologów w historii – Charles’a Darwina. W swoim dziele „Insectivorous Plants” z 1875 roku określił on rośliny mięsożerne jako „jedne z najbardziej cudownych roślin na świecie”. Temat mięsożerności u roślin zainspirował później kolejne pokolenia badaczy (Adamec, 2010; Krasuska i wsp., 2012; Król i wsp., 2012).

Do roślin mięsożernych zalicza się około 650-700 gatunków roślin naczyniowych, zarówno jedno-, jak i dwuliściennych (Adamec, 2010; Krasuska i wsp., 2012). Żyją one na glebach kwaśnych, bezwapiennych, o dużej wilgotności, często wręcz podmokłych: na bagnach, torfowiskach, wilgotnych wrzosowiskach, w borach bagiennych, na stokach górskich w pobliżu strumieni, w strefach przybrzeżnych mórz i oceanów. Jedynie nieliczne gatunki przystosowały się do wzrostu na suchych pustynnych glebach, skalistych klifach lub do epifitycznego trybu życia. Osobną grupę stanowią rośliny wodne, takie jak pływacz (*Utricularia*) i aldrowanda pęcherzykowata (*Aldrovanda vesiculosa*), zasiedlające oligotroficzne i dystroficzne wody stojące (Johnson, 2005; Król i wsp., 2012).

Duża wilgotność środowiska, w jakim występują gatunki mięsożerne, wiąże się z niską zawartością tlenu w glebie i jej niskim potencjałem redoks (Adamec, 2010). Czynniki te hamują aktywność mikroorganizmów glebowych, a w konsekwencji przebieg prowadzonych przez nie procesów rozkładu i mineralizacji materii organicznej. W ich wyniku do gleby uwalniane są proste związki nieorganiczne, które mogą zostać pobrane przez korzenie roślin (Miller i Cramer, 2004; Lambers, 2008). Sprawia to, że poza azotem, także inne makro- i mikroelementy są dla roślin mięsożernych dostępne jedynie w ograniczonej ilości (Adamec, 2010). Ponadto, między innymi w związku z hipoksją panującą w glebie, system korzeniowy roślin mięsożernych jest słabo rozwinięty (Karagatzides i wsp., 2009; Adamec, 2010) i zdarza się, że występuje tylko przez pewien okres roku (Krasuska i wsp., 2012). Dlatego znaczną część substancji mineralnych gatunki mięsożerne pozyskują dzięki przekształconym w pułapki liściom. W zależności od gatunku i warunków środowiska, z ciał ofiar może pochodzić od 10% do ponad 90% azotu obecnego w roślinie (Johnson, 2005). Stwierdzono też, że tą drogą rośliny mięsożerne pozyskują znaczne ilości fosforu i potasu oraz siarkę, wapń, magnez, sód, mangan i żelazo (Adamec, 2010; Krasuska i wsp., 2012). Co ciekawe, adaptacje umożliwiające roślinom pobieranie składników mineralnych poprzez wyspecjalizowane liście, rozwinęły się niezależnie od siebie pięć- (Krasuska i wsp., 2012) lub sześciokrotnie (Mithöfer, 2011) w czasie ewolucji.

Wabienie i łapanie zdobyczy

Liście roślin mięsożernych są silnie wyspecjalizowane i przekształcone w pułapki łapiące zdobycz. Do pułapek rośliny przywabiają swoje ofiary zapachem, słodkim nektarem, kolorem, czy wzorami widocznymi



Fot. 1. Pokryte śluzem liście tłustosza (*Pinguicula*).

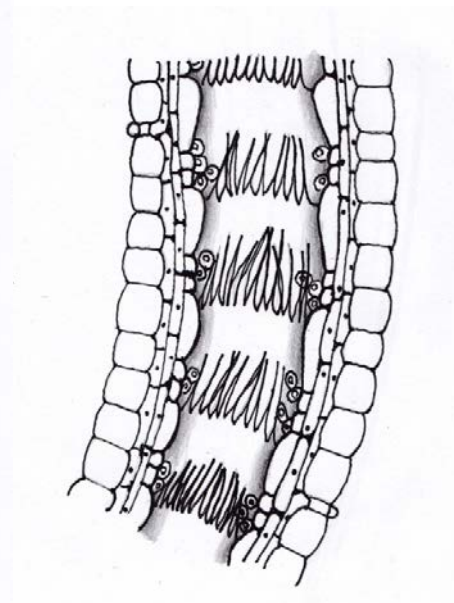
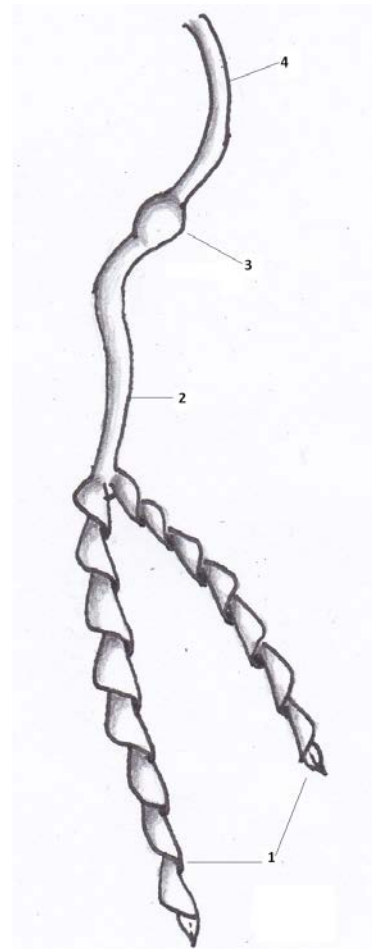
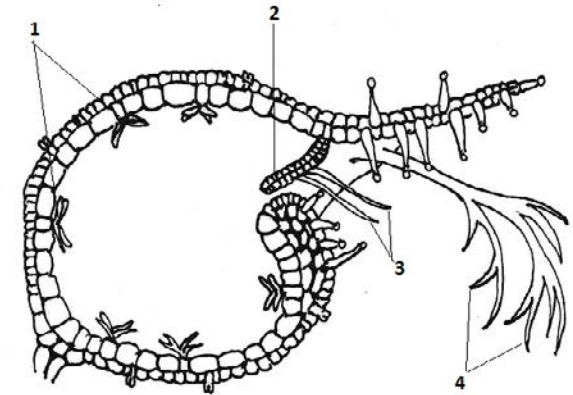


Fot. 2. Krople kleistej substancji na włoskach liści pułapkowych rosiczki okrągłolistnej (*Drosera rotundifolia*)

Rys. 1. Przekrój podłużny przez pęcherzyk pułpkowy pływacza zwyczajnego (*Utricularia vulgaris*)

1 – czteroramienne gruczoły trawienne, które wydzielają enzymy oraz wchłaniają strawiony pokarm, 2 – klapka zamykająca wejście do pułapki, 3 – włoski czuciowe na klapce, 4 – „czułki” wskazujące ofierze drogę do pułapki.

Na podstawie Podbielkowski i Podbielkowska (1992).



Rys. 2. Podziemny liść żenlisei (*Genlisea*) przekształcony w pułapkę

Po lewej pokrój ogólny liścia pułapkowego (1 – skręcone ramiona, 2 – szyjka, 3 – komora trawiąca, 4 – ogonek liściowy), po prawej przekrój przez liść ukazujący skierowane w stronę komory trawiącej włoski.

Na podstawie Podbielkowski i Podbielkowska (1992).



Fot. 3. Pułapki typu wilczych dołów: po lewej u dzbanecznika (*Nepenthes*), po prawej u kaptownicy żółtej (*Sarracenia flava*) we wrocławskim Ogrodzie Botanicznym

w świetle UV (Król i wsp., 2012). Choć wygląd i mechanizm działania pułapki jest charakterystyczny dla danego gatunku rośliny, łączy je wspólna cecha: złapane zwierzęta, najczęściej bezkręgowce, mają bardzo utrudnioną drogę ucieczki. U rosolistnika (*Drosophyllum*) i byblisa (*Byblis*) występują pułapki przyklejające ofiarę działające w sposób bierny. Ich gruczoły produkują lepka wydzielinę, do której owady i inne bezkręgowce przyklejają się jak do lepu na muchy. Potrafią one zabi-

jać zwierzęta bardzo wydajnie – jedna roślina rosolistnika jest w stanie złapać dziennie ponad 200 owadów (Podbielkowski i Podbielkowska, 1992). Podobny mechanizm występuje u rosziczek i tłustoszy (*Pinguicula*). W ich przypadku zwierzęta są nie tylko unieruchamiane przez kleistą ciecz, ale także szamocząc się i pobudzając chemicznie obecne na liściu receptory, wywołują zwijanie się blaszki liściowej (u tłustoszy, Fot. 1) lub ruch produkujących śluz włosków, które zaginając się otacza-

ją ofiarę (u rosziczki, Fot. 2). Śluz zamyka system tchawek ofiary utrudniając wymianę gazową. Ruch blaszki liściowej, związany ze złapaniem ofiary, występuje także u mucholówki wytwarzającej pułapki zatraskowe. Jej pułapka składa się z dwóch kłapek (dwóch części blaszki liściowej przedzielonej nerwem głównym), na brzegach których znajdują się ząbki. Po pobudzeniu włosków czuciowych znajdujących się na powierzchni liścia, dochodzi do zbliżenia się do siebie dwóch jego połówek, co uniemożliwia zwierzęciu ucieczkę. Proces ten jest niezwykle szybki, gdyż bazuje na mechanizmie turgorowym, tak jak ruchy liści mimozy (Podbielkowska i Podbielkowska, 1992; Schulze i wsp., 2012). Pułapki zbudowane z dwóch szybko zamykających się kłapek występują także u aldrowandy pęcherzykowatej. Inny wodny gatunek, jakim jest pływacz, posiada natomiast pułapki zasysające ofiarę z mechanizmem zapadkowym (Rys. 1). Każda pułapka zbudowana jest z pęcherzyka zamykanego pokrytą włoskami czuciowymi kłapką, która otwiera się wyłącznie do wnętrza pułapki. Po potrąceniu jednego z włosków, klapka otwiera się i zwierzę zostaje wessane wraz z wodą do pierwotnie pustej pułapki, po czym wieczko ulega zamknięciu. Drobne skorupiaki, które zazwyczaj padają ofiarą pływacza, giną w pęcherzyku bardzo szybko, w momencie wyczerpania zawartego w nim tlenu, a dopiero potem zostają strawione przez wydzielane do pułapki enzymy. Żenlisea (*Genlisea*), będąca rośliną bagienną, wytwarza dwa typy liści: nadziemne przeprowadzające proces fotosyntezy oraz podziemne/podwodne przekształcone w pułapki typu koszy łownych (Rys. 2). Są to długie, rurkowate, skręcone struktury przypominające labirynt, do którego dostają się pierwotniaki, ale nie znajdują drogi wyjścia, gdyż pokrywające od wewnątrz pułapkę włoski skierowane są wyłącznie w stronę trawiącej zdobycz komory. Ostatni rodzaj stanowią pułapki w formie dzbanków (u dzbaneczników (*Nepenthes*, Fot. 3, po

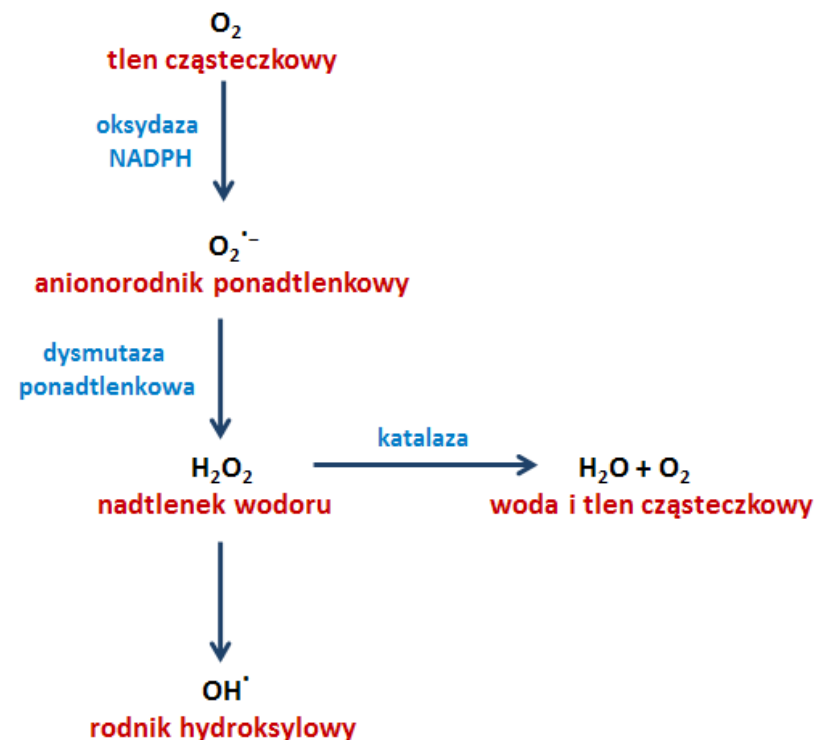
lewej), cefalotusa bukłakowatego (*Cephalothus follicularis*) lub kielichów (występujące w rodzinie kapturkowatych: u kapturnicy (*Sarracenia*, Fot. 3, po prawej) i darlingtonii kalifornijskiej (*Darlingtonia californica*), do których zwierzęta po prostu wpadają (tzw. pułapki typu wilczych dołów). Wyjście z tych struktur utrudnia tzw. strefa ześlizgu, pokryta grubą warstwą wosku lub skierowanymi w dół wyrostkami, włoskami lub zgrubieniami woskowymi o księżycowatym kształcie. Ponadto, ofiary topią się w płynie zmagazynowanym na dnie naczynia (Podbielkowski i Podbielkowska, 1992; Johnson, 2005; Adamec, 2010; Król i wsp., 2012). Płyn ten jest lepki, co utrudnia bezkręgowcom poruszanie się. W jego skład wchodzi też niekiedy surfaktanty – substancje powierzchniowo czynne, które poprzez obniżanie napięcia powierzchniowego cieczy w pułapce przyspieszają proces topienia ofiary (Gaume i Forterre, 2007; Bonhomme i wsp., 2011; Adlassnig i wsp., 2011). Co ciekawe, u darlingtonii kalifornijskiej surfaktanty ułatwiające topienie bezkręgowców są produkowane przez bakterie symbiotyczne (Armitage, 2016).

Trawienie pokarmu

Aby wykorzystać azot zawarty w ciałach zwierząt, rośliny mięsożerne muszą przekształcić obecne w ofierze złożone związki organiczne w substancje prostsze, takie jak aminokwasy i jony amonowe (Rys. 4), które mogą zostać zaabsorbowane przez specjalne gruczoły obecne wewnątrz pułapki. Gruczoły te pełnią jeszcze jedną funkcję. Produkują i wydzielają enzymy niezbędne do trawienia zdobyczy: proteazy, esterazy, amylazy, chitynazy, glikozydazy, kwaśne i alkaliczne fosfatazy, peroksydazy, nukleazy i inne enzymy (Moran i wsp., 2010; Krasuska i wsp., 2012; Shulze i wsp., 2012; Biteau i wsp., 2013; Rottloff i wsp., 2016). Choć zarówno chityna, jak i kwasy nukleinowe są biopolimerami zawie-

Rys. 3. Uproszczony schemat powstawania reaktywnych form tlenu (na podstawie prac cytowanych w tekście)

Przy strzałkach umieszczono nazwy enzymów katalizujących dany proces.



rającymi azot, dla roślin mięsożernych najważniejszym źródłem tego pierwiastka pozostają białka, stąd obecność proteaz jest niezwykle istotna.

Już kilkadziesiąt lat temu w płynie wypełniającym dzbanki *Nepenthes* wykryto aktywność dwóch proteaz aspartylowych: endopeptydazy nepentesyny I oraz egzopeptydazy nepentesyny II (Takahashi i wsp., 2009). U *N. ventricosa*, obecne są także proteazy cysteinowe (Eilenberg i Zilberstein, 2008). Proteazy aspartylowe dzbanecznika, a także proteazy innych gatunków roślin mięsożernych, jak rosziczki czy mucholówki, wykazują największą aktywność w kwaśnym pH (w przedziale 2 – 4, w zależności od enzymu) oraz w wysokiej tempera-

turze (42 – 57 °C). Ponadto charakteryzują się znaczną termostabilnością (An i wsp., 2002a; Eilenberg i Zilberstein, 2008; Takahashi i wsp., 2009). Długo aktywne pozostają też wyizolowane z pułapek dzbanecznika RNazy (Adlassnig i wsp., 2011). Jest to przejawem doskonałego przystosowania się roślin do zmiennych warunków środowiska i dużych wahań temperatury w pułapkach, które nierzadko nagrzewają się w ciągu dnia w promieniach słońca.

Obok enzymów hydrolitycznych w rozkładzie materii organicznej biorą udział reaktywne formy tlenu (ROS, ang. *reactive oxygen species*) (Rys. 3). W dzbankach *Nepenthes gracilis* stwierdzono obecność rodni-

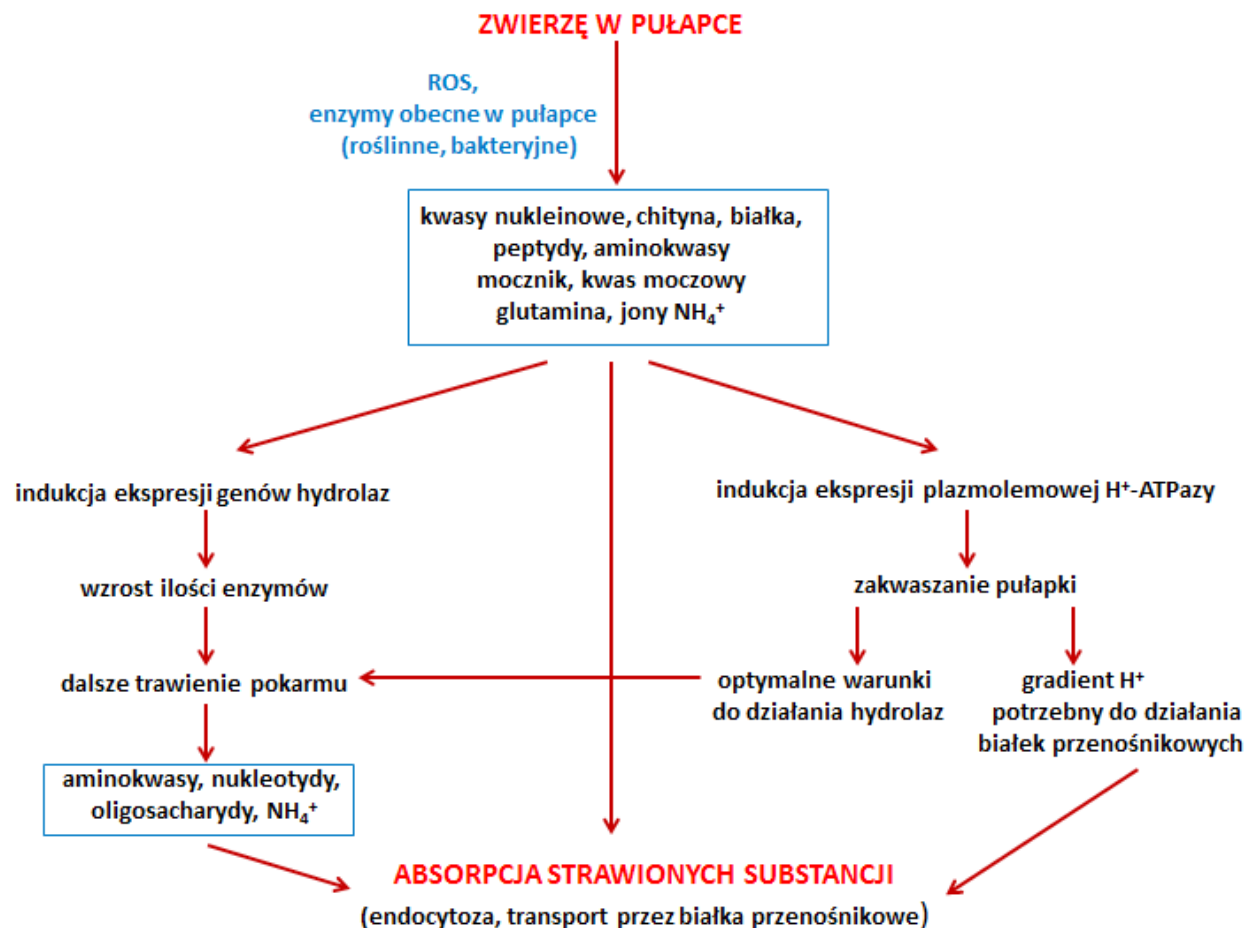
ków hydroksylowych (OH[•]), które muszą powstawać na drodze rozkładu nadtlenu wodoru, ponieważ ich produkcja jest hamowana po dodaniu do pułapki katalazy, enzymu rozkładającego H₂O₂ (Chia i wsp., 2004). W pułapkach *Genlisea* silnej ekspresji ulegają natomiast dwa geny kodujące oksydazy NADH. Enzymy te odpowiadają za produkcję anionorodników nadtlennokowych (O₂^{•-}). Jako cząsteczki niestabilne, ulegają one szybko przekształceniu do nadtlenu wodoru, który mógłby być wydzielany i ułatwiać proces trawienia (Cao i wsp. 2015). Proces ten nazywany jest dysmutacją i jest on katalizowany przez enzym – dysmutazę nadtlennokową (Jakubowska i wsp., 2015). Przemiany reaktywnych form tlenu przedstawiono na Rysunku 3.

Zbadano, że ROS są intensywne wydzielanie zaraz po otwarciu pułapki. Sugeruje się, że mogą one paraliżować lub zabijać bezkręgowce, ale przede wszystkim ułatwiają proces rozkładu białek dzięki ich wcześniejszemu utlenianiu (Chia i wsp., 2004). Ponadto, przypuszczalnie, rolę tych cząsteczek jest szybka, wstępna degradacja ciała zwierzęcia. W jej wyniku uwolnione zostają niskocząsteczkowe związki azotu, przede wszystkim jony NH₄⁺, ale także mocznik, kwas moczowy czy glutamina z hemolimfy owadów. Substancje te pobudzają zakwaszanie pułapki oraz syntezę specyficznych enzymów hydrolitycznych odpowiedzialnych za dalsze procesy rozkładu (An i wsp., 2001, Król i wsp., 2012) (Rys. 4). Jony amonowe wpływają m. in. na wzrost ilości transkryptu genu *NaPHA3* kodującego plazmolemową H⁺-ATPazę *Nepenthes alata*. Białko to, wyrzucając protony do wnętrza pułapki zakwasza ją, tworząc środowisko o pH optymalnym dla działania proteaz (Rys. 4). Dlatego młode dzbanki *N. alata* cechuje pH soku w granicach 4,9, lecz po złapaniu ofiary ich pH spada do około 3 (An i wsp., 2001). Podobnie, choć w pułapkach *Sarracenia purpurea* i *N. alata* stwierdzono obecność hydrolaz jeszcze przed

ich otwarciem, po złapaniu ofiary ekspresja kodujących je genów wzrasta (An i wsp., 2002a; Eilenberg i Zilberstein, 2008). Natomiast wśród genów kodujących endochitynazy u *Nepenthes khasiana*, dwa ulegają stałej ekspresji, a geny dwóch pozostałych endochitynaz są indukowane dopiero pod wpływem dodania do pułapki chityny (Eilenberg i wsp., 2006) (Rys. 4). Obserwowany mechanizm wydzielania enzymów i protonów dopiero po złapaniu zwierzęcia jest ekonomicznie korzystny dla rośliny. Ogranicza on i tak wysokie koszty związane z rozwojem i utrzymaniem liści pułapkowych i pozwala na niezależne działanie każdej z wytworzonych pułapek, w zależności od ich wieku czy obecności ofiary. Analogicznie, by zaoszczędzić energię, rośliny mięsożerne nie wykształcają licznych pułapek, jeżeli w glebie znajduje się wystarczająca zawartość związków azotu (Eilenberg i Zilberstein, 2008).

Warto nadmienić, że niekiedy proces trawienia jest wspomagany przez enzymy pochodzenia bakteryjnego, wydzielane przez zamieszkujące pułapkę destruenty (Rys. 4). Najlepsze środowisko dla życia tych organizmów stanowią dzbankowate lub rurkowate pułapki dzbaneczników, kaptownic, darlingtonii, czy cefalotusa bukłakowatego, w których powstać może skomplikowany ekosystem złożony z nawet ponad 100 gatunków bakterii, drożdży i drobnych bezkręgowców (Adlassnig i wsp., 2011). Organizmy te oprócz pokarmu i środowiska życia, mają zapewniony także dostęp do tlenu, który obecny jest w soku pułapek dzbaneczników i kaptownic. Tlen w pułapkach może pochodzić z atmosfery, być wydzielany w procesie fotosyntezy prowadzonym przez liście pułapkowe (Bradshaw i Creelman, 1984; Takeuchi i wsp., 2015), bądź spotykane w pułapkach kaptownic zielenice i fotoautotroficzne bakterie (Adlassnig i wsp., 2011). Mikroekosystemy w pułapkach roślin mięsożernych rozwijają się stopniowo, wraz z otwarciem pułap-

ki, co jest związane z naturalnym przebiegiem procesu sukcesji ekologicznej, ale także ze zmianami fizjologicznymi, jakie zachodzą w liściach pułapkowych wraz z ich rozwojem (Koopman i wsp., 2010). Na przykład u dzbaneczników, choć początkowo, podczas trawienia pokarmu, pH soku trawienego w młodych pułapkach jest bardzo niskie, w starszych wzrasta do ponad 7, co umożliwia rozwój gatunkom, które nie są acidofilne (An i wsp., 2001). W starszych pułapkach hamowane jest także wydzielanie ROS (Frazier, 2000), które mogłyby wywołać szok oksydacyjny u symbiontów (Adlassnig i wsp., 2011). Jednocześnie, w procesie rozkładu wzrasta udział proteaz wytwarzanych przez mikroorganizmy i spada aktywność enzymów roślinnych, które przestają być produkowane (An i wsp., 2002b). Z drugiej strony, choć w wielu pracach podkreśla się znaczący udział mikroorganizmów zasiedlających pułapki w procesie trawienia (Bradshaw i Creelman, 1984; Johnson, 2005; Butler i wsp., 2008), niektóre badania wskazują, że rośliny mięsożerne starają się, choć w ograniczonym zakresie, kontrolować kolonizację swoich liści pułapkowych przez grzyby i bakterie. U dzbanecznika stwierdzono uwalnianie do soku trawienego kilku naftochinonów o potencjalnym działaniu przeciwdrobnoustrojowym, takich jak plumbagina, droseron, 5-O-metylo-droseron, 7-metylo-juglon czy izosyzanolon (Eilenberg i Zilberstein, 2008; Mithöfer, 2011; Buch i wsp., 2013), a także białka podobnego do traumatyny o właściwościach antygrzybiczych (Mithöfer, 2011; Rottloff i wsp., 2016). Przeciwgrzybicze właściwości będą też posiadać wydzielane do pułapek chitynazy i glukanazy (Eilenberg i Zilberstein, 2008; Mithöfer, 2011; Rottloff i wsp., 2016). Co istotne, produkcja tych substancji jest indukowana obecnością ofiary lub chityny w pułapce (Eilenberg i Zilberstein, 2008; Buch i wsp., 2013).



Rys. 4. Procesy zachodzące w pułapce dzbanecznika w trakcie trawienia ofiary

W oparciu o pracę Eilenberg i Zilberstein (2008), a także inne cytowane publikacje.

Absorpcja strawionych substancji

Liście pułapkowe, tak jak inne zielone organy rośliny, są pokryte skórą. Na jej powierzchni znajduje się hydrofobowa warstwa kutikuli, ograniczająca transpirację, a także uniemożliwiająca bezpośrednie prze-

nikanie substancji z powierzchni liści do ich wnętrza. Dlatego absorpcja rozłożonych przez enzymy związków może zachodzić tylko w tych miejscach w pułapce, w których występują przerwy w kutikuli (Anderson, 2005). Zazwyczaj dotyczy to gruczołów, które u roślin mięsożernych pełnią podwójną funkcję: wydzielają en-

zymy oraz pobierają substancje odżywcze. Procesy te zachodzą zazwyczaj po sobie, ale niekiedy zdarza się, że przebiegają jednocześnie (Owen i wsp., 1999; Płachno i wsp., 2005; Król i wsp., 2012). Nieciągłości w kutikuli mogą występować także na prawie całej powierzchni liścia, jak w dojrzałych liściach u *Roridula* (Anderson, 2005). U kaptownicy obecne są natomiast specjalne przepuszczalne strefy pozwalające na pobór rozłożonych przez bakterie substancji (Adlassing i wsp., 2012).

Choć wykazano, że rośliny mięsożerne są w stanie pobierać ze swych pułapek zarówno aminokwasy, jak i peptydy, uważa się, że źródłem azotu preferencyjnie wykorzystywanym przez większość gatunków są jony amonowe. Ekspresję genów *AMT1* kodujących transportery tych jonów odnotowano m. in. w górnej warstwie komórek gruczołów *Nepenthes alata* (Schulze i wsp., 1999) oraz w gruczołach mucholówki amerykańskiej (*Dionea muscipula*) (Scherzer i wsp., 2013). Jednocześnie w obrębie gruczołów dzbanecznika nie stwierdzono obecności białek zaangażowanych w transport aminokwasów lub peptydów (Schulze i wsp., 1999). Ich brak mogłyby tłumaczyć badania Adlassinga i wsp. (2012) przeprowadzone z wykorzystaniem fluorescencyjnie znakowanej albuminy surowicy wołowej, dowodzące, że komórki gruczołów roślin mięsożernych zdolne są do endocytozy białek zależnej od klatryny. Pobrane białka są następnie trawione w fagolizosomach. Tego typu endocytoza prowadzi do zmian w strukturze komórek gruczołu zwanych agregacją. Proces ten obejmuje kurczenie wakuoli oraz wzrost ruchliwości organelli, które zaczynają przemieszczać się w ukierunkowany sposób w cytoplazmie komórek gruczołu. Jednocześnie w komórce dochodzi do zlania się pęcherzyków endocytotycznych, które tworzą jeden duży przedział (Adlassing i wsp., 2012). Wśród 11 przebadanych przez Adlassinga gatunków roślin mięsożernych, endocytozy nie wykazano jedynie u przedstawicieli rodzaju *Sar-*

racenia oraz u *ženlisea* (Adlassing i wsp., 2012). Inne badania wykazały jednak, że kapturnica purpurowa (*S. purpurea*) jest zdolna do bezpośredniego pobierania z pułapki zarówno glicyny, jak i fenyloalaniny (Karatzides i wsp., 2009). Zaobserwowane różnice mogłyby wynikać ze sposobu transportu tych substancji – nie można wykluczyć, że u kaptownic, w przeciwieństwie do dzbaneczników, transportery aminokwasowe występują w komórkach pozbawionych kutikuli lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie.

Choć w komórkach gruczołów dzbanecznika nie wykryto ekspresji genów transporterów aminokwasowych i peptydowych, tego typu białka obecne są w elementach przewodzących liści pułapkowych. Transportery aminokwasów z rodziny AAP zostały odnalezione w komórkach pochwy okołowiązkowej, a transporter peptydów z rodziny NRT1 (PTR) – w elementach floemu. Białka te mogłyby uczestniczyć w transporcie aminokwasów i peptydów do rozwijających się pułapek. Dzbanecznik należy bowiem do roślin posiadających bariery dyfuzyjne w komórkach pochwy okołowiązkowej, uniemożliwiające apoplastyczną drogę transportu. Inną ich funkcją mogłoby być dostarczanie aminokwasów i peptydów pochodzących ze strawionych zwierząt do wiązek przewodzących (Schulze i wsp., 1999). Zaabsorbowane na drodze endocytozy peptydy i białka ulegają w komórkach gruczołu trawieniu. Powstałe aminokwasy oraz pobrane przez transportery AMT1 kationy amonowe mogłyby posłużyć do syntezy nowych peptydów. Wolne aminokwasy i peptydy byłyby transportowane elementami przewodzącymi do dalszych części rośliny (Adlassing i wsp., 2012).

Warto jednak zauważyć, że mimo pokonania pierwszej bariery w postaci nieprzepuszczalnej kutikuli, dalszy transport związków azotu do elementów przewodzących pułapki nie jest prosty. Przynajmniej u niektórych gatunków roślin mięsożernych, np. dzbaneczników lub

pływaczy, droga apoplastyczna zamykana jest bowiem na poziomie drugiej i trzeciej warstwy komórek gruczołu, przez podobne do pasemek Caspary'ego zgrubienia, co wymusza przedostanie się strawionych substancji na szlak symplastyczny (Owen i wsp., 1999). Oznacza to, że ich transport wymaga udziału specyficznych białek przENOŚNIKOWYCH, których do tej pory nie scharakteryzowano. Ponieważ oświetlanie pułapek pływacza (Rys. 1) znacznie przyspiesza absorpcję i symplastyczny transport podanego do pęcherzyka barwnika, może to sugerować, że działanie tego typu transporterów jest zależne od energii (Juang i wsp., 2011). O dużym wydatku energetycznym na funkcjonowanie pułapek, w tym na procesy transportu i wypompowywania wody z pęcherzyka pułapkowego, świadczyć może nawet dwukrotnie bardziej intensywne oddychanie tych struktur, w porównaniu do zwykłych liści pływacza. Jednocześnie, ponieważ fotosynteza w pęcherzykach przebiega nawet 10-krotnie mniej intensywnie w porównaniu do liści, istnieć muszą specyficzne mechanizmy adaptacyjne, umożliwiające funkcjonowanie pułapek pływaczy. Sugeruje się, że może to być związane z mutacją genu cytochromu *c* u *Utricularia*, która najprawdopodobniej, umożliwiając precyzyjniejszą regulację syntezy ATP w mitochondriach, zwiększa efektywność procesów oddechowych u tej rośliny (Laakkonen i wsp., 2006).

Dodatkowe korzyści z posiadania organów pułapkowych i powiązań symbiotycznych

Nie wszystkie rośliny mięsożerne korzystają wyłącznie z azotu pochodzącego bezpośrednio z ciała złapanych zwierząt. W sąsiedztwie pęcherzyków *Utricularia inflexa* (Adamec, 2010) oraz w pułapkach *Sarracenia purpurea* i *Heliamphora nutans* (Adlassing i wsp., 2011) odnaleziono bakterie wiążące azot atmosferyczny, które przypuszczalnie mogą samodzielnie zapewniać roślinom

nom wystarczającą ilość przyswajalnych form tego pierwiastka. Inne gatunki wzbogacają swoją dietę w azot pochodzący z materiału roślinnego, który wpadł do pułapki. Jak wykazano dla dzbanecznika beczułkowatego (*Nepenthes ampullaria*), ilość pozyskanego w ten sposób azotu jest znacząca i może sięgać 35% całkowitej puli zaabsorbowanej przez roślinę (Adlassing i wsp., 2011; Krasuska i wsp., 2012).

Interesującymi przykładami są także rośliny, które wykorzystują wydzieliny zwierząt, z którymi wchodzą w relacje symbiotyczne. Jednym z najbardziej znanych przykładów jest współżycie dzbanecznika *Nepenthes bicalcarata* z mrówkami *Camponotus schmitzi*, które zamieszkują jego rozdęte ogonki liściowe. Okazało się, że rośliny zamieszkałe przez mrówki produkują większe pułapki, łapią więcej owadów i pozyskują większe ilości azotu niż rośliny nie tworzące układu mutualistycznego (Bazile i wsp., 2012). *C. schmitzi* łapie bezkręgowce i zaciąga je do wnętrza pułapki i choć odżywia się częścią złapanych ofiar, wydala do dzbanka odchody, z których azot czerpać może roślina (nawet 76% azotu w liściu dzbanecznika może pochodzić z odchodów mrówek). Dodatkowo mrówki oczyszczają pułapki z nierozłożonych szczątków bezkręgowców, co zwiększa żywotność dzbanków oraz zdolność łapania i trawienia ofiar (Bazile i wsp., 2012). *Nepenthes bicalcarata* nie jest jednak jedynym gatunkiem dzbanecznika pozyskującym azot z odchodów zwierząt. Do dzbanków *N. rafflesiana* var. *elongate* (inaczej *N. baramensis* lub *N. hemsleyana*) wyróżniają się nietoperze z gatunku *Kerivoula hardwickii hardwickii*. Ponieważ zwierzęta te są niewielkie, mniejsze niż 4 cm, gniazdują w ciągu dnia w pułapkach rośliny, ponad powierzchnią soku trawienno, kryjąc się przed słońcem i drapieżnikami. Dzbanki są na tyle duże, że mogą pomieścić jednocześnie dwa nietoperze, jeden nad drugim. Jak zmierzono, z ich odchodów pochodzi aż 33,8% azotu obecnego w liściu pułapkowym

zasiedlanym przez nietoperze (Grafe i wsp., 2011). Należy natomiast podkreślić, że roślina ta uzyskuje azot także z innych źródeł, ponieważ nietoperze nie gniazdują we wszystkich roślinach ani we wszystkich dzbankach danej rośliny jednocześnie (Grafe i wsp., 2011). Innym ssakiem, którego odchody zasilają w azot duże pułapki dzbaneczników *N. rajach*, *N. lowii* i *N. macrophylla* jest wiewiórecznik górski (*Tupaia montana*). W przypadku dzbanecznika radży (*N. rajach*) stwierdzono, że jego pułapki odwiedza także inny gatunek – szczur wierchowy (*Rattus baluensis*). Układ ten jest niezwykle interesujący, bowiem oba gatunki odwiedzają roślinę, by pozyskać pokarm w postaci nektaru, jednak robią to w innym czasie: szczur odwiedza pułapki w nocy, natomiast wiewiórecznik w ciągu dnia. Ponieważ nektar wydzielany jest przez wewnętrzną powierzchnię wieka dzbanka, by się pożywić, zwierzęta siadają na rancie pułapki, w wyniku czego często deponują odchody do jej wnętrza. Wizyty szczurów i wiewióreczników są dość częste. Zaobserwowano, że odwiedzają pułapkę średnio co 4,2 godz.. Badania sugerują, że oprócz bodźców wzrokowych, mogą być one przywabiane także przez zapach przypominający słodkie owoce lub kwiaty (Greenwood i wsp., 2011; Wells i wsp., 2011).

Jednak gatunkami najbardziej zależnymi od swoich symbiontów są rośliny, które nie produkują enzymów trawiennych, lecz żywią się produktami rozkładu wydzielanymi przez organizmy symbiotyczne, przede wszystkim bakterie. Nazywamy je protomięsożernymi (ang. *protocarnivorous plants*). Tego typu cechy przypisuje się kaptownicy purpurowej i darlingtonii kalifornijskiej, aczkolwiek niektóre źródła podają, że kaptownica wydziela enzymy trawienne, lecz w niewielkiej ilości i wyłącznie zaraz po otwarciu pułapki (Johnson, 2005; Karagatzides i wsp., 2009; Adlassnig i wsp., 2011). W pułapkach kaptownicy purpurowej (a także w pułapkach darlingtonii kalifornijskiej) oprócz symbiotycz-

nych bakterii bytują także inne organizmy, takie jak protisty, wrotki czy larwy owadów, przede wszystkim komarów (Johnson, 2005). Choć początkowo dowodzone, że zwiększają one proces rozkładu detrytusów obecnego w dzbanku i dzięki temu przyczyniają się do lepszego zaopatrzenia rośliny w azot (Bradshaw i Creelman, 1984), ostatnie badania sugerują, że nie wpływają one bezpośrednio na ilość pobieranego przez kaptownicę azotu (Butler i wsp., 2008). Mogą jednak regulować liczebność i skład populacji bakterii (Karagatzides i wsp., 2009), które bezpośrednio przyczyniają się do rozkładu materii organicznej w pułapce (Butler i wsp., 2008). Innym przykładem rośliny mięsożernej ściśle uzależnionej od organizmów symbiotycznych jest tuliłeczka (*Roridula*), której dwa gatunki (*R. gorgonias* i *R. dentata*) to południowoafrykańskie endemity (Król i wsp., 2012). *Roridula*, podobnie do rosiczki, wydziela na powierzchnię swych liści krople lepkiego płynu, dzięki któremu unieruchamia owady. Płyn ten nie zawiera jednak enzymów trawiennych, a owady nie są pokarmem dla rośliny, lecz dla symbiotycznych pluskwiaków z rodzaju *Pameridea*. Ich odchody *Roridula* wykorzystuje jako źródło przyswajalnego azotu. Szacuje się, że dzięki temu roślina pozyskuje nawet 70% azotu. Symbiotyczne pluskwiaki mogą jednak paść ofiarą pajaków *Synaema marlothi* Dahl., które jednocześnie konkurują z nimi o złapane przez *Roridula* owady. Obecność pajęczaków może zredukować ilość pobranego przez roślinę azotu do 30% (Anderson i Midgley, 2002; 2003).

Podsumowanie

Podsumowując, możemy jednoznacznie stwierdzić, że rośliny mięsożerne są doskonale przystosowane do wzrostu w środowisku ubogim w składniki mineralne, gdyż są zdolne do pozyskiwania azotu, a także innych pierwiastków, z ciał zwierząt. Rośliny mięsożerne roz-

winięły szereg przystosowań anatomicznych, morfologicznych, fizjologicznych i biochemicznych, które ułatwiają im ten proces. Ich liście zostały przekształcone w różnego typu pułapki, często o bardzo wymyślnej strukturze, dostosowane do przywabiania i zabijania drobnych zwierząt. Wydzielają one szereg enzymów oraz reaktywne formy tlenu, rozkładające złożone biopolimery budujące organizmy ofiar, do związków prostszych, które mogą zostać pobrane przez liście pułapkowe. Ponadto mogą uzupełniać niedobór azotu także inną drogą i korzystają np. z materiału roślinnego, który wpadł do pułapki lub z odchodów zwierząt wyróżniających się na powierzchnię ich liści. Do bardzo ciekawych i nietypowych gatunków należą też rośliny protomięsożerne, które nie produkują własnych enzymów trawiennych, lecz bazują jedynie na współpracy z organizmami symbiotycznymi.

Podziękowania

Serdecznie dziękuję mojemu bratu za przygotowanie rysunków przedstawiających pułapki *Utricularia* i *Genlisea*.

Literatura

- Adamec L (2010). Ecophysiological look at plant carnivory. In: Seckbach J, Dubinsky Z, eds. *All flesh is grass*. Netherlands : Springer; 455–489.
- Adlassnig W, Koller-Peroutka M, Bauer S, Koshkin E, Lendl T, Lichtscheidl IK (2012). Endocytotic uptake of nutrients in carnivorous plants. *Plant J*. 71:303–13.
- Adlassnig W, Peroutka M, Lendl T (2011). Traps of carnivorous pitcher plants as a habitat: composition of the fluid, biodiversity and mutualistic activities. *Ann. Bot.* 107:181–194.
- An CI, Fukusaki E, Kobayashi A (2001). Plasma-membrane H⁺-ATPases are expressed in pitchers of carnivorous plant *Nepenthes alata* Blanco. *Planta*. 212:547–555.
- An CI, Fukusaki E, Kobayashi A (2002a). Aspartic proteinases are expressed in pitchers of the carnivorous plant *Nepenthes alata* Blanco. *Planta*. 214:661–667.

- An CI, Takekawa S, Okazawa A, Fukusaki E, Kobayashi A (2002b). Degradation of a peptide in pitcher fluid of the carnivorous plant *Nepenthes alata* Blanco. *Planta*. 215:472-477.
- Anderson B (2005). Adaptations to Foliar Absorption of Faeces: a Pathway in Plant Carnivory. *Ann. Bot.* 95:757-761.
- Anderson B, Midgley JJ (2002). It takes two to tango but three is a tangle: mutualists and cheaters on the carnivorous plant *Roridula*. *Oecol.* 132:369-373.
- Anderson B, Midgley JJ (2003). Digestive mutualism, an alternate pathway in plant carnivory. *Oikos*. 102: 221-224.
- Armitage DW (2016). Bacteria facilitate prey retention by the pitcher plant *Darlingtonia californica*. *Biol Lett.* 12:20160577.
- Bazile V, Moran JA, Le Moguédec G, Marshall DJ, Gaume L (2012). A carnivorous plant fed by its ant symbiont: a unique multi-faceted nutritional mutualism. *PLoS One*. 7:e36179.
- Biteau F, Nisse E, Miguel S, Hannewald P, Bazile V, Gaume L, Mignard B, Hehn A, Bourgaud F (2013). A simple SDS-PAGE protein pattern from pitcher secretions as a new tool to distinguish *Nepenthes* species (Nepenthaceae). *Am. J. Bot.* 100: 2478-2484.
- Bonhomme V, Pelloux-Prayer H, Jousset E, Forterre Y, Labat JJ, Gaume L (2011). Slippery or sticky? Functional diversity in the trapping strategy of *Nepenthes* carnivorous plants. *New Phytol.* 191:545-54.
- Bradshaw WE, Creelman RA (1984). Mutualism between the carnivorous purple pitcher plant and its inhabitants. *Am Midl Nat.* 112:294-304.
- Buch F, Rott M, Rottloff S, Paetz C, Hilke I, Raessler M, Mithöfer A (2013). Secreted pitfall-trap fluid of carnivorous *Nepenthes* plants is unsuitable for microbial growth. *Ann Bot.* 111:375-83.
- Butler JL, Gotelli NJ, Ellison AM (2008). Linking the brown and green: nutrient transformation and fate in the *Sarracenia* microecosystem. *Ecology*. 89:898-904.
- Cao HX, Schmutz T, Scholz U, Pecinka A, Schubert I, Vu GT (2015). Metatranscriptome analysis reveals host-microbiome interactions in traps of carnivorous *Genlisea* species. *Front Microbiol.* 6:526.
- Chia TF, Aung HH, Osipov AN, Goh NK, Chia LS (2004). Carnivorous pitcher plant uses free radicals in the digestion of prey. *Redox Rep.* 9:255-61.
- Eilenberg H, Pnini-Cohen S, Schuster S, Movtchan A, Zilberstein A (2006). Isolation and characterization of chitinase genes from pitchers of the carnivorous plant *Nepenthes khasiana*. *J Exp Bot.* 57:2775-84.
- Eilenberg H, Zilberstein A (2008). Carnivorous pitcher plants—towards understanding the molecular basis of prey digestion. *Floriculture, ornamental and plant biotechnology. advances and topical issues*. Isleworth: Global Science Books; 287-294.
- Frazier CK (2000). The enduring controversies concerning the process of protein digestion in *Nepenthes* (Nepenthaceae). *Carnivorous Plant Newsletter*. 29,56-61.
- Gaume L, Forterre Y (2007). A Viscoelastic Deadly Fluid in Carnivorous Pitcher Plants. *PLoS One*. 2:e1185.
- Grafe TU, Schöner CR, Kerth G, Junaidi S, Schöner MG (2011). A novel resource-service mutualism between bats and pitcher plants. *Biol Lett.* 7:436-439.
- Greenwood M, Clarke C, Lee CC, Gunsalam A, Clarke RH (2011). A Unique Resource Mutualism between the Giant Bornean Pitcher Plant, *Nepenthes rajah*, and Members of a Small Mammal Community. *PLoS ONE*. 6: e21114.
- Jakubowska D, Janicka-Russak M, Kabała K, Migocka M, Reda M (2015). Modification of plasma membrane NADPH oxidase activity in cucumber seedling roots in response to cadmium stress. *Plant Sci.* 234:50-59.
- Johnson PD (2005). Carnivorous Plants and Their Prey, Pollinators, and Peculiar Partners. <https://www.yumpu.com/en/document/view/12263620/carnivorous-plants-and-their-prey>
- Juang, TCC, Juang SDC, Liu ZH (2011). Direct evidence of the symbiotic pathway in the trap of the bladderwort *Utricularia gibba* L. *Bot Stud.* 52: 47-54.
- Karagatzides JD, Butler JL, Ellison AM (2009). The pitcher plant *Sarracenia purpurea* can directly acquire organic nitrogen and short-circuit the inorganic nitrogen cycle. *PLoS One*. 4:e6164.
- Koopman MM, Fuselier DM, Hird S, Carstens BC (2010). The carnivorous pale pitcher plant harbors diverse, distinct, and time-dependent bacterial communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 76:1851-1860.
- Krasuska U, Glinka A, Gniazdowska A (2012). Menu roślin mięsożernych. *Kosmos*. 61:635-646.
- Król E, Plachno BJ, Adamec L, Stolarz M, Dziubińska H, Trebacz K (2012). Quite a few reasons for calling carnivores 'the most wonderful plants in the world'. *Ann Bot.* 109:47-64.
- Laakkonen L, Jobson RW, Albert VA (2006). A new model for the evolution of carnivory in the bladderwort plant (*Utricularia*): adaptive changes in cytochrome c oxidase (COX) provide respiratory power. *Plant Biol.* 8:758-764.
- Lambers H, Chapin FS III, Pons TL (2008). *Plant Physiological Ecology*. 2nd ed. New York, NY: Springer.
- Miller AJ, Cramer MD (2004). Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant Soil*. 274: 1-36.
- Mithöfer A (2011). Carnivorous pitcher plants: Insights in an old topic. *Phytochemistry*. 72:1678-1682.
- Moran JA, Hawkins BJ, Gowen BE, Robbins SL (2010). Ion fluxes across the pitcher walls of three Bornean *Nepenthes* pitcher plant species: flux rates and gland distribution patterns reflect nitrogen sequestration strategies. *J Exp Bot.* 61:1365-1374.
- Owen TP, Lennon KA, Santo MJ, Anderson AN (1999). Pathways for Nutrient Transport in the Pitchers of the Carnivorous Plant *Nepenthes alata*. *Ann Bot.* 84:459-466.
- Plachno BJ, Faber J, Jankun A (2005). Cuticular discontinuities in glandular hairs of *Genlisea* St.-Hil. in relation to their functions. *Acta Bot Gallica*. 152:125-130.
- Podbielkowsky Z, Podbielkowska M (1992). *Przystosowania roślin do środowiska*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne.
- Rottloff S, Miguel S, Biteau F, Nisse E, Hammann P, Kuhn L, Chicher J, Bazile V, Gaume L, Mignard B, Hehn A, Bourgaud F (2016). Proteome analysis of digestive fluids in *Nepenthes* pitchers. *Ann Bot.* 117:479-95.
- Scherzer S, Krol E, Kreuzer I, Kruse J, Karl F, von Rüden M, Escalante-Perez M, Müller T, Rennenberg H, Al-Rasheid KA, Neher E, Hedrich R (2013). The *Dionaea muscipula* ammonium channel DmAMT1 provides NH₄ uptake associated with Venus flytrap's prey digestion. *Curr Biol*. 23:1649-57.
- Schulze W, Frommer WB, Ward JM (1999). Transporters for ammonium, amino acids and peptides are expressed in pitchers of the carnivorous plant *Nepenthes*. *Plant J.* 17:637-646.
- Schulze WX, Sanggaard KW, Kreuzer I, Knudsen AD, Bemm F, Thøgersen IB, Bräutigam A, Thomsen LR, Schliesky S, Dyrland TF, Escalante-Perez M, Becke D, Schultz J, Karring H, Weber A, Højrup P, Hedrich R, Englund JJ (2012). The Protein Composition of the Digestive Fluid from the Venus Flytrap Sheds Light on Prey Digestion Mechanisms. *Mol Cell Proteomics*. 11:1306-1319.
- Takahashi K, Matsumoto K, Nishii W, Muramatsu M, Kubota K (2009). Comparative studies on the acid proteinase activities in the digestive fluids of *Nepenthes*, *Cephalotus*, *Dionaea*, and *Drosera*. *Carnivorous Plant Newsletter*. 38:75-82.
- Takeuchi Y, Chaffron S, Salcher MM, Shimizu-Inatsugi R, Kobayashi MJ, Diway B, von Mering C, Pernthaler J, Shimizu KK (2015). Bacterial diversity and composition in the fluid of pitcher plants of the genus *Nepenthes*. *Syst Appl Microbiol*. 38:330-339.
- Wells K, Lakim MB, Schulz S, Aya M (2011). Pitchers of *Nepenthes rajah* collect faecal droppings from both diurnal and nocturnal small mammals and emit fruity odour. *J Trop Ecol.* 27:347-353.

The unique way of nitrogen acquisition by carnivorous plants

Magdalena Zboińska

Carnivorous plants grow in nitrogen-deficient soils. To supplement nitrogen deficiency, they developed highly specialized trap leaves which lure, kill and digest insects and other invertebrates. As a result of the degradation of victims, into the trap simple nitrogen compounds are released, which are absorbed by plant leaves. Carnivorous species are sometimes inhabited by symbiotic organisms which participate, by excretion of specific enzymes, in prey digestion. The goal of this paper is to describe anatomical, morphological, physiological and biochemical adaptations, which allow carnivorous plants to obtain nitrogen from animal bodies.

Key words: carnivorous plant traps, enzymes, digestion, absorption, symbiosis, *Nepenthes*, *Sarracenia*, *Dionaea*, *Drosera*, *Utricularia*, *Genlisea*, *Roridula*

Proces liofilizacji, jego zastosowanie i wybrane mechanizmy obronne organizmów przed odwodnieniem

Grażyna Dąbrowska, Henryk Paweł Dąbrowski, Olga Narbutt

DOI: 10.24131/3247.170203

Streszczenie:

Liofilizacja jest procesem składającym się z trzech etapów: zamrażania, sublimacji i desorpcji, polegającym na usunięciu rozpuszczalnika z zamrożanego materiału na drodze sublimacji. Dzięki temu, że proces ten prowadzony jest w niskiej temperaturze, zachowywane są wszystkie właściwości chemiczne produktu. Proces liofilizacji znajduje szerokie zastosowanie w utrwalaniu materiałów biologicznych, m.in.: bakterii, grzybów, ludzkich tkanek i osocza krwi, pomimo, że jest czasochłonny i wiąże się ze stosunkowo wysokimi kosztami. Wykorzystywany jest również w produkcji probiotyków, antybiotyków, szczepionek oraz suszonej żywności. Liofilizacja znalazła zastosowanie w konserwacji zabytków archeologicznych, takich jak mokre drewno, skóra, tkanina czy papier.

Słowa kluczowe: liofilizacja, suszenie próżniowe, konserwacja zabytków archeologicznych, biopreparaty

otrzymano: 15.07.2016; przyjęto: 20.12.2016; opublikowano: 16.08.2017



dr hab. Grażyna Dąbrowska: Zakład Genetyki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu



dr Henryk Paweł Dąbrowski: Zakład Studiów Miejskich i Rekreacji, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu



mgr Olga Narbutt: Zakład Genetyki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Przebieg procesu

Celem pracy jest omówienie zagadnień dotyczących odwodnienia i procesu liofilizacji, jednej z najpopularniejszych metod suszenia w niskiej temperaturze, polegającej na odwadnianiu poprzez sublimację zamrożonego produktu. W celu utrwalania lub konserwacji wielu substancji stosowane jest ich suszenie. Proces liofilizacji jest obecnie szeroko stosowany zarówno w utrwalaniu materiałów biologicznych, jak i w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz kosmetycznym, a także w konserwacji zabytków archeologicznych. Liofilizacja to proces, w którym rozpuszczalnik (bardzo często woda) jest usuwany z zamrożonego roztworu. Terminem tym określa się także zamrażanie produktów poprzez sublimację (Rovero i wsp., 1991). Liofilizację na dużą skalę przemysłową stosowano już podczas II wojny światowej, kiedy to istniało wysokie zapotrzebowanie na osocze ludzkiej krwi (Franks, 1998).

Proces ten przebiega w niskiej temperaturze, dzięki czemu właściwości chemiczne produktów podlegają tylko niewielkim zmianom. Ma to bardzo istotne znaczenie w przypadku materiałów wrażliwych na temperaturę (Castro i wsp., 1997). Składają się na niego trzy etapy: zamrażanie, sublimacja oraz desorpcja (Perry, 1998).

Zamrażanie jest efektywnym etapem wysuszenia, podczas którego znaczna ilość rozpuszczalnika czyli wody jest oddzielona od substancji rozpuszczonych,

w wyniku czego powstaje lód (Tang i Pikal, 2004). Wówczas z roztworu, usunięciu ulega ponad 99% wody i dochodzi do gwałtownego zagęszczenia substancji. Wzrost stężenia liofilizowanego materiału w dużym stopniu zależy od temperatury w jakiej dochodzi do zamrażania a nie od początkowego stężenia substancji (Franks, 1998). W przypadku niektórych materiałów, takich jak preparaty białkowe, zamrożenie może prowadzić do naprężeń destabilizujących strukturę białka. Można tu wymienić: wzrost stężenia białek prowadzący do ich agregacji, zmiany pH związane z krystalizacją soli buforowych, redukcję oddziaływań hydrofobowych spowodowaną „efektem odwodnienia” tworzącego się lodu, który usuwa wodę z fazy białkowej oraz duży wzrost siły jonowej (Tang i Pikal, 2004). Niepożądanym procesom wytrącania, można zapobiec wykorzystując odpowiednie substancje wypełniające, które z zamrożonego roztworu powoli krystalizują. Ponadto w odpowiednio wysokim stężeniu hamują one wytrącanie soli oraz umożliwiają przebieg procesu zagęszczania poprzez zamrażanie po przekroczeniu granicy rozpuszczalności. Lepkość roztworu gwałtownie rośnie, aż do zahamowania powiększania się kryształów lodu. Faza roztworu może nadal zawierać do 50% niezamrożonej wody. Mieszanka tworzy strukturę przypominającą szkliwo. Odbywa się to przy odpowiedniej temperaturze zeszklenia (T_g) oraz zawartości wody (wg'). Roztwór taki posiada właściwości mechaniczne ciała amorficznego oraz strukturę typową dla cieczy. Całość składa się z rozproszonych w szklistej masie kryształów lodu. Wygląd mieszaniny na poziomie mikroskopowym zależy od ich rozmiaru oraz rozkładu, a to z kolei w dużym stopniu uwarunkowane jest początkowym tempem chłodzenia (Franks, 1998). Ponadto wielkość kryształów wpływa na stabilność białek. Stabilizację można uzyskać zmniejszając powierzchnię lodu poprzez zwiększenie rozmiaru tworzących się kryształków. Efekt taki osią-

ga się po obniżeniu temperatury cieczy do temperatury przechłodzenia, czyli temperatury niższej niż temperatura jej krzepnięcia (zamrażania). Silniejsze przechłodzenie sprzyja tworzeniu się większej liczby kryształów o mniejszych wymiarach oraz większej powierzchni właściwej lodu. Proces zamrażania trwa zwykle kilka godzin (Tang i Pikal, 2004).

Kolejny etap liofilizacji polega na usunięciu z produktu wody w postaci lodu poprzez bezpośrednie jego przejście w parę wodną (postać gazową), czyli sublimację. Niezbędna do tego jest energia w postaci ciepła. Energia musi być kontrolowana tak, aby wytworzoną parę można było usunąć w jak najkrótszym czasie, co zapobiega strukturalnemu uszkodzeniu suszonego materiału. Do jej usunięcia dochodzi w trakcie dyfuzyjnej wymiany masy przy różnicy ciśnień (określanej jako gradient ciśnienia) pomiędzy próbkami a zmrożoną powierzchnią skraplacza (ryc. 1).

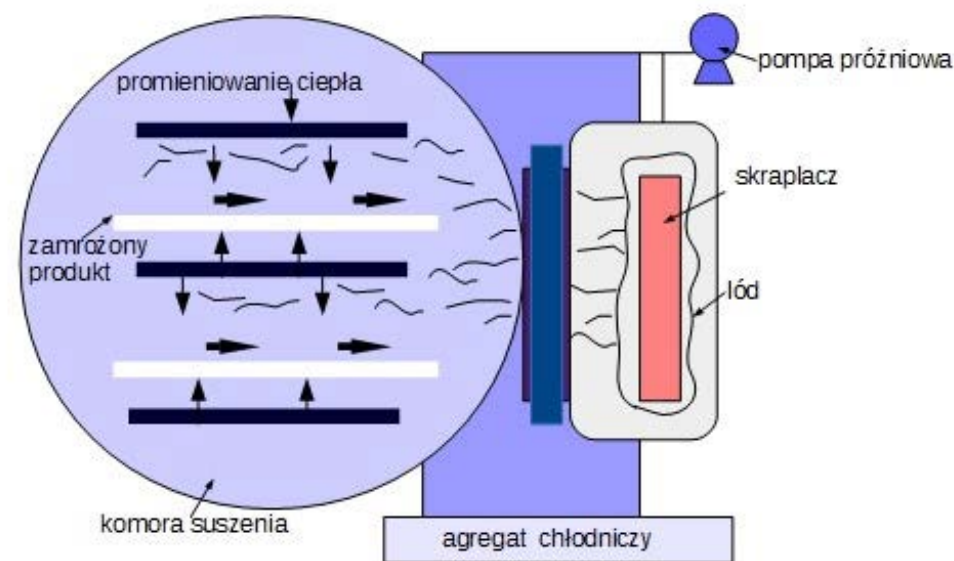
Na etapie suszenia do wychwytywania niewielkich ilości wody wykorzystuje się chemiczny środek suszący – dekatlenek tetrafosforu, jednakże lepszym rozwiązaniem jest użycie kondensatora (Perry, 1998).

Suszenie jest najbardziej czasochłonnym etapem liofilizacji, zatem optymalizacja ma tutaj istotne znaczenie ekonomiczne. Nieprawidłowo dobrane warunki mogą znacznie wydłużyć czas trwania procesu oraz negatywnie wpłynąć na jakość produktu. Kluczową rolę odgrywa tutaj temperatura produktu docelowego (T_p) oraz szybkie doprowadzenie do niej materiału i utrzymanie go w niej przez cały etap suszenia. T_p powinna być zawsze o kilka stopni niższa od temperatury przy której dochodzi do zniszczenia struktury (T_c) (Tang i Pikal, 2004). T_c ma ścisły związek z temperaturą zeszklenia¹ maksymalnie zamrożonego stężonego roztworu. Po-

¹ Temperatura zeszklenia (T_g) – temperatura, w której następuje przejście ze stanu ciekłego w stan szklisty, czego objawem jest skokowy wzrost lepkości substancji

Ryc. 1. Schemat liofilizatora.

Źródło: materiał własny.



wyżej T_c matryca traci swój kształt a jakość produktu spada (Krokida i wsp., 1998). Różnica pomiędzy T_p i T_c nazywana jest marginesem bezpieczeństwa. Wysoka T_p sprzyja szybszemu przebiegowi procesu. Wzrost T_p o 1°C skraca czas suszenia o 13%. Temperatura produktu docelowego powinna być zatem jak najbardziej zbliżona do temperatury przy której dochodzi do zniszczenia struktury. Suszenie przeprowadza się pod obniżonym ciśnieniem w komorze co przyspiesza przejście lodu w parę wodną. W celu skrócenia czasu sublimacji, czyli masy sublimowanego lodu (g) w jednostce czasu (h) powinno być ono znacznie niższe od ciśnienia pary lodu w temperaturze produktu docelowego. Obniżone ciśnienie komory sprzyja szybkiemu usuwaniu wody, jednak może być przyczyną problemów takich jak zanieczyszczenie produktu lotnymi składnikami korków lub olejem z pompy oraz niejednorodnego przepływu ciepła, który powoduje nierównomierną temperaturę

pomiędzy próbkami (Tang i Pikal, 2004). Bezpośrednio po zakończeniu suszenia faza roztworu może ciągle zawierać pewną ilość silnie związanej niezamrożonej wody. Jej zawartość wynosi około 25-30 g w 100 g stałej masy a usunięcie odbywa się w trzecim i zarazem ostatnim etapie liofilizacji – desorpcji (Perry, 1998).

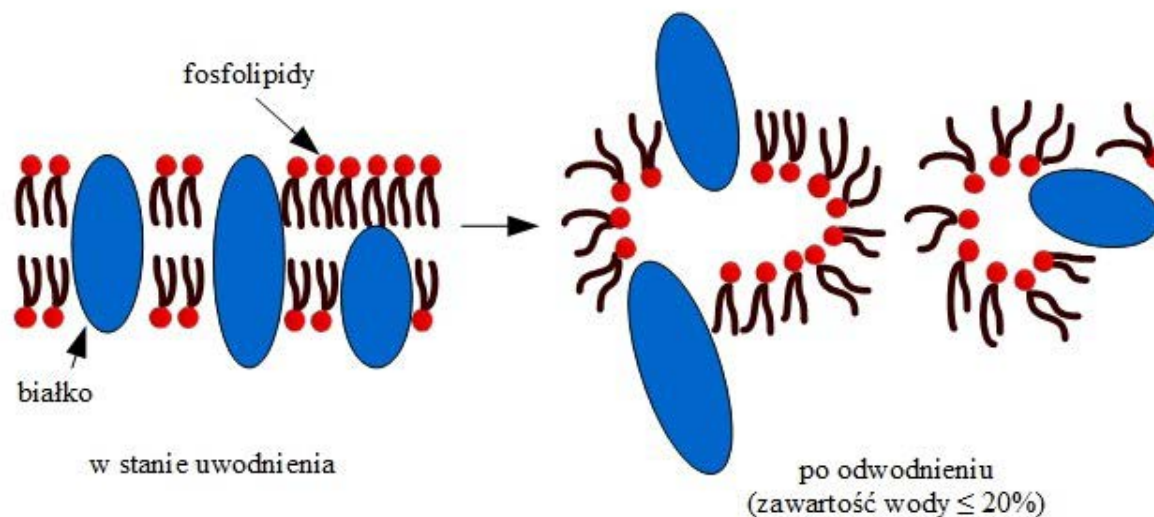
Desorpcja, zwana także drugim suszeniem lub też dosuszaniem, umożliwia zredukowanie pozostałej wilgoci do poziomu optymalnego dla produktu, który wynosi zwykle mniej niż 1%. W tym celu powoli podnosi się temperaturę materiału. Najlepszy efekt desorpcji osiąga się przeprowadzając ją krótko w wyższej temperaturze. Materiały amorficzne są znacznie trudniejsze do wysuszenia niż krystaliczne, wymagają one dłuższego czasu i wyższej temperatury do usunięcia wilgoci. Na proces dosuszenia wpływa także stężenie substancji rozpuszczonej. Przy większym stężeniu roztworu (powyżej 10% ciała stałego w roztworze) suchy produkt posiada

mniejszą powierzchnię specyficzną (m^2/g), co utrudnia usunięcie zaabsorbowanej wody. W takim wypadku ukończenie suszenia wymaga wyższej temperatury lub dłuższego czasu. Przeciętny okres dosuszenia trwa 3-6 godzin w zakresie temperatur $40-50^\circ\text{C}$. Warunki takie nie powodują denaturacji białek, które w wysuszonej formie mogą przetrwać nawet w temp. 100°C . Tempo desorpcji nie jest uzależnione od ciśnienia panującego w komorze (Tang i Pikal, 2004).

Do użytku komercyjnego najczęściej wykorzystuje się liofilizatory wirówkowe oraz półkowe. Różnią się one sposobem sprzężenia suszonej substancji z kondensatorem. Suszarki obrotowe posiadają cylindryczny zbiornik, który w trakcie suszenia obraca się, dzięki czemu próbki są równomiernie suszone (Nireesha i wsp., 2013). Liofilizatory półkowe posiadają zazwyczaj prostokątny zbiornik z półkami, na których można umieszczać materiały. Na rynku dostępne są również liofilizatory kolektorowe, które zbudowane są z krótkiej tuby łączącej kilka naczyń ze skraplaczem.

Substancje ochronne stosowane podczas liofilizacji i zaangażowane w mechanizmy obronne organizmów przed odwodnieniem

Liofilizacja jest często wykorzystywana do konserwacji materiałów biologicznych (Carvalho i wsp., 2003). Wiąże się ona jednak z niebezpieczeństwem denaturacji wrażliwych białek, co prowadzi do obniżenia przeżywalności lub aktywności komórek (Berner i Viernstein, 2006). Uszkodzenia układów biologicznych wynikają ze zmian w fizycznym stanie lipidów błonowych oraz zmian w strukturze białek. Usunięcie wody związanej wiązaniami wodorowymi z polarnymi częściami fosfolipidów (potocznie zwanymi głowami) tworzących dwuwarstwową błonę komórkową jest przyczyną zwiększenia upakowania głów oraz przybliżenia się do



Ryc. 2. Zmiana struktury błony komórkowej u roślin pod wpływem odwodnienia

Źródło: na podstawie Kopcewicz i Lewak, 2012.

siebie łańcuchów acylowych dzięki oddziaływaniom van der Waalsa (ryc. 2)..

W rezultacie lipidy przechodzą ze stanu ciekłokryształicznego do stanu żelu (Leslie i wsp. 1995). Ponowne uwodnienie powoduje, że suche błony w temperaturze pokojowej z powrotem przybierają postać płynną (Crowe i wsp., 1987). Proces liofilizacji jest powszechnie stosowany do przygotowania zliofilizowanych mikroorganizmów. U wielu rodzajów bakterii i grzybów zaobserwowano dużą przeżywalność po przeprowadzeniu tego procesu oraz długoterminowym przechowywaniu liofilizatów. Żywotność zliofilizowanych szczepów bakteryjnych może utrzymać się ponad dwadzieścia lat, aby było to możliwe liczebność bakterii przed liofilizacją powinna wynosić 10^6-10^{10} komórek w 1 cm^3 (Miyamoto-Shinohara i wsp., 2000).

W celu opracowania biopreparatu do fitodesalinizacji² gleb, Dąbrowska i wsp. (2016) sprawdzili jaki wpływ na przeżywalność pięciu szczepów bakteryjnych: *Bacillus* sp., *Bacteroidetes bacterium*, *Massilia* sp., *Pseudomonas fluorescens* i *Variovorax* sp. ma proces liofilizacji, czas i temperatura przechowywania liofilizatów bakteryjnych. Wykazali, że zarówno liofilizacja, wzrost temperatury, jak i czas przechowywania liofilizatów istotnie obniża przeżywalność bakterii ryzosferowych. Zaobserwowali, że przeżywalność bakterii stymulujących wzrost roślin w liofilizatach zależy od rodzaju szczepu bakteryjnego. Wszystkie liofilizowane mikroorganizmy wykazywały najwyższą przeżywalność po przechowywaniu w temperaturze 4°C . Wiadomo, że

2 Fitodesalinizacja – usuwanie zanieczyszczeń z gleb, spowodowanych wysokim zasoleniem z wykorzystaniem roślin

stabilność liofilizowanego materiału zależy od temperatury; im jest niższa tym, czas przetrzymywania może być dłuższy (Carvalho i wsp. 2004). Podobnie w badaniach Janczak i wsp. (2016) dotyczących opracowania biopreparatu, który mógłby potencjalnie znaleźć zastosowanie w biodegradacji tworzyw sztucznych stawiących znaczną część składowisk odpadów miejskich wykazano, że proces liofilizacji wpływał na spadek przeżywalności bakterii *Serratia* sp. Sugeruje się, że bakterie Gram-dodatnie są bardziej odporne na proces liofilizacji niż bakterie Gram-ujemne, co prawdopodobnie wynika z różnic w budowie powierzchni komórek bakteryjnych (Miyamoto – Shinohara i wsp., 2000). Natomiast Dąbrowska i wsp. (2016) wykazali, że bakterie Gram-dodatnie *Bacillus* sp. po liofilizacji charakteryzowały się mniejszą żywotnością niż Gram-ujemne bakterie *B. bacterium*. Autorzy sugerują, że mogło być to spowodowane brakiem obecności substancji osmoprotekcyjnych.

Powszechnym sposobem zredukowania opisanych wyżej niekorzystnych skutków jest dodawanie do próbek przed procesem liofilizacji substancji ochronnych, do których możemy zaliczyć między innymi: odtłuszczone mleko, glicerynę, dimetylosulfotlenek (Leslie i wsp., 1995), disacharydy (na przykład: sacharozę, laktozę, trehalozę), polialkohole (mannitol, sorbitol i laktitol), aminokwasy (Siaterlis i wsp., 2009), pepton oraz albuminę wołową (Pehkonen i wsp., 2008). Obecność wymienionych substancji pełni ochronną rolę przed uszkodzeniami komórek podczas liofilizacji (Leslie i wsp., 1995).

Właściwy czynnik ochronny powinien zabezpieczać materiał biologiczny przed niską temperaturą, być łatwy do wysuszenia oraz tworzyć dobrą matrycę aby zapewnić stabilność struktury i łatwe nawadnianie (Zhao i Zhang, 2005). Fizyczny mechanizm ochronny tych związków nie został jeszcze całkowicie wyjaśnio-

ny (Leslie i wsp., 1995), choć wydaje się, że większość z nich zapobiega uszkodzeniom błony komórkowej zapewniając prawidłowe funkcjonowanie białek i/lub wiązanie roztworu do białek wysuszonych zastępując tym samym wodę (Martos i wsp., 2007).

Formowanie szkliwa zwiększa lepkość w obrębie oraz wokół komórki, co powoduje zmniejszenie ruchliwości cząsteczek do minimum. Amorficzne ciało zatrzymuje również uwalniane przez komórkę przed zamrożeniem produkty odpadowe, które nie mogą się koncentrować oraz zapoczątkować nieodwracalnych zmian elektrochemicznych w błonie komórkowej podczas przechowywania. Z kolei eutektyczne³ sole po osiągnięciu punktu zamarzania pozostają substancją rozpuszczoną oraz tworzą kryształy. Formujący się lód powoduje uszkodzenia błony plazmatycznej, co może prowadzić do uszkodzenia lub rozpadu komórki oraz wypływania jej zawartości po rozmrożeniu. Po osiągnięciu punktu zamarzania następuje tworzenie kryształów a reszta soli, która pozostaje w roztworze skupia się wokoło lodu. Ten silnie stężony roztwór soli w obecności substancji uwolnionych przez komórki przed zamrożeniem również może powodować nieodwracalne uszkodzenia (Morgan i wsp., 2006).

Wiele gatunków roślin i zwierząt posiada zdolność do przeżycia w stanie prawie całkowitego odwodnienia (czyli anhydrobiozy) dzięki akumulacji disacharydów: sacharozy i trehalozy. Z tego powodu zaczęto wykorzystywać te i inne dwucukry do zwiększenia tolerancji komórek na zmiany podczas wysuszania. Dodane przed suszeniem disacharydy tworzą wiązania wodorowe, które uległy zerwaniu w trakcie tego etapu oraz tworzą szkliwo o wysokiej lepkości (Miao i wsp., 2008). Na szczególną uwagę zasługuje tutaj trehaloza, która dzie-

3 Mieszanina eutektyczna (nazwa pochodzi od greckiego eutektos, co oznacza "łatwo topliwy") mieszanina dwóch lub więcej faz o określonym składzie, która wydzieli się z roztworów ciekłych w pewnej temperaturze, zwanej temperaturą eutektyczną.

ki swojej wysokiej temperaturze zeszklenia i zdolności do oddziaływania ze składnikami błon komórkowych po odwodnieniu efektywnie chroni układy biologiczne. Ponadto sprzyja ona zachowaniu struktury i funkcji białek. Podobne właściwości posiada laktoza. Niektóre substancje ochronne, stosowane pojedynczo działają znacznie słabiej niż gdy wykorzystuje się je wraz z innymi substancjami w formie mieszaniny (Pehkonen i wsp., 2008). Dzieje się tak w przypadku użycia trehalozy, która wraz z odtłuszczonym mlekiem lub sacharozą w zdecydowanie większym stopniu zwiększa przeżywalność bakterii *Lactobacillus salivarius* niż zastosowana osobno (Zayed i Ross, 2004). Do sacharydów odgrywających rolę krioprotektantów mikroorganizmów można zaliczyć także: glukozę (Suzuki i wsp., 1996), ksylozę, maltozę, rafinozę, dekstran, syntetyczny polimer sacharozy – ficoll oraz gumę arabską (Hubalek, 2003).

Prawie każdy proces przebiegający w komórkach roślinnych ulega zmianom pod wpływem deficytu wody. Odporność na suszę może zależeć od zdolności rośliny do unikania odwodnienia organizmu lub od tolerowania dehydratacji protoplastu. Rośliny zdolne do tolerowania desykacji⁴ (organizmy pojkilohydryczne) występują w środowiskach, w których okresy suszy przeplatają się z okresami zwiększonej wilgotności (Kopcewicz i Lewak, 2012). U organizmów pojkilohydrycznych szybko dochodzi do wyrównania zawartości wody między komórkami a ich środowiskiem, co jest spowodowane brakiem centralnej wakuoli w komórkach. Komórki bakterii, sinic, zielenic, grzybów, porostów kurczą się równomiernie w trakcie wysychania, lecz nie dochodzi do zniszczenia ich ultrastruktury.

4 Stan desykacji, tzn. utraty 90% (i więcej) wody komórkowej następuje wskutek wyrównania się potencjałów wody komórki i otaczającego powietrza. Dla większości roślin taka utrata wody oznacza śmierć, natomiast rośliny pojkilohydryczne lub zmarzłychwstanki uruchamiają szereg mechanizmów komórkowych pozwalających tolerować okresy suszy (Woźny i Przybył, 2004).

Rośliny zdolne do tolerowania desykacji przeżywiają okresy silnego odwodnienia dzięki przejściu w stan anabiozy charakteryzujący się prawie całkowitym ustaniem aktywności metabolicznej. W czasie postępującego odwodnienia syntetyzują specyficzne białka dehydryny, a do błon włączają niektóre cukry stabilizujące fosfolipidy (rafinoza, trehaloza). Dzięki tym procesom ultrastruktura silnie odwodnionych komórek ulega stosunkowo małym zmianom.

Gdy zwiększa się dostępność wody organizm pojkilohydryczny szybko się uwadnia, procesy metaboliczne ulegają uaktywnieniu, zdolność do wzrostu zostaje przywrócona. Niektórym roślinom podczas odwodnienia towarzyszy jednak intensywna degradacja organelli, których odbudowa może trwać 1-2 dni. Protisty i niektóre gatunki roślin naczyniowych zdolne do tolerowania odwodnienia, występują w gorących i suchych rejonach Afryki Płd. (*Camaegigas intrepidus*, *Myrothamnus flabellifolia*, *Talbotia elegans*) i Australii (*Borya nitida*, kilka gatunków traw). Do form pojkilohydrycznych należą też ziarna pyłku i nasiona. Dla większości gatunków podstawową przyczyną spoczynku nasion jest odwodnienie, które prowadzi do zmniejszenia zawartości wody do kilku procent suchej masy. Stanowi to jedną z przyczyn uniemożliwiających kiełkowanie dojrzałych nasion w owocu, jak i niesprzyjającym, ubogim w wodę środowisku. Hamowanie kiełkowania przez brak wody jest najczęściej wspomagane przez inne mechanizmy warunkujące spoczynek nasion. Kiełkowanie rozpoczyna się, gdy nasiono znajdzie się w warunkach umożliwiających pęcznienie poprzez uwodnienie, odpowiednią temperaturę i warunki świetlne oraz substancje występujące w atmosferze i w podłożu (Kopcewicz i Lewak, 2012).

U wieloletnich roślin klimatu umiarkowanego i arktycznego zdolność pędów i liści do tolerowania odwodnienia wykazuje regularne zmiany sezonowe. Naj-

wieksza jest w zimie, najmniejsza – w okresie szybkiego wzrostu tkanek na wiosnę. Wiele roślin może się zahartować w warunkach deficytu wody w środowisku, jeśli w trakcie wzrostu zostaną narażone na umiarkowany stres wodny trwający przez parę dni. W regulacji tego procesu uczestniczy m.in. kwas abscysynowy, od którego zależy indukcja ekspresji niektórych genów (Kopcewicz i Lewak, 2012).

Zdolność tolerowania skutków pozakomórkowej krystalizacji wody przez protoplast jest podstawowym warunkiem przeżycia okresów mrozu przez rośliny. Lód powstaje najczęściej poza protoplastem: w przestrzeniach międzykomórkowych oraz między ścianą komórkową i protoplastem. Dochodzi do odwodnienia i skurczu komórki. Do organizmów tolerujących zamarzanie należą niektóre słodkowodne protisty, mchy wszystkich stref klimatycznych oraz dwu- i wieloletnie rośliny lądowe, zasiedlające tereny, na których występują mroźne zimy. Ochrona przed dehydratacją polega głównie na zwiększeniu sił utrzymujących wodę w komórce, a więc na obniżeniu potencjału wody w komórce. Przyczynia się do tego akumulacja w wakuoli związków osmotycznie czynnych, takich jak węglowodany, poliole, małowcząsteczkowe związki azotowe oraz białka hydrofilowe w obszarze cytoplazmy. Ochrona struktur komórkowych przed skutkami silnej dehydratacji polega na wzbogaceniu błony w niektóre bardziej stabilne lipidy i nagromadzeniu w cytoplazmie substancji ochronnych – krioprotektantów (niektóre cukry, małowcząsteczkowe związki azotu: aminokwasy, np. prolina). Substancje te stabilizują strukturę błon i zapobiegają zmianom konformacyjnym białek (Kopcewicz i Lewak, 2012). Mechanizmy odpowiedzialne za tolerowanie dehydratacji wywołanej przez mróz są podobne lub takie same jak mechanizmy odporności komórek na odwodnienie spowodowane niedoborem wody w środowisku.

Zwierzęta żyjące w strefie klimatu umiarkowanego i chłodnego często są narażone na długotrwałe działanie silnego mrozu w zimie. Zwierzę może rozwinąć tolerancję na zamarzanie, co oznacza zdolność przeżycia w warunkach głębokiego zamrożenia i pomimo powstawania lodu w organizmie. Substancję obniżającą punkt zamarzania czyli substancję krioprotekcyjną odkryto po raz pierwszy u antarktycznej ryby *Trematomus borchgrevinki*, której krew zawiera glikoproteinę zapobiegającą przyłączaniu wody do sieci krystalicznej lodu, którego kryształy nie mogą dzięki temu rosnąć. Umożliwia to tej rybie życie w wodzie o temperaturze $-1,8^{\circ}\text{C}$ (Schmidt-Nielsen, 2008).

Substancją szczególnie skutecznie obniżającą punkt zamarzania, a jeszcze bardziej punkt przechłodzenia, jest glicerol. Występuje on często w dużym stężeniu w organizmie zimujących owadów, zwiększając ich tolerancję na zamarzanie. Na przykład u galasówki wierzbowej (*Rhabdophaga strobiloides*) organizm zawiera 50% glicerolu i stan przechłodzenia utrzymuje się aż do temperatury -60°C . Wiele owadów m.in. *Cephus cinctus*, *Eurosta solidaginis*, *Bracon cephi*, w płynach ustrojowych zawiera silnie stężony glicerol i inne alkohole wielowodorotlenowe, jak sorbitol. Stężenie tych substancji zwiększa się przed rozpoczęciem zimy w odpowiedzi na spadek temperatury otoczenia. U żaby leśnej (*Rana sylvatica*), w odpowiedzi na rozpoczęcie powstawania lodu szybko wzrasta stężenie glukozy we krwi, co prawdopodobnie zwiększa jej odporność na mróz (Schmidt-Nielsen, 2008).

Obecnie wiadomo, że w przemieszczaniu się wody przez błony w komórce bakterii, grzybów, roślin i zwierząt biorą udział białka akwaporyny (Chrispeels i Maurel, 1994; Kirch i wsp. 2000; Tyerman i wsp. 2002). Obecność akwaporyn znacznie zwiększa przeżywalność mikroorganizmów podczas stresu związanego z zamrażaniem. Może to mieć duże znaczenie na przy-

kład dla bakterii patogennych, które są roznoszone drogą kropelkową. Zimą komórki posiadające bardzo małą objętość zamarzają na mroźnym powietrzu szybko i równie szybko odmarzają po zetknięciu się z ciałami o wyższej temperaturze.

Odkrycie faktu, że obecność akwaporyn zwiększa komórkową tolerancję na szybkie zamarzanie, potwierdziło teoretyczne przypuszczenia, że transport wody cytoplazmatycznej przez błonę komórkową ma wpływ na tolerancję na zamarzanie. Podczas zamarzania komórek, wodne otoczenie zamarza szybciej niż wnętrze komórki, ponieważ posiada ono mniejszą osmolarność w stosunku do cytoplazmy (Mordaka i Dąbrowska, 2007). Zamarzanie pożywki i przechłodzenie się wnętrza komórki powoduje utworzenie się gradientu wody poprzez błonę komórkową. Ta sytuacja może być rozwiązana poprzez odpływ wody z komórki, bądź jej zamarznięcie (Tanghe i wsp., 2006). Zarówno dane doświadczalne jak i teoretyczne modele transportu wody wykazują wypływ wody z komórek w temperaturze poniżej zera. Wypływ ten jest znacznie większy podczas powolnego zamarzania komórek. Dane te wskazują, że proces transportu wody z komórki w warunkach chłodzenia komórek w temperaturze poniżej zera jest limitowany transportem wody przez błonę komórkową (Tanghe i wsp., 2006).

Jeżeli komórki zamarzają szybko, równie szybko wzrasta przechłodzenie cytoplazmy. Jednocześnie niewielka ilość wody zdąży wypłynąć z komórki poprzez błonę komórkową. Niska temperatura powoduje tworzenie się kryształów lodu, które niszczą błony komórkowe i degradują organelle komórkowe. W tych warunkach podwyższona ekspresja genów akwaporyn zwiększa przepuszczalność błony komórkowej dla wody i dzięki temu następuje usunięcie większej ilości wody z komórki. Większy odpływ wody spowoduje tworzenie się mniejszej ilości kryształów w błonie plazmatycznej,

a w rezultacie mniejsze uszkodzenie komórki. Dla zamarzania w tempie $30-35^{\circ}\text{C min}^{-1}$ występuje znaczne zmniejszenie wrażliwości na stres związany z zamarzaniem w komórkach, transformowanych, zdolnych do podwyższonej aktywacji akwaporyn. (Tanghe i wsp., 2006).

Badano między innymi wpływ akwaporyn na zamarzanie u *Candida albicans* i zauważono, że szczep nieposiadający akwaporyn miał znacznie gorszą przeżywalność w stosunku do szczepu posiadającego funkcjonalne białko (Tanghe i wsp., 2005).

Na odporność *Saccharomyces cerevisiae* na stres związany z zamarzaniem i rozmrażaniem ma również wpływ glicerol. Wewnątrzkomórkowy glicerol znacznie zwiększa tolerancję na zamarzanie i odmrażanie komórek drożdży (Izawa i wsp., 2004).

Skutecznymi substancjami ochronnymi są również alkohole polihydroksylowe, takie jak sorbitol, mannitol (Carvalho i wsp., 2003) oraz galaktikol (Hubalek, 2003). Ich mechanizm nie został jeszcze w pełni poznany, jednak stawiane są hipotezy próbujące wyjaśnić sposób ich działania (Carvalho i wsp., 2003). Według nich polialkohole utrzymują odpowiedni turgor komórek w wyniku magazynowania mannitolu przy niskiej aktywności wody, stabilizują strukturę lipidów błonowych bądź też chronią przed uszkodzeniami oksydacyjnymi wychwytyując reaktywne wolne rodniki tlenu (Carvalho i wsp., 2003). Znacznie rzadziej stosowane są alkohole monowodorotlenowe, przede wszystkim ze względu na ich toksyczny wpływ na wiele układów biologicznych. Spośród tej grupy czynników ochronnych w przypadku komórek eukariotycznych i prokariotycznych skutecznie oddziałują metanol i etanol. Jako krioprotektanty mogą służyć ponadto: glikol etylenowy, propylenowy (Hubalek, 2003) oraz dietylenowy (Postgate i Hunter, 1961), politlenek etylenu (PEG) a także glicerol (Hollander i Nell, 1954) choć jest on nieskuteczny w przy-

padku niektórych mikroorganizmów: gronkowców (*Staphylococcus*), pakietowców (*Micrococcus*), paciorkowców (*Streptococcus*), bakterii z rodzaju *Lactococcus*, *Pseudomonas*, maczugowca błonnicy (*Corynebacterium diphtheriae*) oraz pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*). Kolejną grupą związków używanymi do ochrony materiałów biologicznych podczas liofilizacji są sulfotlenki – rozpuszczalne w wodzie tioetery zawierające w cząsteczce jeden atom tlenu. Najczęściej stosowanym sulfotlenkiem jest bardzo efektywny dimetylosulfotlenek, którego zaletą jest szybkość przedostawania się do komórek (Hubalek, 2003).

Zdolność do zachowania żywotności komórek podczas liofilizacji posiadają także niektóre związki o niskiej masie cząsteczkowej, takie jak glutaminian sodu oraz asparaginian sodu. Ich skuteczność związana jest z obecnością w cząsteczkach tych związków, grupy aminowej, drugorzędowej grupy hydroksylowej lub obu grup jednocześnie (de Valdez i wsp., 1983). Glutaminian sodu zapewnia stabilność strukturalną dzięki interakcjom pomiędzy swoją grupą aminową a grupą karboksylową białek mikroorganizmów. Posiada on także zdolność do zatrzymywania większej ilości wilgoci powstałej podczas liofilizacji (Carvalho i wsp., 2003). Podobne właściwości wykazuje prolina (Martos i wsp., 2007).

Do krioprotektantów można zaliczyć również amidy: acetamid (Gibson i wsp., 1966), dimetyloacetamid oraz dimetyloformamid a także związki heterocykliczne: N-metylopirolidon i poliwinylpirolidon (Hubalek, 2003).

Zastosowanie procesu liofilizacji

Liofilizacja jest powszechnie wykorzystywana w przemyśle farmaceutycznym do poprawy trwałości i stabilności nietrwałych leków, zwłaszcza tych białko-

wych podczas długotrwałego przechowywania (Tang i Pikal, 2004). Ponadto preparaty liofilizowane są łatwiejsze w transporcie oraz składowaniu (Wang, 2000). Metoda ta służy również do produkcji tabletek ulegających szybkiemu rozpadowi w jamie ustnej (ang. orally disintegrating tablets – ODTs). Zaletą liofilizacji jest możliwość tworzenia leków zawierających termolabilne⁵ substancje lecznicze, jednak tabletki takie są podatne na uszkodzenia mechaniczne i wymagają zabezpieczeń przed wilgocią (Jachowicz i Krupa, 2010). Do preparatów w postaci tabletek ODTs należą m.in. paracetamol i ibuprofen. Ponadto liofilizacja znajduje zastosowanie przy wytwarzaniu antybiotyków i szczepionek. Przykładem może być szczepionka przeciwko gruźlicy (*Bacillus Calmette-Guérin* – BCG) (Ungar i wsp., 1962) i grypie (Amorij i wsp., 2008). Procesowi liofilizacji poddaje się także bakterie wykorzystywane w produkcji probiotyków. Uzyskane preparaty są trwałe oraz odznaczają się wysokim poziomem żywotności podczas przechowywania (Jach i wsp., 2013). Bakterie mlekowe (ang. lactic acid bacteria – LAB) odgrywają kluczową rolę w produkcji żywności fermentowanej, w tym produktów mlecznych i wina a także warzyw i mięsa. Przemysłowe wykorzystanie LAB jako kultury starterowej i/lub probiotycznej opiera się na zagęszczeniu bakterii oraz zapewnieniu długoterminowej dostawy żywych i funkcjonalnych kultur, co osiąga się poprzez liofilizację (Carvalho i wsp., 2003).

Liofilizacja umożliwia także przechowywanie ludzkich tkanek do przeszczepów nawet w temperaturze pokojowej (Gresham, 1964). Ma ona jednak pewną wadę, a mianowicie pozbawia tkankę kostną białek wzrostowych kości (ang. bone morphogenetic protein – BMP), co negatywnie wpływa na proces osteogenezy (Łobacz,

5 Związek termolabilny – związek chemiczny wrażliwy na wysoką temperaturę. Po poddaniu go wysokiej temperaturze ulega rozpadowi lub traci aktywność biologiczną. Do związków termolabilnych zaliczamy m.in. białka, kwasy nukleinowe.

2004). Procesowi można poddawać tętnice (Marrangoni i Cecchini, 1951) a także więzadła i łąkotki dzięki czemu mogą być one przechowywane do pięciu lat, choć ich barwa, wygląd oraz struktura zostają nieco osłabione. Uwodnienie zliofilizowanych więzadeł musi być przeprowadzone minimum 30 minut przed transplantacją (Vangsness i wsp., 2003). Liofilizacja umożliwia również konserwowanie enzymów, przeciwciał monoklonalnych (Fissore i Barresi, 2011) oraz osocza krwi. Osocze takie zachowuje stabilność nawet w ciągu dwóch lat przechowywania w temperaturze otoczenia oraz jest łatwe do uwodnienia (Daban i wsp., 2010).

Kolejną gałęzią przemysłu wykorzystującą liofilizację jest kosmetologia. Suszeniu sublimacyjnemu poddaje się algi wchodzące w skład: kremów, mleczek, toników, maseczek, szamponów, odżywek do włosów, żeli do mycia oraz mydeł, dzięki czemu zachowują one niemal wszystkie swoje właściwości (Schroeder, 2010).

Liofilizacja ma również zastosowanie w przemyśle spożywczym.

Liofilizowana żywność charakteryzuje się niską gęstością usypową, dużą porowatością, właściwym smakiem i aromatem oraz lepszymi właściwościami nawadniającymi w porównaniu do alternatywnych metod suszenia, takich jak suszenie próżniowe czy osmotyczne z wykorzystaniem wysokich stężeń soli (Krokida i wsp., 1998). Ponadto dzięki temu, że produkty są suszone w niskiej temperaturze ich najważniejsze składniki odżywcze, takie jak witaminy i białka nie ulegają degradacji (Serownik, 2012). Liofilizację wykorzystuje się do produkcji: suszonych owoców, warzyw i ziół, czy kawy rozpuszczalnej (Piotrowski i wsp., 2008), przypraw (Sujka i wsp., 2013) oraz składników do gotowych dań (Pan i wsp., 2008), w tym suszu mięsnego (Hęś i wsp., 2011). Porowata struktura w przypadku liofilizowanego mięsa stanowi problem, ponieważ podczas przechowywania do porów dostaje się tlen. Następnie dyfunduje on do

wnętrza struktury i prowadzi do oksydacji tłuszczów, czyli ich jęlczenia. W związku z tym oprócz wykorzystywania opakowań nieprzepuszczających powietrza konieczne jest także stosowanie środków przeciwutleniających, najlepiej naturalnych, takich jak witamina C i E czy polifenoli ekstrahowanych z roślin (Hęś i wsp., 2011). Głównymi przeszkodami rozpowszechnienia metody liofilizacji są stosunkowo duże koszty oraz długi czas trwania procesu (Sujka i wsp., 2013). Na skalę laboratoryjną liofilizacja wykorzystywana była do suszenia niektórych owoców i warzyw, np.: truskawek (Ciurzyńska i Lenart, 2009), borówek (Paślawska, 2005), owoców dzikiej róży (Rutkowska i wsp., 2012), awokado (Souza i wsp., 2011), pomidorów (George i wsp., 2011), korzeni marchwi (Gawalek, 2005), selera (Sujka i wsp., 2013); grzybów: pieczarek (Serownik, 2012) i drożdży (Kamińska-Dwórznińska i Skoniecka, 2013) oraz liści herbaty (Jaiprakash i wsp., 2003). Żywność liofilizowana początkowo wykorzystywana była jedynie przez wojsko i podczas wypraw kosmicznych. Obecnie wraz ze zwiększeniem dostępności liofilizowanych produktów spożywczych i obniżeniem ich cen na rynku, żywność ta jest coraz częściej wykorzystywana przez osoby prowadzące aktywny tryb życia, np. uprawiające sporty ekstremalne lub turystykę.

Liofilizacja ma swoje zastosowanie również w konserwacji zabytków archeologicznych (Morris i Seifert, 1978). Umożliwia ona konserwowanie materiałów pochodzenia organicznego, takich jak mokre drewno (Babiński, 2007), skóra i tkaniny (Jakes i Mitchell, 1992).

Liofilizacja pozwala na usunięcie wody bez deformacji i uszkodzenia struktury suszonego drewna tak aby zabytek po konserwacji zachował swój pierwotny kształt. Częścią metody liofilizacji jest dobór rodzaju i stężenia impregnatu (np. glikole polietylenowe, cukry). Metoda suszenia próżniowego pozwala na mniejsze wchłonięcie środków modyfikujących do konserwo-

wanego drewna aniżeli suszenie drewna na powietrzu. Przykładami zastosowania liofilizacji w konserwacji drewnianych obiektów wydobywanych z mokrych stanowisk archeologicznych są: drewno dębu z elementów konstrukcyjnych budynku z XIII wieku odkrytego w Szczecinie (Babiński, 2007), drewno sosny zwyczajnej pobrane z elementu konstrukcyjnego budynku z XVII wieku odkrytego w Gdańsku (Babiński, 2007a). Metodę freeze-drying zastosowano do osuszania drewna jesionu i leszczyny pochodzących z nawarstwień wczesnośredniowiecznych z Jeziora Żerań (Grupa i wsp., 2012). W 2015 roku w Oslo, na międzynarodowych warsztatach konserwatorskich, zorganizowanych przez Norweskie Muzeum Morskie w Oslo i Narodowe Muzeum Morskie w Gdańsku, omawiano konserwację i rekonstrukcję drewnianych wraków podnoszonych z dna morskiego z zastosowaniem najnowocześniejszej metody konserwacji wraków – freeze-drying mającej na celu ratowanie bezcennych dla kultury norweskiej łodzi z IX wieku.

Suszenie próżniowe jest stosowane na całym świecie również w konserwacji zabytków skórzanych wydobywanych z mokrego środowiska. W wyniku długotrwałego zalegania w ziemi skóra traci swoje pierwotne właściwości oraz narażona jest na biodegradacyjne działanie drobnoustrojów. Dlatego też należy wymienić wodę, która jest przesączona na impregnat zapewniający zachowanie niezmięnionej struktury zabytku skózanego. Suszenie sublimacyjne zastosowano w badaniach prowadzonych na skórze bydlęcej butów pochodzących z XIV/XV wieku znalezionych w Gdańsku (Drażkowska i wsp., 2011).

Proces liofilizacji to obecnie jedna z najskuteczniejszych metod suszenia papieru, pochodzącego z zalanych zbiorów bibliotecznych czy archiwalnych. Zaletą liofilizacji jest możliwość stabilizacji mokrego papieru poprzez jego zamrażanie a to pozwala na zahamowa-

nie procesów niszczących papier m.in. rozwój grzybów pleśniowych. Metoda ta daje dobre rezultaty: utrwale nie atramentu i barwników, wysuszone kartki nie ulegają większym odkształceniom i łatwo rozdzielają się (Stachowska-Musiał i Zemło, 1999). Ponadto metoda ta nie naraża pracowników na długotrwały kontakt z potencjalnie niebezpiecznym materiałem biologicznym. W 1997 roku podczas wielkiej powodzi, po raz pierwszy w Polsce, zastosowano liofilizację jako metodę suszenia zalanych księgozbiorów z Biblioteki Uniwersyteckiej we Wrocławiu.

Liofilizacja, proces złożony pozwalający na znaczne zachowanie właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych produktu. Umożliwia to konserwowanie, stabilność oraz długotrwałe przechowywanie m.in. produktów spożywczych, nietrwałych leków, probiotyków, osocza krwi i produktów spożywczych. Usunięcie wody z materiału przy niskiej temperaturze, powoduje zahamowanie większości reakcji chemicznych i mikrobiologicznych dzięki czemu uzyskuje się produkt o bardzo wysokiej jakości. W warunkach naturalnych bardzo istotny jest proces odwodnienia, który warunkuje przetrwanie organizmów w niekorzystnych warunkach środowiskowych. Jest niezbędny podczas wytwarzania nasion, zapewnia więc ciągłość gatunków. Z kolei proces odwodnienia osmotycznego jest stosowany do uzyskiwania żywności o małym stopniu przetworzenia, co pozwala na zachowanie większej wartości odżywczej i walorów sensorycznych produktów. Metoda suszenia liofilizacyjnego stosowana w konserwacji mokrych zabytków drewnianych ma istotne znaczenie dla zachowania stabilizacji drewna oraz uniknięcia nieodwracalnych zmian w jego strukturze drewna. Nadal głównym ograniczeniem liofilizacji są jej wysokie koszty. Z uwagi na możliwość wszechstronnego zastosowania, w zakresie omawianego tematu możemy w przyszłości spodziewać się kolejnych interesujących rozwiązań. Za-

interesowanie procesami liofilizacji i odwodnienia u organizmów prawdopodobnie będzie wciąż wzrastało.

Literatura

- Amorij JP, Huckriede A, Wilschut J, Frijlink HW, Hinrichs WL (2008). Development of stable influenza vaccine powder formulations: challenges and possibilities. *Pharmaceutical Research*, 25:1256-1273.
- Babiński L (2007). Influence of pre-treatment on shrinkage of freeze-dried archaeological oak-wood. *Acta Scientiarum Polonorum*, 6 (4):89-99.
- Babiński L (2007a). Influence of pre-treatment on shrinkage of freeze-dried archaeological pine-wood. *Folia Forestalia Polonica, Series B*, 38:3-12.
- Berner D, Viernstein H (2006). Effect of protective agents on the viability of *Lactococcus lactis* subjected to freeze-thawing and freeze-drying. *Scientia Pharmaceutica*, 74:137-149.
- Carvalho AS, Silva J, Ho P, Teixeira P, Malcata FX, Gibbs P (2003). Protective effect of sorbitol and monosodium glutamate during storage of freeze-dried lactic acid bacteria. *Lait*, 83:203-210.
- Carvalho AS, Silva J, Ho P, Teixeira P, Malcata FX, Gibbs P (2004). Relevant factors for the preparation of freeze-dried lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, 14:835-847.
- Castro HP, Teixeira PM, Kirby R (1997). Evidence of membrane damage in *Lactobacillus bulgaricus* following freeze drying. *Journal of Applied Microbiology*, 82:87-94.
- Chrispeels MJ, Maurel C (1994). Aquaporins: the molecular basis of facilitated water movement. *Plant Physiology*, 105: 9-13.
- Ciurzyńska A, Lenart A (2009). The influence of temperature on rehydration and sorption properties of freeze-dried strawberries. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 1:15-23.
- Crowe JH, Crowe LM, Carpenter JF, Aurell Wistorm C (1987). Stabilization of dry phospholipid bilayers and proteins by sugars. *Biochemical Journal*, 242:1-10.
- Daban JL, Clapson P, Ausset S, Deshayes AV, Sailliol A (2010). Freeze dried plasma: a french army speciality. *Critical Care*, 14:412.
- Dąbrowska G, Zdziechowska E, Hryniewicz K (2016). Ocena potencjalnej przydatności bakterii ryzosferowych w procesie fitodesalinizacji gleb. *Ochrona Środowiska*, 38:9-14.
- de Valdez GF, de Giori GS, de Ruiz Holgado AAP, Oliver G (1983). Protective effect of adonitol on Lactic Acid Bacteria subjected to freeze-drying. *Applied and Environmental Microbiology*, 45:302-304.
- Drażkowska A, Grupa, Płociennik P, Rybka K, Szatkowski J, Zawadzka A (2011). Using vacuum freeze-drying for waterlogged ar-

- chaeological leather conservation. Sprawozdania Archeologiczne, 63:357-385.
- Fissore D, Barresi AA (2011). Scale-up and process transfer of freeze-drying recipes. *Drying Technology*, 29:1673-1684.
- Franks F (1998). Freeze-drying of bioproducts: putting principles into practice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 45:221-229.
- Gawalek J (2005). Wpływ warunków konwekcyjnego i sublimacyjnego suszenia korzeni marchwi na jakość suszu. *Inżynieria Rolnicza*, 11:119-127.
- George S, Tourniaire F, Gautier H, Goupy P, Rock E, Caris-Veyrat C (2011). Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chemistry*, 124:1603-1611.
- Gibson CA, Landerkin GB, Morse PM (1966). Effects of additives on the survival of Lactic *Streptococci* in frozen storage. *Applied Microbiology*, 14:665-669.
- Gresham RB (1964). Freeze-drying of human tissue for clinical use. *Cryobiology*, 1:150-156.
- Grupa M, Kaźmierczak R, Rybka K, Płociennik P, Zawadzka A (2012). Ash wood and european hazel conservation with polyethylene glycol 400 using vacuum freeze drying. *Sprawozdanie Archeologiczne*, 64:411-430.
- Hęś M, Jeżewska M, Szymandera-Buska K, Gramza-Michałowska A (2011). Wpływ dodatków przeciwdziałających na wybrane wskaźniki wartości odżywczej mięsa suszonego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5:94-106.
- Hollander DH, Nell EE (1954). Improved preservation of *Treponema pallidum* and other bacteria by freezing with glycerol. *Applied Microbiology*, 2:164-170.
- Hubalek Z (2003). Protectants used in the cryopreservation of microorganisms. *Cryobiology*, 46:205-229.
- Izawa S, Kieda K, Maeta K, Inoue Y (2004) Deficiency in the glycerol channel Fps1p confers increased freeze tolerance to yeast cells: application of the *fps1* mutant to frozen dough technology. *Appl Microbiol Biotechnol*. 66: 303-305.
- Jach M, Łoś R, Maj M, Malm A (2013). Probiotyki- aspekty funkcjonalne i technologiczne. *Postępy Mikrobiologii*, 52:161-170.
- Jachowicz R, Krupa A (2010). Tabletki ulegające rozpadowi w jamie ustnej. Kierunki badań, technologie. Część I. *Farmacja Polska*, 66:443-447.
- Janczak K, Znajewska Z, Narbutt O, Raszewska-Kaczor A, Dąbrowska G (2016) *Serratia* sp. jako składnik preparatów wspomagających degradację PLA i PCL. *Przemysł Chemiczny*, 95:943-947.
- Jaiprakash MR, Pillai B, Venkatesh P, Subramanian N, Sinkar VP, Sadhale PP (2003). RNA isolation from high-phenolic freeze-dried tea (*Camellia sinensis*) leaves. *Plant Molecular Biology Reporter*, 21:465-466.
- Jakes KA, Mitchell JC (1992). The recovery and drying of textiles from a deep ocean historic shipwreck. *Journal of American Institute for Conservation*, 31:343-353.
- Kamińska-Dwórznicza A, Skoniecka A (2013). Wpływ metody i warunków suszenia na aktywność drożdży piekarskich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 573:35-42.
- Kirch HH, Vera-Estrella R, Goldack D, Quigley F, Michalowski CB, Barkla BJ, Bohnert HJ (2000). Expression of water channel proteins in *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiology*, 123: 111-124
- Kopcewicz J., Lewak S. (pod red.) (2012). *Fizjologia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Krokida MK, Karathanos VT, Maroulis ZB (1998). Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 35:369-380.
- Leslie SB, Israeli E, Lighthart B, Crowe JH, Crowe LM (1995). Trehalose and sucrose protect both membranes and proteins in intact bacteria during drying. *Applied and Environmental Microbiology*, 61:3592-3597.
- Łobacz M (2004). Rys historyczny, przegląd i klasyfikacja materiałów kościozastępczych oraz przeszczepów tkanki kostnej. Dostępny na: http://www.rsi2004.lubelskie.pl/doc/sty7/art/Lobacz_Michal_art.pdf
- Marrangoni AG, Cecchini LP (1951). Homotransplantation of arterial segments preserved by the freeze-drying method. *Annals of Surgery*, 134:977-983.
- Martos GI, Minahk CJ, de Valdez GF, Morero R (2007). Effects of protective agents on membrane fluidity of freeze-dried *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*. *Letters in Applied Microbiology*, 45:282-288.
- Miao S, Mills S, Stanton C, Fitzgerald GF, Ross Y, Ross RP (2008). Effect of disaccharides on survival during storage of freeze dried probiotics. *Dairy Science and Technology*, 88:19-30.
- Miyamoto-Shinohara Y, Imaizumi T, Suke-Nobe J, Murakami Y, Kawamura S, Komatsu Y (2000) Survival rate of microbes after freeze-drying and long-term storage. *Cryobiology* 41:251-255.
- Mordaka P, Dąbrowska G (2007). Różnorodność i regulacja kanałów wodnych w świecie roślin. *Postępy Biochemii*, 53: 84-90.
- Morgan CA, Herman N, White PA, Vesey G (2006). Preservation of micro-organisms by drying. *Journal of Microbiological Methods*, 66:183-193.
- Morris K, Seifert BL (1978). Conservation of leather and textiles from the defence. *Journal of American Institute for Conservation*, 18:33-43.
- Stachowska-Musiał E i Zemło L (1999). Ratujmy nasze dziedzictwo. Liofilizacja jako metoda ratowania zalanych zbiorów i jej zastosowanie w Polsce, Seria: Notes Konserwatorski, 3:175-186.
- Nireesha GR, Divya L, Sowmya C, Venkateshan N, Babu MN, Lavakumar V (2013). Lyophilisation/freeze drying – an review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences*, 3:87-98.
- Pan Z, Shih C, McHugh TH, Hirschberg E (2008). Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT – Food Science and Technology*, 41:1944-1951.
- Pasławska M (2005). Zmiany barwy suszonych borówek i malin zachodzące podczas przechowywania. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2:86-92.
- Pehkonen KS, Roos YH, Miao S, Ross RP, Stanton C (2008). State transitions and physicochemical aspects of cryoprotection and stabilization in freeze-drying of *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG). *Journal of Applied Microbiology*, 104:1732-1743.
- Perry SF (1998). Freeze-drying and cryopreservation of bacteria. *Molecular Biotechnology*, 9:59-64.
- Piotrowski D, Biront J, Lenart A (2008). Barwa i właściwości fizyczne odwadnianych osmotycznie i suszonych sublimacyjnie truskawek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4:216-226.
- Postgate JR, Hunter JR (1961). On the survival of frozen bacteria. *Journal of General Microbiology*, 26:367-378.
- Rovero G, Baldi G, Brutini R (1991). Experimentation and modeling of pharmaceutical lyophilization using a pilot plant. *Chemical Engineering Journal*, 45:B67-B77.
- Rutkowska J, Adamska A, Pielat M, Bialek M (2012). Porównanie składu i właściwości owoców dzikiej róży (*Rosa rugosa*) utrwalonych metodami liofilizacji i suszenia konwencjonalnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4:32-43.
- Schroeder G (red.) (2010). *Nanotechnologia, kosmetyki, chemia supramolekularna*. Wydanie I, Cursiva, str. 146-147.
- Serownik M (2012). Procesowa charakterystyka liofilizacji pieczarek wykonana z wykorzystaniem różnicowej kalorymetrii skaningowej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 570:79-85.
- Schmidt-Nielsen K. (2008). *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Siaterlis A, Deepika G, Charalampopoulos D (2009). Effect of culture medium and cryoprotectants on the growth and survival of probiotic lactobacilli during freeze drying. *Letters in Applied Microbiology*, 48:295-301.
- Souza DS, Pimentel JDR, Prado MM, Marques LG, Narain N (2011). Rehydration characteristics of freeze-dried avocado (*Persea americana*). Dostępny na: <http://www.icef11.org/content/papers/aft/AFT1155.pdf>
- Sujka K, Koczoń P, Górka A, Wirkowska M, Reder M (2013). Senoryczne i spektralne cechy wybranych wyrobów spirytusowych poddanych procesowi liofilizacji. *Żywność. Nauka. Technologia.*

- Jakość, 4:184-194.
- Suzuki T, Komatsu H, Miyajima K (1996). Effects of glucose and its oligomers on the stability of freeze-dried liposomes. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1278:176-182.
- Tang X, Pikal MJ (2004). Design of freeze-drying processes for pharmaceuticals: practical advice. *Pharmaceutical Research*, 21:191-200.
- Tanghe A, van Dijck P, Dumortier F, Teunissen A., Hohmann S, Thevelein JM (2005). Aquaporin expression correlates with freeze tolerance in baker's yeast, and overexpression improves freeze tolerance in industrial strains. *Applied and Environmental Microbiology*, 68: 5981-5989.
- Tanghe A, van Dijck P, Thevelein JM (2006). Why do microorganisms have aquaporins? *Trends in Microbiology*, 14: 78-85.
- Tyerman SD, Niemietz CM, Bramley H (2002). Plant aquaporins: multifunctional water and solute channels with expanding roles. *Plant Cell Environment*, 25: 173-194. .
- Ungar J, Muggleton PW, Dudley JAR, Griffiths MI (1962). Preparation and properties of a freeze-dried B.C.G. vaccine of increased stability. *British Medical Journal*, 2:1068-1089.
- Vangsness CT Jr., Garcia IA, Mills CR, Kainer MA, Roberts MR, Moore TM (2003). Allograft transplantation in the knee: tissue regulation, procurement, processing, and sterilization. *The American Journal of Sports Medicine*, 31:474-81.
- Wang W (2000). Lyophilization and development of solid protein pharmaceuticals. *International Journal of Pharmaceutics*, 203:1-60.
- Woźny A, Przybył K (pod red.) (2004). Komórki roślinne w warunkach stresu. T. I. Komórki *in vivo*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- Zayed G, Roos YH (2004). Influence of trehalose and moisture content on survival of *Lactobacillus salivarius* subjected to freeze-drying and storage. *Process Biochemistry*, 39:1081-1086.
- Zhao G, Zhang G (2005). Effect of protective agents, freezing temperature, rehydration media on viability of malolactic bacteria subjected to freeze-drying. *Journal of Applied Microbiology*, 99:333-338.

The process of freeze-drying, its wide applications and defense mechanisms against dehydration

Grażyna Dąbrowska, Henryk Paweł Dąbrowski, Olga Narbutt

Freeze-drying is a process consisting of three stages: freezing, sublimation and desorption. During the process a solvent is removed from the frozen material by sublimation. Thanks to the fact that the process takes place in low temperature, all the chemical properties of the product are preserved. Despite the fact that the process of freeze-drying is time-consuming and relatively expensive, it is widely used in preserving biological material, e.g. bacteria, fungi, human tissue and plasma. Furthermore, it is also used in producing probiotics, antibiotics, vaccines and dried food. Freeze-drying has been successfully used in conservation of archaeological relics such as water-logged wood, leather, fabric or paper.

key words: freeze-drying, vacuum drying, conservation of archaeological relics, biopreparations

Karbapenemazy KPC – niebezpieczne ogniska epidemiologiczne w Polsce i na świecie

Sandra Górską

DOI: 10.24131/3247.170204

Streszczenie:

Nadużywanie i często nieuzasadnione stosowanie antybiotyków przyniosło negatywne skutki w postaci selekcji bakteryjnych szczepów opornych na leczenie farmakologiczne. Patogenne drobnoustroje wykształciły niebezpieczne mechanizmy oporności w kierunku skutecznego działania leków z grupy tzw. „ostatniej szansy”. Artykuł przedstawia charakterystykę szczepów *Enterobacteriaceae*, wytwarzających karbapenemazy typu KPC – enzymów zdolnych do hydrolizy wszystkich antybiotyków β -laktamowych.

Słowa kluczowe: *Enterobacteriaceae*, karbapenemaza, *K. pneumoniae*, KPC, transpozon

otrzymano: 5.04.2017; przyjęto: 20.06.2017; opublikowano: 16.08.2017



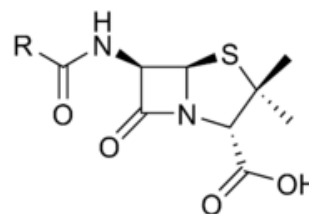
mgr Sandra Górską: Katedra i Zakład Technologii Leków i Biotechnologii Farmaceutycznej Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Wprowadzenie

Karbapenemy to jedna z najnowszych generacji β -laktamów, wprowadzona do leczenia w połowie lat 80, o najszerszym zakresie działania spośród wszystkich antybiotyków oraz bardzo dobrych parametrach farmakologicznych. Uznawane są za leki „ostatniej szansy” i stosowane w leczeniu zakażeń, których sprawcą są chorobotwórcze bakterie. Charakteryzują się szerokim spektrum działania w stosunku do tlenowych i beztlenowych patogennych drobnoustrojów, zarówno Gram-dodatnich jak i Gram-ujemnych. Cechą odróżniającą karbapenemy od penicylin jest posiadanie podwójnego wiązania w pięcioczłonowym pierścieniu oraz występowanie grupy $-\text{CH}_2$, zastępującej atom siarki, a także charakterystyczne ustawienie łańcucha bocznego w pozycji *trans* zamiast powszechnie występującej u innych β -laktamów – pozycji *cis* (Ryc. 1.; Ryc.2.) To właśnie ta ostatnia właściwość powodowała, że przez wiele lat były one niewrażliwe na działanie β -laktamaz.

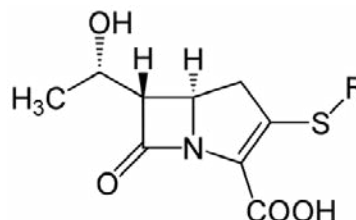
Ryc. 1. Wzór strukturalny penicyliny

Źródło:
<http://m.123rf.com>



Ryc. 2. Wzór strukturalny karbapenemów

Źródło:
<http://m.123rf.com>



Mechanizm działania karbapenemów jest podobny do mechanizmu działania innych antybiotyków β -laktamowych i polega na zahamowaniu syntezy ściany komórkowej bakterii. Częsteczką β -laktamu łączy się z bakteryjną peptydazą – białkiem PBP, które jest zaangażowane w syntezę peptydoglikanu. Wysokie powinowactwo białka PBP względem antybiotyku β -laktamowego skutkuje blokadą aktywności enzymatycznej białka, co prowadzi do zaburzeń powstawania peptydoglikanu, a w konsekwencji powoduje lizę komórki bakteryjnej (Ubukata K., 2000). U bakterii Gram-ujemnych opisany proces zachodzi w przestrzeni okołoplazmatycznej (między błoną a ścianą komórkową), natomiast u bakterii Gram-dodatnich – na powierzchni komórek (Kahan F., 1983; Lipman B., 1988). Uważa się, że prawidłowa antybiotykoterapia lekami β -laktamowymi jest wynikiem niezależnego działania trzech czynników:

- Zdolności do penetracji przez ścianę komórkową pałeczek Gram-ujemnych.
- Wytwarzania białek PBP o wysokim powinowactwie do β -laktamów.
- Oporności na działanie **β -laktamaz, które wytwarzane są przez bakterie Gram-dodatnie i Gram-ujemne** (Lipman B., 1988).

Karbapenemy są pochodną naturalnego antybiotyku, tienamycyny, wytwarzanego przez żyjący w glebie drobnoustroj – *Streptomyces cattleya* (Birnbaum J., 1985). Tienamycyna jest związkiem nietrwałym chemicznie, co nie pozwala na jej zastosowanie w leczeniu (Basker M., 1982). Poszukiwania trwałych jej pochodnych, zachowujących aktywność przeciwbakteryjną, doprowadziły do odkrycia innych związków o podobnej budowie i właściwościach. Były nimi: imipenem, meropenem, ertaprenem, doriprenem, panipenem (betamipron), biapenem (Bassetti M., 2009),

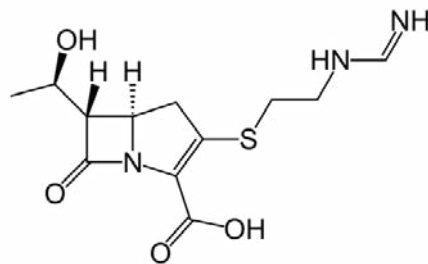
z czego w leczeniu stosowane są pierwsze cztery wymienione związki.

Imipenem (Ryc.3.) jest lekiem bardzo aktywnym wobec ziarenkowców Gram-dodatnich, a także wobec innych drobnoustrojów tlenowych i beztlenowych Gram-dodatnich i Gram-ujemnych. W organizmie człowieka jest on w znacznym stopniu inaktywowany w nerkach przez dehydropeptydazę, dlatego w leczeniu stosowany jest w skojarzeniu z cilastatyną, która jest konkurencyjnym inhibitorem enzymu nerkowego. Cilastatynie przypisuje się również działanie „nefroprotekcyjne”, polegające na zapobieganiu odkładaniu antybiotyku w komórkach nabłonka cewek nerkowych (Fernandes R., 2013).

Meropenem (Ryc.4) ma podobny zakres działania do imipenemu, jednakże jest czterokrotnie mniej aktywny wobec ziarenkowców, zaś bardziej aktywny wobec szczepów *Pseudomonas aeruginosa* i innych bakterii Gram-ujemnych. Różni się od imipenemu tym, że posiada łańcuch boczny przy węglu C-2 oraz grupę metylową przy węglu C-1, która odpowiada za odporność na rozkładanie leku przez dehydropeptydazę I, enzymu wytwarzanego przez komórki nabłonkowe kanalików nerkowych. W związku z tym, podawanie meropenemu nie wymaga stosowania inhibitora tego enzymu (cilastatyny) dla zachowania aktywności antybiotyku (Fernandes R., 2013).

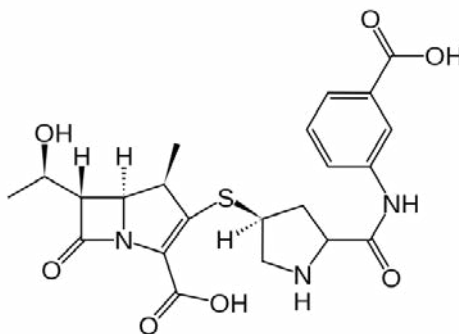
Ertapenem (Ryc.5) charakteryzuje się podobnym spektrum przeciwbakteryjnym, co inne karbapenemy, jednakże w odróżnieniu od nich nie wykazuje aktywności wobec szczepów pałeczek niefermentujących, takich jak *P. aeruginosa* i *Acinetobacter* spp. (Shah P., 2003).

Doripenem (Ryc.6) jest lekiem z rodziny karbapenemów, który najpóźniej z wyżej wymienionych antybiotyków został wprowadzony do leczenia. Wykazuje on szerokie spektrum działania wobec bakterii Gram-



Ryc. 3. Wzór strukturalny imipenemu

Źródło: <http://m.123rf.com/>



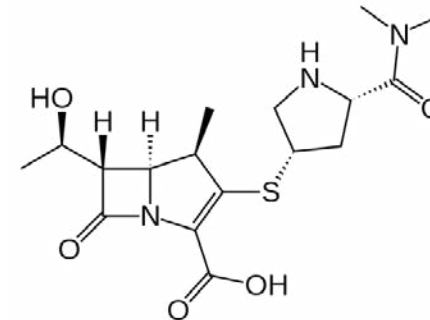
Ryc. 5. Wzór strukturalny ertapenemu

Źródło: <http://m.123rf.com/>

-dodatnich i Gram-ujemnych oraz jest aktywny wobec prawie wszystkich patogennych bakterii beztlenowych. Charakteryzuje się nieznacznie szerszym działaniem wobec szczepów *P. aeruginosa* w porównaniu do imipenemu i meropenemu (Fritsche T., 2005).

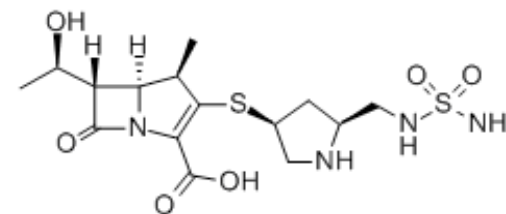
Mechanizmy oporności bakterii na karbapenemy

Gwałtowny wzrost oporności bakterii chorobotwórczych na antybiotyki stał się wyzwaniem dla współczesnej medycyny. Oporność bakterii na β -laktamy, w tym



Ryc. 4. Wzór strukturalny meropenemu

Źródło: <http://m.123rf.com/>



Ryc. 6. Wzór strukturalny doripenemu

Źródło: <http://m.123rf.com/>

karbapenemy, klasyfikuje się w obrębie czterech podstawowych, niezależnych od siebie strategii:

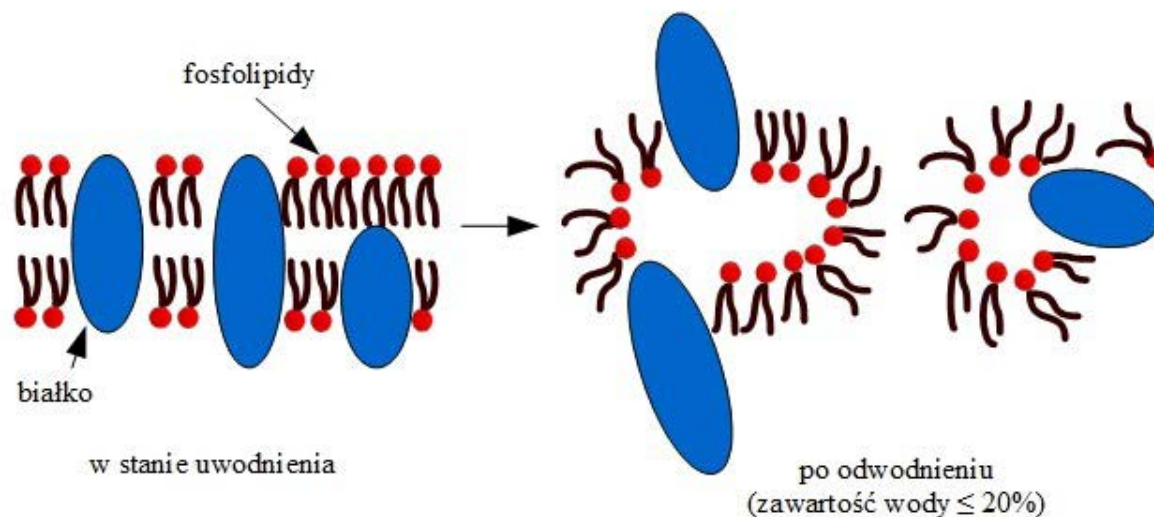
- Wytwarzanie białek PBP o niskim powinowactwie do β -laktamów.
- Zmniejszanie przepuszczalności osłon komórkowych bakterii.
- Wypompowywanie leków z komórki bakteryjnej.
- Wytwarzanie β -laktamaz – enzymów hydrolizujących cząsteczki β -laktamów.

Pierwsza grupa mechanizmów, występuje u bakterii Gram-ujemnych oraz u Gram-dodatnich. Ta strategia

związana jest z białkami PBP, a mechanizmy oporności zależne od tych białek są dwójakiego rodzaju. Pierwszy z nich polega na modyfikacji naturalnych białek PBP, tak aby uniemożliwić im powinowactwo do leków β -laktamowych, ale jednocześnie nie blokować ich funkcji katalitycznych w procesie wytwarzania ściany komórkowej bakterii. Modyfikacje te następują w wyniku mutacji w genach *pbp* lub wskutek nagromadzenia ich zmutowanych fragmentów od innych organizmów i zastępowania nimi homologicznych odcinków genów własnych. Drugi mechanizm związany jest z pozyskiwaniem obcego genu kodującego białko PBP, które nie oddziałuje z pierścieniem β -laktamowym (Livermore D., 1996).

Dwie kolejne strategie są typowe wyłącznie dla bakterii Gram-ujemnych i skutkują ograniczeniem przedostania się antybiotyku β -laktamowego do komórki bakteryjnej. Pierwsza strategia związana jest ze zmniejszeniem liczby lub likwidacją kanałów porynowych w błonie zewnętrznej bakterii. Skutkuje to zmniejszeniem przedostania się cząsteczek antybiotyku β -laktamowego do przestrzeni periplazmatycznej komórki bakterii. Druga strategia polega na aktywnym wypompowywaniu leku z komórki bakteryjnej za pomocą specyficznych pomp białkowych, które do swej pracy wymagają energii pochodzącej z rozpadu wysokoenergetycznych wiązań fosforowych w ATP [Livermore D., 1996; Medeiros A., 1997; Roberts M., 1996].

Ostatnią grupą mechanizmów oporności jest wytwarzanie β -laktamaz, czyli specyficznych enzymów rozkładających pierścień antybiotyku β -laktamowego. Jest to najbardziej rozpowszechniony i najgroźniejszy mechanizm antybiotykooporności, który występuje zarówno u bakterii Gram-ujemnych jak i Gram-dodatnich., jednak większe znaczenie odgrywa u tych pierwszych (Livermore D., 2006). β -laktamazy hydrolizują wiązanie amidowe w pierścieniu β -laktamowym, co



Ryc. 2. Zmiana struktury błony komórkowej u roślin pod wpływem odwodnienia

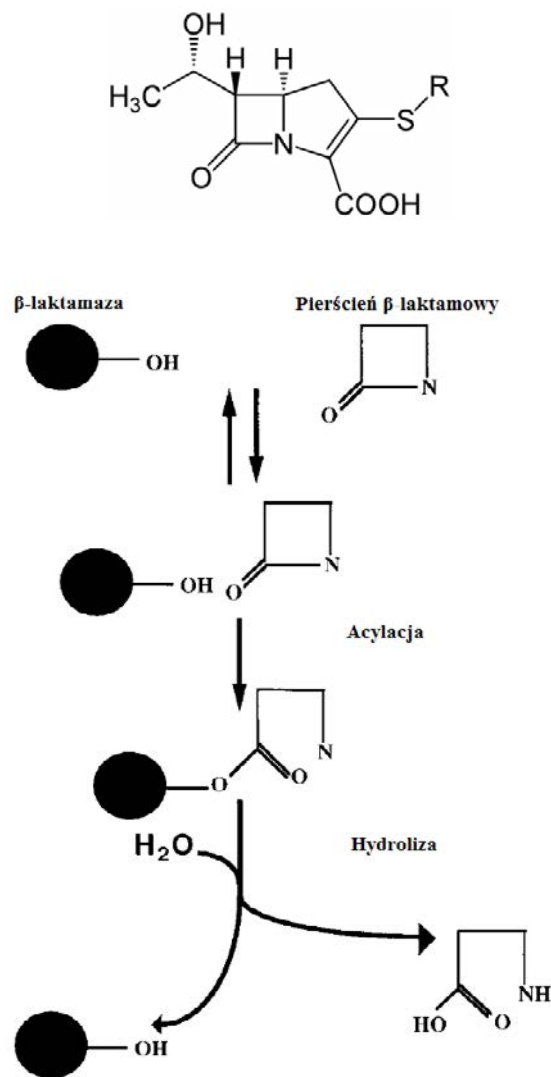
Źródło: na podstawie Kopcewicz i Lewak, 2012.

skutkuje inaktywacją antybiotyku (Helfand M., 2003). β -laktamazy prawdopodobnie pochodzą od prekursorowych białek PBP. Uważa się, że niektóre z nich mogą nadal pełnić nieznane funkcje w procesie biosyntezy peptydoglikanu (Massova I., 1998; Medeiros A., 1997).

Karbapenemazy

Nadużywanie i często nieuzasadnione stosowanie karbapenemów przyniosło negatywne skutki w postaci selekcji szczepów opornych, najpierw dzięki mechanizmom ograniczającym transport leków, a od 1988 r. także wytwarzających karbapenemazy, enzymy, które hydrolizują wiązania amidowe w pierścieniu leku β -laktamowego (Ryc.7), powodując w ten sposób jego dezaktywację. Oba rodzaje oporności początkowo po-

jawiły się u niefermentujących pałeczek *P. aeruginosa* (Livermore D., 1995; Medeiros A., 1997; Livermore D., 2001), ale w latach 90-tych XX wieku zaczęto identyfikować także szczepy *Enterobacteriaceae* wytwarzające nabyte karbapenemazy klasy A (np. KPC), klasy B czyli metalo- β - laktamazy MBL (np. VIM, NDM) oraz karbapenemazy klasy D (OXA-48) (Livermore D., 2002; Medeiros A., 1997; Nordmann P. 1998 ; Jao YT, 2017). Zaobserwowany na początku tego stulecia lawinowy wzrost izolacji szczepów wytwarzających karbapenemazy w niektórych regionach świata, coraz częstsze przypadki przenoszenia wraz z pacjentami do innych krajów, wreszcie pojawianie się coraz to nowych typów tych enzymów spowodowało, że jest to obecnie jeden z najważniejszych tematów w dziedzinie epidemiologii lekooporności drobnoustrojów.



Ryc. 7. Schemat działania β-laktamazy

Źródło : Livermore D., 1995.

Karbapenemazy to enzymy hydrolizujące nie tylko, jakby mogło wydawać się z ich nazwy – karbapenemy, ale także większość innych antybiotyków β-laktamowych. Są to enzymy o bardzo szerokich, zróżnicowanych spektrach substratowych, a wynika to z ich różnorodności strukturalno-ewolucyjnej, obejmującej wszystkie cztery klasy strukturalne β-laktamaz, przede wszystkim jednak klasy A, B i D.

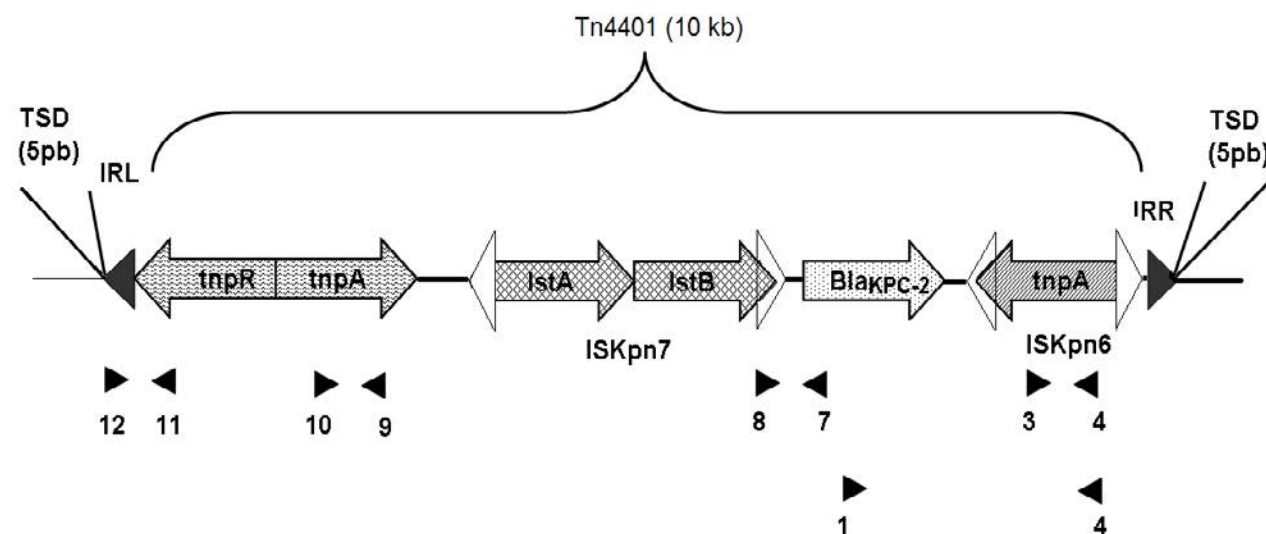
Karbapenemazy klasy A

Najważniejszymi karbapenemazami klasy A są enzymy należące do rodziny KPC (ang.: *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase). Naturalny producent tych β-laktamaz nie jest znany, natomiast, zgodnie ze swoją nazwą, najczęściej obserwuje się je w szczepach *K. pneumoniae*. Enzymy KPC zidentyfikowane zostały także u innych gatunków z rodziny *Enterobacteriaceae*,

m.in.: *Klebsiella oxytoca*, *Escherichia coli*, *Enterobacter* spp., *Citrobacter freundii*, *Serratia marcescens*, a także u *Pseudomonas* spp. i innych pałeczek niefermentujących (Cuzon G., 2010; Guzvinec M, 2014; Wang J, 2017).

Enzymy KPC posiadają najszersze spektrum substratowe ze wszystkich β-laktamaz: hydrolizują wszystkie stosowane klinicznie β-laktamy, choć nie zawsze z taką samą wydajnością (najaktywniejsze są względem penicylin i cefalosporyn I generacji).

Po raz pierwszy szczepy wytwarzające β-laktamazy KPC zostały wykryte w USA, w 1996 r., i w ciągu zaledwie kilku lat rozprzestrzeniły się one w szpitalach wschodniego wybrzeża tego kraju, wywołując w nich liczne epidemie (Nordmann P., 2009). Z pewnym opóźnieniem do identycznego zjawiska doszło w Izraelu, gdzie po raz pierwszy szczepy KPC⁺ zostały wykryte w 2005 r. (Cantón R., 2012, Vervoort J., 2012). Lista krajów, u których stwierdzono obecność szczepów z enzy-



Ryc. 8. Schemat przedstawiający Tn4401b.

Źródło: Chen L., 2012.

mami KPC stale się powiększa, a od 2008 r. problem ten dotyczy również Polski (Baraniak A., 2017). Wydaje się, że największe znaczenie w globalnym rozprzestrzenianiu się drobnoustrojów KPC⁺ ma właśnie element klonalny i związany jest z tzw. hiperepidemicznym klonem *K. pneumoniae* ST258, który najpierw pojawił się w USA, potem został przeniesiony do Izraela, następnie Grecji, a wreszcie do wielu miejsc na całym niemal świecie (Nordmann P., 2009; Nordmann P., 2011). W wymienionych krajach, a także w Polsce, klon ten jest zdecydowanie dominujący (Cantón R., 2012).

Geny kodujące KPC są zlokalizowane w plazmidach różnych typów, z których szereg ma zdolność do koniugacji. Wydajność transferu tych plazmidów jest stosunkowo niewielka, niemniej wystarcza, by geny *bla*_{KPC} penetrowały coraz więcej populacji bakterii różnych gatunków (Leavitt A., 2010; Cuzon G., 2010; Baraniak A., 2011). Ponadto, geny *bla*_{KPC} są zlokalizowane w obrębie transpozonu Tn4401, z grupy Tn3, co dodatkowo ułatwia ich horyzontalny transfer. Tn4401 jest transpozonom o wielkości ok. 10 kb., na końcach ma dwie odwrócone powtórzone sekwencje (IRR oraz IRL) o długości 39 bp. Zawiera geny kodujące transpozazę i resolwazę oraz dwie sekwencje inercyjne ISKpn6 i ISKpn7 (Ryc. 8), (Nordmann P., 2009).

Karbapenemazy klasy B

Karbapenemazy klasy B to metalo-β-laktamazy (ang.: metallo-β-lactamases), MBL, zwane tak ze względu na wykorzystywanie jonów cynku jako kofaktorów reakcji hydrolizy pierścienia β-laktamowego (Javed H., 2016). Z tego powodu są hamowane przez EDTA i inne chelatory jonów dwuwartościowych. Naturalny producent nabytych MBL nie jest znany, pomimo, że u wielu bakterii środowiskowych występują gatunkowo-specyficzne karbapenemazy, jednak żadna z nich nie mogła

być prekursorem obserwowanych nabytych enzymów tej grupy. MBL są enzymami bardzo zróżnicowanymi strukturalnie i klasyfikuje się je w obrębie wielu rodzin, z czego najliczniej reprezentowane są rodziny VIM i IMP, występujące zarówno u pałeczek niefermentujących, jak i jelitowych.

MBL są najbardziej wyspecjalizowanymi i najsilniejszymi karbapenemazami ze wszystkich klas. Spektrum substratowe, oprócz karbapenemów, obejmuje również wszystkie penicyliny i cefalosporyny. Mimo tak szerokiego zakresu działania nie rozkładają monobaktamów.

Pierwsze nabyte MBL pojawiły się u Gram-ujemnych pałeczek niefermentujących *P. aeruginosa* (1988r. w Japonii) i do dzisiaj ten gatunek jest ich głównym producentem na całym świecie. Od połowy lat 90 na Dalekim Wschodzie, a od 2001r. w Europie obserwuje się także szczepy *Enterobacteriaceae* MBL⁺ (Nikonorow E., 2013). W Polsce pierwsze szczepy *K. pneumoniae* MBL⁺ zidentyfikowano w 2006 r. (Cantón R., 2012). Obecność MBL u *Enterobacteriaceae*, zwłaszcza *K. pneumoniae* i *Escherichia coli*, w niektórych krajach (Grecja) przybrała wielkie rozmiary (Hernández A., 2011). U podłoża tego procesu było rozprzestrzenianie się kilku klonów *K. pneumoniae*, ale też intensywny transfer plazmidów (Cantón R., 2012).

W 2010 r. wielki rozgłos zyskała sprawa identyfikacji nowego rodzaju MBL – enzymu NDM-1, którego nazwa pochodzi od miejsca, w którym zidentyfikowano go po raz pierwszy (New Delhi metallo-β-lactamase). Olbrzymie poruszenie wywołało zastraszające rozprzestrzenienie się szczepów NDM⁺ w Indiach i innych krajach azjatyckich, nie tylko w szpitalach, ale także w środowisku oraz liczne przypadki ich zawlekania do innych krajów przez skolonizowanych pacjentów lub turystów. Głównym sposobem rozprzestrzeniania się tej karbapenemazy wśród bakterii jest transfer horyzontalny, gdyż

geny *bla*_{NDM} są zlokalizowane w plazmidach o wysokim potencjale koniugacyjnym (Poirel L., 2011; Holman AM, 2017). W 2011 r. pierwszy szczep *E. coli* NDM⁺ wyizolowano w Polsce u pacjenta przeniesionego ze szpitala w jednym z krajów środkowo-afrykańskich (Fiett J., 2014).

Karbapenemazy klasy D

β-Laktamazy hydrolizujące karbapenemy klasy D to tzw. enzymy CHDL (ang.: carbapenem-hydrolyzing class D β-lactamases). Pierwszym opisanym enzymem tej klasy była OXA-21, zidentyfikowana u pałeczek niefermentujących *Acinetobacter* spp. (Jain R., 2013). Zdecydowana większość znanych wariantów enzymów CHDL wytwarzana jest właśnie przez szczepy tego rodzaju. Należą do nich zarówno naturalne enzymy, charakterystyczne dla określonych gatunków, jak i β-laktamazy nabyte. Natomiast pierwszym rodzajem nabytych CHDL obserwowanym tylko u *Enterobacteriaceae*, są enzymy typu OXA-48. β-Laktamazę tę zidentyfikowano w 2001 r. w Turcji, w *K. pneumoniae*, gdzie kilka lat później szczepy OXA-48⁺ wywołały liczne epidemie szpitalne. Drobnoustroje o takim fenotypie uległy także rozprzestrzenieniu w krajach basenu Morza Śródziemnego oraz Indiach, a także zostały przeniesione do Europy.

Głównym producentem β-laktamaz z grupy OXA-48 jest *K. pneumoniae*, ale obecność tych enzymów stwierdza się także u innych gatunków *Enterobacteriaceae*, zwłaszcza *E. coli* i *Enterobacter cloacae*. Koniugacyjny transfer plazmidów uważany jest za główny mechanizm rozprzestrzeniania się karbapenemazy OXA-48 w populacjach bakterii. W Indiach stwierdzono pojawienie się szczepów *Enterobacteriaceae* wytwarzających bardzo podobny enzym, OXA-181 (Nordmann P., 2011).

CHDL mają stosunkowo słabą aktywność wobec karbapenemów, a poza nimi hydrolizują jeszcze tylko penicyliny i cefalosporyny I generacji

Podsumowanie

Pałeczki z rodziny *Enterobacteriaceae*, należą do najczęstszych czynników etiologicznych zakażeń. Wykazują oporność na wszystkie już dostępne obecnie antybiotyki β -laktamowe i przez to należą do najgroźniejszych patogenów bakteryjnych człowieka, tzw. drobnoustrojów alarmowych. Badania im poświęcone są bardzo istotne, zarówno z poznawczego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia i dostarczają niezbędnych przesłanek naukowych do działań w dziedzinie zdrowia publicznego w zakresie tematyki, którą w ostatnich latach przyjęło się określać mianem „epidemiologii molekularnej”.

Literatura

Baraniak A, Izdebski R, Żabicka D, Bojarska K, Górską S, Literacka E, Fiett J, Hryniewicz W, Gniadkowski M (2017). Multiregional dissemination of KPC-producing *Klebsiella pneumoniae* ST258/ST512 genotypes in Poland, 2010–14. *J Antimicrob Chemother.* 1;72(6):1610–1616.

Baraniak A, Grabowska A, Izdebski R, Fiett J, Herda M, Bojarska K, Żabicka D, Kania-Pudło M, Młynarczyk G, Żak-Puławska Z, Hryniewicz W, Gniadkowski M (2011). Molecular characteristics of KPC-producing *Enterobacteriaceae* at the early stage of their dissemination in Poland, 2008–2009. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 55: 5493–5499.

Basker MJ (1982). The carbapenem family. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 10: 4–7.

Bassetti M., Nicolini L., Esposito S., Righi E., Viscoli C (2009). Current status of newer carbapenems. *Current Medicinal Chemistry* 16: 564–75.

Birnbaum J, Kahan FM, Kropp H, MacDonald JS (1985). Carbapenems, a new class of beta-lactam antibiotics. Discovery and development of imipenem/cilastatin. *American Journal of Medicine* 78: 3–21.

Cantón R, Akóva M, Carmeli Y, Giske CG, Glupczynski Y, Gniadkowski M, Livermore DM, Miriagou V, Naas T, Rossolini GM, Samuelsen Ø, Seifert H, Woodford N, Nordmann P European Network on Carbapenemases. (2012). Rapid evolution and spread of carbapenemases among *Enterobacteriaceae* in Europe. *Journal of Clinical Microbiology* 5: 413–431.

Chen AW (2001). Cultivation of *Lentinula Edodeson* Synthetic Logs. The Mushroom Growers Newsletter. P.O. Box 5065

Chen L, Chavda KD, Mediavilla JR, Jacobs MR, Levi MH, Bonomo RA, Kreiswirth B. N (2012). Partial excision of bla_{KPC} from Tn4401 in Carbapenem-Resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 3:1635–1638.

Cuzon G, Naas T, Truong H, Villegas MV, Wisell KT, Carmeli Y, Gales AC., Venezia SN, Quinn JP., Nordmann P (2010). Worldwide diversity of *Klebsiella pneumoniae* that produce beta-lactamase blaKPC-2 gene. *Emerging Infectious Diseases* 16: 1349–1356.

Fernandes R, Amador P, Prudencio C (2013). β -lactams: chemical structure, mode of action, and mechanism of resistance. *Reviews in Medical Microbiology* 24:7–17.

Fiett J, Baraniak A, Izdebski R, Sitkiewicz I, Żabicka D, Meler A, Filczak K, Hryniewicz W, Gniadkowski M (2014). The first NDM metallo- β -lactamase-producing *Enterobacteriaceae* isolate in Poland: evolution of IncFII-type plasmids carrying the bla(NDM-1). *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 2: 1203–1207.

Fritsche TR, Stilwell MG, Jones RN (2005). Antimicrobial activity of doripenem (S-4661): a global surveillance report. *Clinical Microbiology and Infection* 11: 974–984.

Guzvinec M, Izdebski R, Butic I, Jelic M, Abram M, Koscać I, Baraniak A, Hryniewicz W, Gniadkowski M, Tambic Andrasevic A. (2014) Sequence types 235, 111, and 132 predominate among multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* clinical isolates in Croatia. *Antimicrob Agents Chemother.* 58(10):6277–83.

Holman AM, Allyn J, Miltgen G, Lugagne N, Traversier N, Picot S, Lignereux A, Oudin C, Belmonte O, Allou N (2017). Surveillance of carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae* in the Indian Ocean Region between January 2010 and December 2015. *Med Mal Infect.* doi: 10.1016/j.medmal.2017.04.007.

Helfand MS, Bonom RA (2003). Beta-lactamases: a survey of protein diversity. *Current Drug Targets – Infectious Disorders* 3: 9–23.

Hernández A, Sánchez MB, Martínez JL (2011). Quinolone resistance: much more than predicted. *Frontiers in Microbiology* 2:22

Jain R, Walk S. T, Aronoff DM, Young VB, Newton DW, Chenoweth CE, Washer LL (2013). Emergence of carbapenemase producing *Klebsiella pneumoniae* of sequence type 258 in Michigan, USA. *Infectious Disease Reports* 1: e5.

Jao YT, Wang WH, Wang A, Siu LK, Lu PL (2017). First report of OXA-48 carbapenemase-producing *Escherichia coli* in Taiwan. *J Microbiol Immunol Infect.* doi: 10.1016/j.jmii.2016.12.003.

Javed H, Ejaz H, Zafar A, Rathore AW; Ikram ul Haq. (2016). Metallo-beta-lactamase producing *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*: A rising threat for hospitalized children. *J Pak Med Assoc.* *J Pak Med Assoc.*

Kahan FM, Kropp H, Sundelof JG, Birnbaum J (1983). Thienamycin: development of imipenem–cilastatin. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 12: 1–35.

Leavitt A, Chmelnitsky I, Carmeli Y, Navon-Venezia S (2010). Complete nucleotide sequence of KPC-3-encoding plasmid pKpQIL in the epidemic *Klebsiella pneumoniae* sequence type 258. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 54: 4493–4496.

Lipman B, Neu HC (1988). Imipenem: a new carbapenem antibiotic. *Medical Clinics of North America* 72: 567–579.

Livermore DM (1995). Beta-Lactamases in laboratory and clinical resistance. *Clinical Microbiology Reviews* 8: 557–584.

Livermore DM, Williams JD (1996). β -Lactams: Mode of Action and Mechanism of Bacterial Resistance. *Antibiotics in Laboratory Medicine* pod redakcją V. Lorian 4: 502–578.

Livermore DM (2001). Of *Pseudomonas*, porins, pumps and carbapenems. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 47: 247–250

Livermore DM (2002). The impact of carbapenemases on antimicrobial development and therapy. *Current opinion in investigational drugs* 3: 218–24

Livermore DM, Woodford N (2006). The β -lactamase threat in *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonas* and *Acinetobacter*. *Trends in Microbiology* 14: 413–420.

Massova I, Mobashery S (1998). Kinship and diversification of bacterial penicillin-binding proteins and β -lactamases. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 42:1–17.

Medeiros AA (1997). Evolution and dissemination of β -lactamases accelerated by generations of β -lactam antibiotics. *Clinical Infectious Diseases* 1: 19–45.

Nikonorow E, Baraniak A, Gniadkowski M (2013) Oporność bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* na antybiotyki β -laktamowe wynikająca z wytwarzania β -laktamaz. *Postępy Mikrobiologii.* 52,3, 261–271.

Nordmann P (1998). Trends in beta-lactam resistance among *Enterobacteriaceae*. *Clinical Infectious Diseases* 1: 100–106.

Nordmann P, Cuzon G, Naas T (2009). The real threat of *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase-producing bacteria. *The Lancet Infectious Diseases* 9: 228–236.

Nordmann P, Naas T, Poirel L (2011). Global spread of carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae*. *Emerging Infectious Diseases* 17:1791–1798.

Nordmann P, Poirel L, Toleman MA, Walsh TR (2011). Does broad-spectrum β -lactam resistance due to NDM-1 herald the end of the antibiotic era for treatment of infections caused by Gram-negative bacteria? *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 66: 689–692.

- Poirel L, Dortet L, Bernabeu S, Nordmann P (2011). Genetic features of *bla*_{NDM-1}-positive *Enterobacteriaceae*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 55: 5403-5407.
- Roberts MC (1996). Tetracycline resistance determinants: mechanism of action, regulation of expression, genetic mobility and distribution. *FEMS Microbiology Reviews* 19: 124.
- Roberts M (2010). New 'superbug' found in UK hospitals. *BBC News Health*.
- Shah PM, Isaacs RD (2003). Ertapenem, the first of a new group of carbapenems. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 52: 538-542.
- Ubukata K (2000). Drug-resistant bacteria of current topics and their resistance mechanisms--PRSP and BLNAR. *Rinsho Byori* 111: 17-25.
- Vervoort J, Baraniak A, Gazin M, Sabirova J, Lammens C, Kazma M, Grabowska A, Izdebski R, Carmeli Y, Kumar-Singh S, Gniadkowski M, Goossens H, Malhotra-Kumar S (2012). Characterization of two new CTX-M-25-group extended-spectrum β -lactamase variants identified in *Escherichia coli* isolates from Israel. *PLoS One*. 7(9):e46329.
- Wang J, Yuan M, Chen H, Chen X, Jia Y, Zhu X, Bai L, Bai X, Fanning S, Lu J, Li J (2017). First report of *Klebsiella oxytoca* strain simultaneously producing NDM-1, IMP-4 and KPC-2 carbapenemases. *Antimicrob Agents Chemother*. doi: 10.1128/AAC.00877-17.

Carbapenemase of type KPC – dangerous epidemiological outbreaks in Poland and in the world

Sandra Górską

Misuse and frequently unreasonable use of antibiotics have a negative effects in the selection of bacterial strains resistant to pharmacological treatment. Pathogenic microbes have developed dangerous mechanisms of resistance to the effective action of drugs from the so- „Last chance”. This article presents characteristics of *Enterobacteriaceae* strains that produce carbapenemases of type KPC – enzymes capable of hydrolysis of all β -lactam antibiotics.

key words: *Enterobacteriaceae*, carbapenemase, *K. pneumonia*, KPC, transposon

Najstarsi ogrodnicy spośród owadów

Jan Boczek, Małgorzata Kielkiewicz, Małgorzata Kłyś

DOI: 10.24131/3247.170205

Streszczenie:

W ciągu milionów lat ewolucji, niektóre gatunki mrówek, termitów i chrząszczy wypracowały mutualistyczne interakcje z grzybami. Na przykładach, omówiono zachowania tych owadów, które poza tym, że funkcjonują w perfekcyjnie zorganizowanych społeczeństwach, to zapewniają grzybom optymalne do wzrostu i rozwoju warunki, tak by grzyby mogły być wartościowym pokarmem dla członków społeczności owadziej. W artykule zwrócono uwagę na metody biologiczne i chemiczne wykorzystywane przez mrówki grzybiarki, ze szczególnym uwzględnieniem symbiotycznych mikroorganizmów wytwarzających antybiotyki chroniące kolonie mrówek przed infekcjami bakteryjnymi.

Słowa kluczowe: mrówki, termyty, chrząszcze grupy 'ambrozja', mutualizm z grzybami

otrzymano: 12.05.2017; przyjęto: 7.06.2017; opublikowano: 16.08.2017



prof. dr hab. (dr h.c.) Jan Boczek (em.): Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Samodzielny Zakład Entomologii Stosowanej



dr hab. Małgorzata Kielkiewicz, prof. nadzw. SGGW: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Samodzielny Zakład Entomologii Stosowanej



dr hab. Małgorzata Kłyś, prof. nadzw. UP: Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN, Instytut Biologii, Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska

Wprowadzenie

Człowiek uprawia rośliny od około stu wieków (10 tysięcy lat). W ciągu tego czasu nauczył się utrzymywać grunty w kulturze rolnej zapewniającej dobre zbiory, rozwinął i ulepszył zakres produkcji roślinnej i równocześnie zajmował się chowem zwierząt dla celów konsumpcyjnych (na mleko i mięso) i gospodarskich (siła pociągowa) (Smith, 1998; Mueller i in., 2005; Senderski, 2007).

Obserwacje zachowań niektórych gatunków mrówek, termitów i chrząszczy, żyjących głównie w subtropikach i tropikach skłaniają do porównania ich umiejętności, kunsztu i doświadczenia z umiejętnościami i doświadczeniem człowieka. Owady te od co najmniej 50 milionów lat „uprawiają” grzyby, którymi żywią siebie i swoje potomstwo (Mueller i in., 2005; Roberts i in., 2016). Człowiek, zanim zbierze plony, starannie planuje areal uprawy, dobiera gatunki/ odmiany i nawozi glebę. Owady-ogrodnicy też potrzebują do swojej działalności odpowiednich przestrzeni, a zanim założą grzybowy ogród, muszą starannie przygotować podłoże. Potem prowadzą stałe obserwacje rosnących grzybów, a zanim zbiorą „plony”, ogrody grzybowe są nawożone, pielęgnowane i ochraniane.

Mrówki

Gatunki mrówek grzybiarek należą do dwu blisko spokrewnionych rodzajów – *Atta* i *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae). Oba zaliczane są do plemienia Attini (Wilson, 1979; Mueller i Wcisło, 1998). Mrówki grzybiarki przez jednych postrzegane są jako groźni roślinożercy – szkodniki wielu drzew i roślin różnych gatunków uprawnych, przez innych podziwiani jako genialni mali ogrodnicy.

Gatunki mrówek z rodzaju *Atta* (tzw. „mrówki parasolowe” np. *Atta cephalotes*, *A. mexicana*) występują w tropikalnych rejonach Ameryki Południowej i Środkowej oraz w Meksyku (Fot. 1). Ich podziemne gniazda najczęściej składają się z jednej dużej komory i wielu mniejszych połączonych licznymi chodnikami. Zapłodniona królowa przynosi pierwsze inokulum grzyba (fragment grzybni, służący do założenia kultury) i dba, aby grzybnia była jednogatunkowa (Batra i Batra, 1967; Weber, 1972). Młode robotnice, o ostrych żuwaczkach, wychodzą na zewnątrz gniazda i wracają z fragmentami świeżo odciętych liści. Każda z wracających robotnic trzyma w żuwaczkach swój kawałek liścia unosząc go nad ciałem. W gnieździe, inna grupa mrówek (zwykle starsze, już z tępyimi żuwaczkami) przejmuje materiał roślinny, żuje go na miazgę, miesza z odchodami i formuje grządki. Na tak przygotowane podłoże przeniesione zostają strzępki grzybni *Leucocoprinus gongylophorus* (Basidiomycota). Powstające ogrodowe poletka (*syn.* grzybowe ogródki) są stale pielęgnowane,



Fot. 1. *Atta mexicana* F. (Autor: Acrocynus)

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3610508>; dostęp 02. 05. 2017)

ochraniane i odnawiane przez mrówki robotnice. Kiedy na strzępkach grzybów uprawianych przez mrówki pojawiają się maleńkie, unikatowe struktury – gongilidia (ang. gongylidia) – bogate w substancje odżywcze (głównie cukry, białka), oznacza to porę rozpoczęcia zbiorów. Robotnice zbierają gongilidia i karmią nimi siebie, larwy i królową (Lange i Grell, 2014). Grzybnia uprawiana przez mrówki wytwarza też liczne enzymy np. β -glukozydazę oraz endo- i egzo-glukanazy rozkładające celulozę i inne polisacharydowe komponenty ścian komórkowych do łatwo przyswajalnych cukrów (Bacci i in., 1995, Lange i Grell, 2014).

Robotnice różnych gatunków mrówek mogą przygotowywać podłoże nie tylko ze świeżo ściętych liści, ale też z rozdrobnionych korzeni, szczątków drewna, bulw, części kwiatów i nasion (Tapanila i Roberts, 2012). Na przykład mrówki *Cyphomyrmex rimosus* przygotowują substrat do uprawy grzybów blisko spokrewnionych z drożdżami (*Tyridiomyces formicarium*, Ascomycota) z odchodów gąsienic (Ramade, 1968).

Podobnie jak mrówki z rodzaju *Atta*, mrówki z rodzaju *Acromyrmex* też wykazują umiejętności pracy zespołowej poświęconej uprawie grzybów. Te z rodzaju *Acromyrmex* dominują w neotropikalnych lasach wielu rejonów świata, ale ich niszczyielskie zapędy dotyczą też wielu upraw polowych. Przyszła królowa, żeby zainicjować założenie kolonii grzybów, zabiera strzępki ze starego gniazda. Początkowo opiekuje się nimi sama, karmi swoje córki, a potem funkcje te przejmują robotnice. Robotnice średniej wielkości, od wyjścia z mrowiska rozchodzą się licznymi ścieżkami w poszukiwaniu odpowiednich liści (Batra i Batra, 1967). Odcięte kawałki liści, po przeniesieniu do komór uprawowych zostają przeżute, uformowane w kulki i przekazane mniejszym mrówkom (2-4 mm), które układają je w grządki. To one nieustannie monitorują wzrost, rozwój i stan zdrowotny grzybni. Strzępki grzybni wytwarzają gongilidia,

które stanowią pokarm dla wszystkich mrówek w kolonii. Grzyb *L. gongylophorus*, żyjący w symbiozie również z mrówkami *Acromyrmex* wytwarza liczne wartościowe komponenty, między innymi enzymatyczne białka, które przechodzą przez przewód pokarmowy mrówek w postaci niestrawionej, dzięki czemu odchody mrówek bogate są w aktywne enzymy **utleniające i pektynolityczne** (hydrolazy) uczestniczące w przygotowaniu substratu liściowego niezbędnego do uprawy grzybowych ogrodów (Grell i in., 2013; Kooij i in., 2014; Schiøtt i in., 2010). W odchodach mrówek *Acromyrmex echinator* i *A. octospinosus* (Fot. 2) spośród ponad 30 białek, zidentyfikowano enzymy pektynolityczne pochodzenia grzybowego, zaangażowane w dekompozycję świeżych liści, z czego 6 pochodziło ze zgrubień na końcach strzępek grzybów, czyli z tzw. gongilidiów.

Często zdarza się, że realizacja takiej obligatoryjnej symbiozy może zostać niespodziewanie zakłócona – np. w przypadku zaatakowania grzybów uprawianych przez mrówki przez patogeniczne grzyby *Escovopsis aspergilloides* lub *E. weberi* (*Escovopsis*, Ascomycota: Hypocreales). W takiej sytuacji, ogród grzybowy w krótkim czasie zamiera, a pozbawione pokarmu mrówki giną. W walce z grzybami *Escovopsis* pomocne okazują się być pewne bakterie (np. *Pseudonocardia* spp.) żyjące w symbiozie z mrówkami (Currie i in., 1999; Currie, 2001). Potrafią one wytwarzać związki o charakterze antybiotyków (podobne do nystatyny) i skierowane przeciwko grzybom *Escovopsis*, a ich wysoką skuteczność tłumaczy się specyfiką procesu ko-ewolucji symbiontów (Andersen i in., 2013). Ostatnio, lista bakteryjnych symbiontów mrówek znacznie rozszerzyła się. Na 3 gatunkach mrówek *Acromyrmex* (*A. octospinosus*, *A. echinator*, *A. volcanus*), oprócz 5 gatunków bakterii *Pseudonocardia* zidentyfikowano jeszcze jeden gatunek bakterii *Dermacoccus* i 13 gatunków bakterii *Streptomyces* (Haeder i in., 2009). Na



Fot. 2. Mrówka grzybiarka *Acromyrmex octospinosus* Reich, Autor: Deadstar0; (praca własna; Wikimedia Commons; dostęp 02. 05. 2017)

uwagę zasługuje fakt szczególnie wysokiej aktywności szczepu *Streptomyces* sp. Ao10 w stosunku do grzyba *Escovopsis*. Szczep ten, chociaż produkuje kandycydynę, antybiotyk z grupy makrolidów, to nie niszczy strzępek grzybni *L. gongylophorus* uprawianej przez mrówki. Wyniki te sugerują, że symbiotyczne bakterie inne niż *Pseudonocardia* i *Streptomyces*, poprzez ‘produkcję’ różnych antybiotyków mogą efektywnie angażować się w ochronę upraw grzybowych (Santos i in., 2004; Mueller i in., 2008). Poza metodą biologicznego zwalczania patogenów, mrówki *Acromyrmex* i *Atta* do pielęgnacji i higieny swoich grzybowych upraw potrafią w różnym stopniu i zakresie stosować metody chemiczne. Do tego celu wykorzystują związki chemiczne (np. kwasy karboksylowe, alkohole, laktony, ketokwasy) produkowane przez gruczoł metapleuralny zatulowiowy zlokalizowany na grzbietowej części ciała (Ortius-Lechner i in., 2000; Fernández-Marín i in., 2009).

Inne przykłady symbiozy

Na wyspach Fidżi, na Oceanie Spokojnym, mrówki z rodzaju *Philidris* (*Philidris nagasau*) żyją w symbiozie z epifitycznymi roślinami z rodzaju *Squamellaria* (Rubiaceae: Psychotriaceae). Rośliny niektórych gatunków *Squamellaria* wyspecjalizowały się w wytwarzaniu specjalnych struktur o charakterze komór tzw. domatiów (słowo pochodzi od łac. „domus” co oznacza dom), w których mrówki lokalizują swoje gniazda. Domatia zasiedlone przez mrówki nazywane są myrmekodomatiami (ang. *myrmecodomatia*) (Wilson 1971). Dzięki takiej symbiozie, mrówki mają schronienie, a rośliny są lepiej odżywione. Interesujące jest jednak to, że jeden z gatunków mrówek *Philidris*, sadi nasiona i pielęgnuje siewki przynajmniej 6 różnych gatunków epifitów, co zapewnia trwałość i stabilność symbiozy (Chomicki i Renner, 2016). Domatia są strukturami obecnymi na wielu organach (głównie liściach) krajowych gatunków roślin. Na przykład, domatia w postaci zgrupowań włosków w kątach nerwów na dolnej stronie liści lip są znakomitym schronieniem dla drapieżnych roztoczy – wrogów naturalnych roztoczy – przedziorków i szpecieli.

Podobnie, dzięki mutualizmowi mrówek z innymi epifitami (np. z rodzaju *Myrmecodia*, dzbanecznik dwuostrogowy, *Nepenthes bicalcarata*), rośliny zaopatrywane są w potrzebne im do życia makro-/mikroelementy. Mrówki znajdują też schronienie w zmodyfikowanych liściach, ogonkach liściowych, łodygach czy cierniach innych gatunków roślin. W zamian za miejsce do życia i zapewnienie roślinom ochrony przed fitofagicznymi owadami, mrówki pozostawiają odchody i szczątki martwej materii, z których roślina czerpie azot. W poszukiwaniu pokarmu bogatego w związki azotowe mrówki współpracują także z mszycami (Ivens i in., 2012; Pringle i in., 2014). Wydalana przez mszyce rosa

miodowa (spadź) bogata w cukry, aminokwasy, składniki mineralne i witaminy stanowi atrakcyjny pokarm dla mrówek. W zamian mrówki chronią mszyce przed ich wrogami naturalnymi – drapieżcami (np. biedronkami, złotookami) i patogenicznymi grzybami. Mrówki swoim zachowaniem (bębniąc czułkami po odwłokach mszyc) potrafią nakłonić je do wydzielania kropli spadzi. I odwrotnie, mszyce potrafią zachęcać mrówki do zainteresowania się spadzią. W wypadku, gdy mrówka się nie zjawia mszyca wchłania przygotowaną kroplę płynu i czeka dalej (Ślipiński, 2011). Okazuje się też, że mrówki chcąc zaspokoić jak najlepiej swoje wymagania pokarmowe potrafią przenosić mszyce na te rośliny, z soku których mszyce będą produkowały najwartościowszą dla mrówek rosę miodową. Jak podaje Ślipiński (2011) masa wytworzonej przez mszycę wydzieliny w ciągu jednej godziny niekiedy przewyższa nawet o 1/3 masę jej ciała, co świadczy o bardzo intensywnym metabolizmie mszyc.

Termity

Termity z podrodziny **Macrotermitinae**, żyjące w deszczowych lasach południowej Afryki, podobnie jak mrówki grzybiarki żyją w symbiozie z grzybami – najczęściej z rodzaju *Termitomyces* (Basidiomycotina) (Aanen i Eggleton, 2005). Wyrafinowana konstrukcja termitiery umożliwia termitom uprawę grzybów. Uprawy prowadzone są w obszernych komorach, w których temperatura, wilgotność powietrza i zawartość CO₂ dostosowane zostały do wymagań grzyba. Zadaniem grzybów jest rozkład celulozy i lignin oraz wzbogacenie ubożego w azot podłoża roślinnego (np. suchych liści, trawy, butwiejącego drewna) w wartościowe i potrzebne termitom komponenty białkowe (Aanen i in., 2002; Poulsen i Boosma, 2005). Najpierw, materiał roślinny zostaje wstępnie strawiony przez termity (Macrotermi-

tinae), a potem niestrawione fragmenty roślinne w formie kulistych pierwotnych odchodów (ang. *mylosphaeres*) zostają zmieszane ze sporami grzyba *Termitomyces*. **Kielkujące spory kolonizują podłoże tworząc ogród grzybowy. Ocenia się, że tam gdzie występują termity Macrotermitinae żyjące w symbiozie z grzybami ponad 90% materii roślinnej ulega rozkładowi dzięki aktywności termitów** (Sands, 1969).

Chrząszcze

Wśród chrząszczy z podrodziny kornikowatych (Scolytidae) jest wiele gatunków kambiofagicznych, które wygryzają w drewnie żerowiska i w nich uprawiają grzyby z grupy ofiostomatoidalnych z rodzaju *Ophistoma*, np. *Ophistoma ainoae*, *O. bicolor*, *O. cainii* (Jankowiak, 2004). Rozwiertki czy drwalniki to przykłady korników ambrozjowych żyjących w drewnie i żywiących się grzybnia. Z grzybami współwystępuje też kornik drukarz (*Ips typographus*) (Fot. 3 i 4), który do przenoszenia zarodników wykorzystuje pewne gatunki roztoczy (Jankowiak, 2004). Zarodniki/strzępki grzybów znajdują dobre warunki do rozwoju zarówno na ścianach chodników drążonych przez larwy kambiofagów, jak i w tkankach drewna przylegających do chodników. Dla chrząszcza kambiofaga dobrze rozwinięta grzybnia jest przede wszystkim źródłem łatwo dostępnego pokarmu, bogatego w azot, sterydy i witaminy, a te zapewniają mu prawidłowy wzrost i rozwój, ale też regulują poziom, skład i efektywność wytwarzanych przez owada feromonów (Jankowiak 2004). Z kolei, w klimacie tropikalnym, w drewnie wielu drzew żyją chrząszcze-ksylofagi odżywiające się grzybami, nie występującymi poza ich żerowiskami. Są to na przykład grzyby takie jak *Monilia ferruginea*, czy *Ambrosiella sulcati*. (Batra i Batra, 1967). Chrząszcze typu „ambrozja” z rodzaju *Xyleborus* uprawiają grzyby

Fot. 3. *Ips typographus* L. kornik drukarz, fot. Lech Borowiec

Fot. 4. Żer kornika drukarza, fot. Andrzej Górz

w „pieczarkarniach” przypominających długie tunele (French i Roeper, 1972; Biedermann i in., 2009). Mianem chrząszczy ambrozjowych określa się chrząszcze z podrodziny kornikowatych drążące drewno i żyjące w symbiozie z grzybami np. z rodzaju *Monilia*, *Tuberulariella* (Wilson, 1979).

Podsumowanie

Liczne gatunki owadów (mrówki, termity, chrząszcze) w ciągu milionów lat koewolucji, z innymi organizmami (np. grzybami lub roślinami) wypracowały wzajemnie korzystne formy interakcji pozwalające im na zdobywanie pokarmu i przestrzeni do życia. Wiele gatunków funkcjonujących w perfekcyjnie zorganizowanych społeczeństwach potrafi uprawiać grzyby, pielęgnować je i chronić przed wrogimi organizmami, używając do tego celu metod biologicznych (symbiotycznych mikroorganizmów) i chemicznych (wydzielin z gruczołu metapleuralnego). Niektóre bakterie żyjące w symbiozie z mrówkami grzybiarkami potrafią wytwarzać antybiotyki chroniące ich uprawy grzybowe. Ponadto mrówki do higieny swoich upraw stosują związki chemiczne takie jak: alkohole, kwasy karboksylowe, laktony i ketokwasy.

Literatura

- Aanen DK, Eggleton P, Rouland-Lefèvre C, Guldberg-Frøsløv T, Rosendahl S, Boomsma JJ (2002). The evolution of fungus-growing termites and their mutualistic fungal symbionts. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99:14887–14892.
- Aanen DK, Eggleton P (2005). Fungus-growing termites originated in African rain forest. *Curr. Biol.* 15:851–855.
- Andersen SB, Hansen LH, Sapountzis P, Sørensen SJ, Boomsma JJ (2013). Specificity and stability of the *Acromyrmex*–*Pseudonocardia* symbiosis. *Mol. Ecol.* 22: 4307–4321.
- Bacci MJr Anversa MM, Pagnocca FC (1995). Cellulose degradation by *Leucocoprinus gongylophorus*, the fungus cultured by the leaf-

- cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. *Anton. Leeuw. Int. JG* 67 (4): 385–386.
- Bacci M, Anversa MM, Pagnocca FC (1995). Cellulose degradation by *Leucocoprinus gongylophorus*, the fungus cultured by the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. *Antonie van Leeuwenhoek* 67: 385–386.
- Batra LR, Batra SWT (1967). The fungus gardens of insects. *Sci. Amer.* 217: 112–120.
- Biedermann PH, Klepzig KD, Taborsky M (2009). Fungus cultivation by ambrosia beetles: behavior and laboratory breeding success in three xyleborine species. *Environ Entomol* 38: 1096–1105.
- Chomicki G, Renner SS (2016). Obligate plant farming by a specialized ant. *Nature Plants* 2: 16181.
- Currie CR, Scott JA, Summerbell RC, Malloch D (1999). Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature*, 398: 701–704.
- Currie CR (2001). A community of ants, fungi, and bacteria: a multilateral approach to studying symbiosis. *Annu. Rev. Microbiol.* 55: 357–380.
- Fernández-Marín H, Zimmerman JK, Nash DR, Boomsma JJ, Wcislo WT (2009). Reduced biological control and enhanced chemical pest management in the evolution of fungus farming in ants. *Proc. R. Soc. B* 276: 2263–2269.
- French JRJ, Roeper RA (1972). Interaction of the ambrosia beetle *Xyleborus dispar* (Coleoptera: Scolytidae) with its symbiotic fungus *Ambrosiella hartigii* (Fungi Imperfecti). *Can. Entomol.* 104: 1635–1641.
- Grell MN, Linde T, Nygaard S, Nielsen KL, Boomsma JJ, Lange L (2013). The fungal symbiont of *Acromyrmex* leaf-cutting ants expresses the full spectrum of genes to degrade cellulose and other plant cell wall polysaccharides. *BMC Genomics.* 14: 928.
- Haeder S, Wirth R, Herz H, Spittler D (2009). Candidicin-producing *Streptomyces* support leaf-cutting ants to protect their fungus garden against the pathogenic fungus *Escovopsis*. *PNAS* 106 (12): 4742–4746.
- Ivens ABF, Kronauer DJC, Pen I, Weissing FJ, Boomsma JJ (2012). Ants farm subterranean aphids mostly in single clone groups – an example of prudent husbandry for carbohydrates and proteins? *BMC Evol. Biol.* 12: 106.
- Jankowiak R (2004). Interakcje między owadami kambiofagicznymi, grzybami i rośliną. *Kosmos*, 53: 39–50.
- Kooij PW, Rogowska-Wrzesinska A, Hoffmann D, Roepstorff P, Boomsma JJ, Schiøtt M (2014). *Leucoagaricus gongylophorus* uses leaf-cutting ants to vector proteolytic enzymes towards new plant substrate. *ISME J.* 8(5): 1032–1040.
- Lange L, Grell MN (2014). The prominent role of fungi and fungal enzymes in the ant-fungus biomass conversion symbiosis. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98(11): 4839–51.

- Mueller UG, Rehner SA, Schultz TR (1998). The evolution of agriculture in ants. *Science*, 281: 2034-2038.
- Mueller UG, Gerardo NM, Aanen DK, Six DL, Schultz TR (2005). The evolution of agriculture in insects. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 36: 563-595.
- Mueller UG, Dash D, Rabeling C, Rodrigues A (2008). Coevolution between attine ants and actinomycete bacteria: A re-evaluation. *Evolution*, 62: 2894-291.
- Mueller UG, Wcislo WT (1998). Nesting biology of the fungus-growing ant *Cyphomyrmex longiscapus* Weber (Attini, Formicidae). *Insectes Soc.* 45: 181-189.
- Ortius-Lechner D, Maile R, Morgan ED, Boomsma JJ (2000). Metapleural gland secretions of the leaf-cutter ant *Acromyrmex octospinosus*. New compounds and their functional significance. *J. Chem. Ecol.* 26: 1667-1683.
- Poulsen M, Boomsma JJ (2005). Mutualistic fungi control crop diversity in fungus-growing ants. *Science* 307: 741-744.
- Pringle EGP, Ableson ANI, Barbeheer R, Vanettes R (2014). Plant derived differences in the composition of aphid honeydew and their effects on colonies of aphid-tending ants. *Ecol. Evol.* 4(21): 4065-4079.
- Ramade F (1968). Świat mrówek. Wyd. PWN, Warszawa: 117ss.
- Roberts EM, Todd CN, Aanen DK, Nobre T, Hilbert-Wolf HL, O'Connor PM (2016). Oligocene Termite Nests with In Situ Fungus Gardens from the Rukwa Rift Basin, Tanzania, Support a Paleogene African Origin for Insect Agriculture. *PLoS ONE* 11(6): e0156847.
- Sands WA (1969). The association of termites and fungi. W: K Kris-hana i FM Weesner (red.) *Biology of termites*. I: 495-524.
- Santos AV, Dillon RJ, Dillon VM, Reynolds SE, Samuels RI (2004). Occurrence of the antibiotic producing bacterium *Burkholderia* sp. in colonies of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa*. *FEMS Microbiol. Lett.* 239: 319-323.
- Schiøtt M, Rogowska-Wrzesinska A, Roepstorff P, Boomsma JJ (2010). Leaf-cutting ant fungi produce cell wall degrading pectinase complexes reminiscent of phytopathogenic fungi. *BMC Biol.* 8: 156.
- Senderski M (2007). Prawie wszystko o ziołach. Wyd. Mateusz E. Senderski, Podkowa Leśna: 680ss.
- Ślipiński P (2011). Cukier za ochronę. *Wiedza i Życie*. nr 7 [on-line] [dostęp 2017-07-06].
- Smith BD (1998). The Emergence of Agriculture. *New York: Sci. Am. Libr.* 230ss.
- Tapanila L, Roberts EM (2012). The earliest evidence of holometabolous insect pupation in conifer wood. *PLoS-one* 7:e31668.
- Weber NA (1972). Gardening ants: The attines. *Memoirs. Amer. Philos. Soc.* 92: 1-146.
- Wilson EO (1979). Społeczeństwa owadów. PWN, Warszawa: 684ss.

Carbapenemase of type KPC – dangerous epidemiological outbreaks in Poland and in the world

Jan Boczek, Małgorzata Kielkiewicz, Małgorzata Kłyś

During millions years of evolution, some species of ants, termites and beetles independently worked out mutualistic interactions with fungi. Examples of the behaviour of such insects which insure proper conditions for growth and development of the fungi and get valuable food in return are presented. Attention was directed to microorganisms living in symbiosis with fungus-growing ants and producing antibiotics protecting ant colonies against bacterial infection.

key words: fungus-farming ants, termites, ambrosia beetles, mutualistic interactions with fungi

Żyjemy w świecie opanowanym przez owady

Małgorzata Kłyś, Jan Boczek

DOI: 10.24131/3247.170206

Streszczenie:

Owady mogą żyć w najróżniejszych warunkach i środowiskach, można je znaleźć praktycznie wszędzie: w wodzie słodkiej i morskiej, w glebie, na roślinach, w powietrzu oraz na i w ciele innych zwierząt. Owady odgrywają w życiu człowieka bardzo ważną rolę. Są naszymi sprzymierzeńcami, ale też szkodnikami. Są pokarmem ludzi i zwierząt, wytwarzają liczne produkty, które człowiek wykorzystuje (np. miód, воск, manę, jedwab), są wykorzystywane w walce biologicznej z innymi owadami oraz do zwalczania chwastów, zapylają rośliny, przyczyniają się do poprawy żyzności gleby, rozkładają martwe organizmy, a nawet mogą być wykorzystywane do ustalania czasu śmierci. Są bezpośrednią lub pośrednią przyczyną strat powodowanych w czasie produkcji i przechowywania żywności. Zjadają uprawiane przez nas rośliny, niepokoją nas swoją obecnością, żądają, wysysają krew, są wektorami groźnych chorób człowieka i zwierząt domowych.

Słowa kluczowe: owady pożyteczne, owady szkodliwe, bioróżnorodność owadów

otrzymano: 4.05.2017; przyjęto: 7.06.2017; opublikowano: 16.08.2017



dr hab. Małgorzata Kłyś, prof. nadzw. UP:
Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN, Instytut Biologii,
Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska



prof. dr hab. (dr h.c.) Jan Boczek (em.):
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego,
Samodzielny Zakład Entomologii Stosowanej

Wprowadzenie

Owady są najliczniejszą i najbogatszą w formy grupą zwierząt. Liczba ich gatunków to znacznie więcej niż połowa wszystkich organizmów żyjących na kuli ziemskiej (Tabele 1 i 2). Występują od rejonów polarnych po szczyty wysokich gór. Około 3% gatunków żyje w wodzie słodkiej, niektóre także w wodzie morskiej. Przeżywają skrajne warunki temperatury. Żyją na kuli ziemskiej ok. 396 milionów lat (Rice i in., 1995). Małe wymiary ciała, skrzydła, zewnętrzny kutikularny pancerz, oddychanie za pomocą tchawek, metamorfoza, wielorakie skuteczne sposoby ochrony przed patogenami, pasożytami i drapieżcami oraz duża płodność sprawiają, że są tak pospolite (Boczek i Lewandowski, 2016).

W naszych mieszkaniach i domach, zwłaszcza starszych, oprócz pajaków i roztoczy można znaleźć kilkanaście, a czasami nawet kilkadziesiąt gatunków owadów. Wyjątkowo zimą, przy bardzo starannej higienie pomieszczeń mieszkalnych będą w nich występowały tylko pojedyncze gatunki. Wśród owadów można wyróżnić takie gatunki, które znajdują się w naszych domach przypadkowo i takie, które tam „mieszkają”, są domownikami. Na przykład po podłodze często biega bezskrzydły rybak cukrowy (*Lepisma saccharina*), szkodnik zielników i księgozbiórów. Również w tzw. zmiotkach żyją małe, często bezskrzydłe psotniki (Psocoptera). W Polsce stwierdzono ok. 70 gatunków tych owadów (Błaszczak, 2012). Są wśród nich szkodniki nasion, suszonych ziół i eksponatów muzeów przyrodniczych. Może się też zdarzyć, że wieczorem i nocą w pomieszczeniach mieszkalnych zobaczymy karaczany, u nas głównie dwa gatunki: karaczana wschodniego (*Blatta orientalis*) albo karaczana prusaka (*Blattella germanica*), które są szkodnikami rozmaitych produktów żywnościowych, a także wektorami groźnych chorób. Niekiedy w domach pojawić się też może mrówka fa-

raona (*Monimorium pharaonis*). Tysiące jej osobników szukając pożywienia opanowują całe pomieszczenia, „pokrywają” sprzęty, a przy okazji roznoszą liczne patogeny. W pomieszczeniach z wypchanymi okazami zwierząt występuje często mrzyk muzealny (*Anthrenus verbasci*).

W domach zwłaszcza w okresie letnio-jesiennym możemy znaleźć, zwłaszcza w kuchni, „drozofile” – małe muchówki z rodzaju *Drosophila*, o dużej zmienności gatunkowej. Opisano ich około 2 000 gatunków i najczęściej na ich temat opublikowano wyników badań, zawartych w ponad 75 000 prac, zwłaszcza związanych z genetyką, w której jest modelowym obiektem badań (Bogdanowicz i in., 2007). Do pomieszczeń w cieplejszych okresach roku mogą przylatywać komary i meszki. W Polsce opisano 47 gatunków komarów, głównie z rodzajów: komar – *Culex*, dośkwierz – *Aedes* i widliszek – *Anopheles* (Kubica-Biernat, 1999). Komary wśród zwierząt są w skali światowej największymi wrogami człowieka ze względu na przenoszenie patogenów, głównie zarodźca malarii. Podobnie dokuczliwe bywają w naszym kraju meszki (Simuliidae), zwłaszcza z rodzaju *Simulium*. Opisano ich ok. 1 750 gatunków, z czego w Polsce występuje 48 gatunków (Niesiołowski i Bukłak, 2001). Jeśli w pomieszczeniu przebywa pies lub kot będą tam spotykane pchły, których w Polsce jest ok. 70 gatunków (Boczek, Lewandowski, 2016).

Owady pożyteczne dla roślin, zwierząt i człowieka

Owady stanowią ponad 80% faunistycznej różnorodności. Doświadczamy ich działalności pozytywnej i negatywnej. Intensyfikacja rolnictwa i gospodarki leśnej, budowa miast, dróg, zmiany klimatu sprawiają, że obserwujemy spadek różnorodności owadów (Banaszak i in., 2000; Smith i in., 2006). Pozytywna ich rola jest różnorodna i bardzo ważna dla człowieka. Są naszymi

Organizmy	Świat	Polska
stawonogi (Hexapoda)	1 242 000	ponad 30 889
owady uskrzydłone (Pterygota)	1 018 927	ok. 26 500
owady bezskrzydłe (Apterygota)	1 074	63
pajęczaki (Arachnida)	112 200	ok. 4 000
pająki (Araneae)	43 579	820
roztocze (Acari)	54 600	ok. 3 100
wszystkie zwierzęta	1 553 000	36 000
rośliny	310 000	4 350
grzyby	120 000	13 000

Tabela 1. Liczba znanych gatunków zwierząt, grzybów i roślin

Źródło: wg Bogdanowicz i in., 2004; 2008; Boczek i Lewandowski, 2016.

sprzymierzeńcami w rolnictwie i produkcji żywności. Korzyści jakie rolnictwo odnosi z działalności owadów jest wielokrotnie wyższe niż straty przez nie powodowane. Jak podaje Banaszak i in. (2000) znana jest obiegowa opinia, że wartość pszczoły modnej jako zapylacza roślin uprawnych jest 10-krotnie wyższa od produktów przez nią wytwarzanych, takich jak: miód, propolis, mleczko, воск i jad. W naszej florze około 22% gatunków roślin zapylanych jest przez wiatr, a reszta niemal w całości przez owady, w tym w 70% przez pszczoły, 21% przez inne błonkówki, a tylko 6% przez pozostałe owady (Boczek i Lewandowski, 2016). Plon niezapylonych roślin i nasion, takich jak: prawie wszystkie drzewa owocowe, truskawka, malina, żurawina, ogórek, melon, marchew, pietruszka, cebula, kapusta, fasola, groch, pomidor, koniczyzna, lucerna, bawełna i liczne rośliny ozdobne (np. chryzantemy, irysy, storczyki) spada niemal do zera. Około 1/3 żywności na świecie zale-

Rząd	Świat	Polska
Owady o przeobrażeniu niezupełnym (Hemimetabola)		
Jętki (Ephemeroptera)	3 240	120
Ważki (Odonata)	5 899	75
Karaczany (Blattodea)	7 314	16
Modliszki (Mantodea)	2 400	1
Wielonice (Plecoptera)	3 788	80
Skorki (Dermaptera)	1 978	6
Prostoskrzydłe (Orthoptera)	24 276	105
Gryzki (Psocoptera)	5 720	70
Przylżeńce (Thysanoptera)	6 019	220
Pluskwiaki (Hemiptera)	103 590	1 740
Wszy (Phthiraptera)	5 102	640
Owady o przeobrażeniu zupełnym (Holometabola)		
Siatkoskrzydłe (Neuroptera)	5 868	86
Chrząższe (Coleoptera)	387 100	6 200
Muchówki (Diptera)	159 294	6 700
Pchły (Siphonaptera)	609	73
Chruściki (Trichoptera)	14 999	300
Motyle (Lepidoptera)	157 424	3 168
Błonkówki (Hymenoptera)	116 861	6 000
Inne owady	7 452	900

Tabela 2. Liczba znanych gatunków owadów poszczególnych rzędów

Źródło: Boczek i Lewandowski, 2016.

ży bezpośrednio lub pośrednio od roślin owadopylnych (Boczek, 1990).

Rośliny wabią owady swoimi kolorami kwiatów, ich połyskiem, nektarem, zapachem niekiedy naśladującym feromon płciowy samicy, a czasem ciepłem wydzielanym z kwiatów i kolby, jak niektóre rośliny z rodziny obrazkowatych (Araceae), np. obrazki plamiste (*Arum maculatum*) lub potencjałem elektrycznym. Głównym



Fot. 1. Pszczoła miodna *Apis mellifera* L.

Autor: Jon Sullivan, Wikimedia Commons

ich atraktantem jest nektar kwiatowy, który może być na tej samej roślinie w różnych ilościach w poszczególnych latach. Na przykład w 2016 r. lipy miały go wyjątkowo mało i pszczoł na lipach było bardzo niewiele. Ze względu na zapylające kwiaty owady należące do danego rzędu rozróżnia się kwiaty motylowe, błonkówkowe, muchówkowe i chrząszczowe (Szafer, 1956).

Wśród owadów pszczoły (Fot. 1) są najlepszymi zapylaczami, bo szybko przenoszą się z kwiatu na kwiat i ich nie uszkadzają. Ponadto ich ciało pokryte jest włoskami, do których łatwo przyczepia się pyłek. Z reguły odżywiają się pyłkiem jednego gatunku roślin i to ułatwia zapylanie. Tańcami informują się o miejscu pożytku. Pszczoły rozpoczynają pracę dopiero w temperaturze 10°C, natomiast trzmiele pracują już w temperaturze 7°C, od rana do zmierzchu, nawet podczas niewielkich opadów deszczu. Jednak wtedy nie informują się o miejscu pożytku. Niestety ostatnio pszczoły zamierają, gdyż ich roje porażane są przez choroby, zwłaszcza wirusowe oraz z powodu przywleczonego z Indii pasożytniczego

roztocza *Varroa destructor*, który wywołuje chorobę warrozę. Choroba ta głównie osłabia czerw i pszczoły stają się wrażliwsze na patogeny i pestycydy (Boczek, 2001; Boczek i Błaszak, 2005).

Również w glebie żyją bardzo liczne owady. Są to głównie formy bezskrzydłe. Najważniejszymi owadami glebowymi są skoczogonki (Collembola), chrząszcze (Coleoptera), błonkoskrzydłe (Hymenoptera), larwy muchówek (Diptera) i motyli (Lepidoptera). Owady glebowe rozdrabniają resztki organiczne i mieszają substancję organiczną z mineralną częścią gleby, tym samym przyczyniają się do poprawy żyzności gleby. W ich przewodach pokarmowych występuje specyficzna mikroflora jelitowa, symbionty i enzymy trawienne (Szujewski, 1980; Uggas, 1977). W 1 m² gleby może występować nawet setki tysięcy owadów. Żyją w porach glebowych do głębokości kilkudziesięciu centymetrów. Ich liczebność w głębszych warstwach gleby zależy od porowatości gleby, warunków klimatycznych rejonu, właściwości fizyko-chemicznych i rodzaju gleby, ilości substancji organicznej, sposobu uprawy i w niewielkim stopniu od rodzaju rosnących na niej roślin. Najwięcej owadów znajduje się w glebach leśnych i pod ugorami, znacznie mniej w glebach uprawnych. Jest ich też więcej w glebach urodzajnych niż ubogich. Są to owady o krótkich nogach i szczecinach zdolne do życia w środowisku o małej zawartości tlenu (ok. 1%) i dużej dwutlenku węgla (nawet do 30%) (Szujewski, 1980).

Owady stanowią służbę sanitarną. Rozkładają martwe organizmy (saprofagi, nekrofagi), kał zwierząt (koprofagi), a więc także przykre zapachy. Chrząszcze koprofagiczne ze względu na swój behavior pełnią bardzo ważną rolę w ekosystemach rolniczych. Napowietrzają, spulchniają, zwiększają przesiąkliwość, a także poprawiają strukturę gleby. Zwiększają również zasobność gleby w humus poprzez zakopywanie ekskrementów. Koprofagi wspierają wszystkie naj-

ważniejsze czynniki środowiskowe mające decydujący wpływ na przebieg procesu naturalnej bioremediacji (samooczyszczania) gleby. Bioremediacja to technologia (proces) usuwania zanieczyszczeń, głównie ropopochodnych, z gleby i wód podziemnych przy udziale mikroorganizmów, a czasami roślin. Ostatnie badania pokazują, iż chrząszcze koprofagiczne są kolonizowane przez gatunek grzyba *Trichosporon lactis*. Badania wykazały zdolność tego gatunku grzyba do rozkładu związków fenolowych, hydrochinonów i krezoli (Lopandici in., 2004). Połączenie zatem roli jaką pełnią koprofagiczne chrząszcze wraz ze zdolnościami metabolicznymi *T. lactis* daje możliwość wykorzystywania tego niezwyklego związku w procesie naturalnej bioremediacji gleb (Górz i Boroń, 2016).

Owady biorą też udział w eliminacji chwastów. Żerując na chwastach, obniżają ich jakość i liczebność, prowadzą nawet do ich całkowitej eliminacji w uprawach. Biologiczna metoda zwalczania chwastów może polegać na: a) imporcie wrogów danego gatunku chwastu z jego rodzimych rejonów i wykorzystaniu ich na miejscu, b) masowej produkcji w laboratorium patogenów lub fitofagów chwastu występujących nielicznie i ich rozprzestrzenienie, c) ochronie patogenów atakujących chwast (Boczek i in., 2014). Łatwiej jest opracować walkę biologiczną z chwastem zawleczonym na nowy teren i zalecić wykorzystanie wrogich mu organizmów pochodzących z jego ojczystego terenu, czyżwiecie po wcześniejszym dokonaniu oceny ryzyka wprowadzenia do środowiska organizmu stosowanego w walce biologicznej. Są przykłady eliminacji chwastu, w których wykorzystuje się jego fitofagi. Dobre efekty uzyskano m. in. w zwalczaniu rzeplenia i paproci w Australii; ostu, dziurawca i starca w USA; powoju na Wyspach Kanaryjskich; psianki w Afryce Południowej. W Europie nie odnotowano dotychczas sukcesów tej metody. W 2006 r. wytypowano 20 europejskich gatunków chwastów, które należy pod

tym kątem badać, m. in. szarłat, powój polny, komosę białą, starca zwyczajnego, zarzę (Zimmermann i Klein, 2000; Boczek i in., 2014).

Produkcja nici jedwabnych to też zasługa owadów. Służą im one do: budowy kokonu, ochrony jaj, do łowienia ofiar, przekazywania spermy w formie spermatorów i do przemieszczania się wraz z ruchami powietrza. Jedwab ma szczególne właściwości. Jest silniejszy i elastyczniejszy od stali, wolniej ulega degradacji w czasie niż wełna. Białko jedwabiu znajduje zastosowanie w medycynie, dentystyce, kosmetyce, a w przyszłości w przemyśle spożywczym (Boczek, 2006; 2014). Zapotrzebowanie na jedwab wciąż wzrasta. W Chinach produkowano jedwab już kilka wieków przed naszą erą. Od III wieku p.n.e. przywożono jedwab do Europy, początkowo drogą lądową, 12 000 kilometrów tzw. Jedwabnym Szlakiem, później drogą morską, którą odkryto w 1650 roku. Równocześnie wywożono perfumy, złoto, winogrona i rośliny uprawne (Boczek, 2006, 2014). Obecnie następuje wzrost chińskich inwestycji w Polsce w sektorze hutnictwa, budownictwa, przemysłu samochodowego, produktów spożywczych i wielu innych. Jedwabny Szlak znów jest wykorzystywany.

Owady w wielu krajach świata są ważnym elementem diety ludzi. Są małymi zwierzętami, ale często występują bardzo licznie. Swoją masą na lądzie przewyższają wszystkie pozostałe zwierzęta. Zjadane są mrówki, termity, szarańczaki, larwy i poczwarki motyli, muchówek i błonkówek. W niektórych azjatyckich krajach można kupić przyrządzone owady w puszkach. Na przykład termity mogą zjadać makulaturę i wtedy mają w ciele więcej białka (68%) niż wołowina i ryby. Zupa z gąsienic jedwabnika jest delikatesem kuchni chińskiej i nie ustępuje zupie żółwiowej (Boczek i Kłyś, 2016b).

W Polsce istnieją firmy sprowadzające i rozmnażające różne gatunki owadów, które są wykorzystywane jako pokarm dla zwierząt hodowanych w terariach.

Polacy praktycznie owadów nie jedzą, ale w sklepach dostępne są np. świerszcze (bananowe, tajske, domowe i kubańskie) i szarańcza wędrowna oraz larwy drewnojada, karaczanów (karmowego dużego i małego oraz tureckiego), mącznika młynarka, much (owocowej i hermeti). Ilość białka, tłuszczu z dużą zawartością nienasyconych kwasów tłuszczowych, witamin, minerałów, aminokwasów i żelaza w ciele owadów jest porównywalna z ich zawartością w ciałach innych zwierząt (Boczek, 2007a; Boczek i Kłyś, 2016b).

Od starożytności do dzisiaj wykorzystuje się larwy niektórych muchówek z rodziny plujkowatych, głównie gatunki: *Lucilia sericata*, *L. cuprina* i *Phormia regina* do leczenia trudno gojących się ran, np. odleżynowych, owrzodzeń goleni, ropni skóry, w zakażeniach ran pourazowych, w leczeniu stopy cukrzycowej oraz w niszczeniu tkanki nowotworowej (Orkiszewski, 2007). Larwy zjadają martwe tkanki, bakterie i stwarzają środowisko aseptyczne, nawet w przypadku zakażenia gronkowcem złocistym opornym na antybiotyki (Thomas i in., 1999). Ich wydzieliny zawierają substancje bakteriobójcze i przeciwzapalne, które są skuteczne w leczeniu ran, a to jest bardzo istotne, zwłaszcza w obecnie postępującym spadku efektywności antybiotyków. Larwy much wykorzystuje się w Stanach Zjednoczonych i Europie w lecznictwie otwartym i w szpitalach (Orkiszewski, 2007). Dzięki tym owadom wielu pacjentów żyje, nie straciło kończyn z powodu amputacji. W Polsce powstał opatrunek z larw much usuwający martwe tkanki i bakterie, oszczędzający żywe tkanki, oraz zapewniający odpowiednie warunki do gojenia się rany. Badania potwierdziły skuteczność opatrunku. Metoda leczenia ran z zastosowaniem larw muchówek jest szybsza, tańsza i wielu wypadkach skuteczniejsza niż antybiotykowa (Rozwadowska 2015).

Znajomość owadów, biologii ich rozwoju, ich rozprzestrzenienia i aktywności jest też wykorzystywana

w sądownictwie. Owady sanitarne takie jak wesz, pluskwa domowa mogą być znajdowane na zwłokach nawet przez kilka dni po śmierci, co świadczy o obecności ich w mieszkaniu, w którym wcześniej przebywała osoba zmarła. Najpierw niektóre muchówki ścierwiczowate zasiedlają zwłoki zwierząt czy ludzi, następnie w kolejne dni plujkowate i jeszcze później chrząszcze skórnice. Poszczególne gatunki owadów są aktywne w określonych porach doby i latają na różnych wysokościach. Wszystkie takie dane mogą ułatwiać ustalenie miejsca i czasu zbrodni (Boczek i Kordan, 2007).

Również długość życia owadów jest bardzo zróżnicowana. Na przykład jętki żyją 1 dobę, a królowa termitów może żyć 35 lat. Nawet w obrębie jednego gatunku długość życia jest różna, np. wśród mrówek mamy robotnice i królową, samce i samice uskrzydłone i bezskrzydłe, formy diapauzujące, żołnierzy i długość życia każdej z tych form jest różna. Na długość życia wpływają takie czynniki jak wiek rodziców, dieta i warunki środowiska (Boczek i Błaszak, 2006; Boczek i Kiełkiewicz, 2016). Ponadto każdy gatunek owada do życia i rozwoju ma określoną temperaturę minimalną, optymalną i maksymalną. W ostatnich dziesięcioleciach następuje na kuli ziemskiej wzrost temperatury i poziomu gazów cieplarnianych, przede wszystkim dwutlenku węgla. Zmiany te bezpośrednio wpływają na fizjologię, długość życia i zachowanie stawonogów oraz na ich rośliny żywicielskie. Intensywność tych zmian zależy od gatunku rośliny, odmiany, wysokości nad poziomem morza na jakiej fitofag żeruje. Okazało się, że podwyższony poziom CO₂ zwiększał liczebność populacji szkodników, a czas rozwoju owadów żerujących na floemie skracał się. Młode stadia owadów silniej reagowały na wzrost poziomu CO₂ niż starsze stadia. Te nowe warunki środowiska sprzyjają także rozwojowi chwastów i patogenów roślin. Różne dane uzyskane z obserwacji owadów pomagają też w interpretacji ba-

dań nad żywotnością ludzi (Boczek, 2007b; Guerenstein i in., 2008; Boczek, Pruszyński, 2014).

Drapieżne i pasożytnicze owady wykorzystuje się w walce biologicznej z innymi owadami, szkodnikami roślin i produktów przechowywanych, oraz do zwalczania chwastów. Przykładem może być masowa produkcja wysterylizowanych samców pasożytniczych owadów, które wypuszczone w teren doprowadzą do tego, że samice szkodnika nie zostaną zapłodnione i nie nastąpi rozwój następnego pokolenia (Boczek i Lewandowski, 2016).

Owady są bardzo częstym materiałem do badań behawioralnych, fizjologicznych, toksykologicznych i molekularnych. Są łatwe i tanie w hodowli, można szybko uzyskiwać miliony osobników, a więc można wykonać wiele powtórzeń w doświadczeniach porównawczych. Muszki z rodzaju *Drosophila*, oprócz innych bezkręgowców i kręgowców, zwłaszcza szczurów, bardzo ułatwiły i wzbogaciły poznanie i praktyczne wykorzystywanie genetyki w różnych dziedzinach życia.

Po zachowaniu owadów można także przewidywać pogodę, obserwować ich opiekę nad potomstwem, wykorzystywanie afrodyzjaków oraz „prezenty ślubne”, którymi w czasie zalotów i kopulacji samiec często obdarza samicę (Boczek, 1990).

Doceniając te wszystkie korzystne bezpośrednie lub pośrednie oddziaływania owadów na człowieka, niektóre z nich umieszczono na liście zwierząt chronionych. Celem ochrony owadów jest przede wszystkim zachowanie ich różnorodności biologicznej, która jest zagrożona z powodu intensyfikacji rolnictwa, rozbudowy miast, dróg, zmian klimatu (ocieplanie się) oraz pojawiających się gatunków inwazyjnych, takich jak na przykład stonka kukurydziana *Diabrotica virgifera* (Fot. 2), czy azjatycka biedronka *Harmonia axyridis* zagrażająca rodzimym gatunkom biedronek (Kołątaj, 2014). Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 6. X.

2014 roku ścisłą ochroną gatunkową w Polsce objęte są owady: 8 gatunków ważek, 2 gatunki prostoskrzydłych, 1 gatunek modliszki, 1 gatunek pluskwiaka, 23 gatunki chrząszczy (plus 5 gatunków pachnicy), 19 gatunków motyli i 1 gatunek błonkoskrzydłych. Ochroną częściową objęto 7 gatunków ważek, 1 gatunek chruścika, 43 gatunki chrząszczy, 17 gatunków motyli i 39 gatunków błonkoskrzydłych. Inną ciekawą formą ochrony owadów są hotele dla nich. W warszawskich parkach rozwieszono klatki pozwalające przebywać i zimować w nich owadom.

Owady szkodliwe dla roślin, zwierząt i człowieka

Owady zjadają i często niszczą różne produkty organiczne. Za niezwykle uznaje się zjadanie przez owady drewna, wosku i wełny. Owady – drewnojady niszczą strukturę i estetykę drewna oraz drewnianych przedmiotów, ale drewno nie jest dla nich pożywnym pokarmem. Drewno zawiera, w zależności od gatunku 40-55% celulozy, 25-40% hemiceluloz i około 25% ligniny oraz wydzieliny: żywice, garbniki, olejki eteryczne i resztki treści komórkowych (białko, skrobia, witaminy) i wodę (Wilfred i Côté 1968, Sjostrom i Westermarck 1999, Bertaud i Holmbom 2004, Ignatowicz 2008). Trawienie drewna i wchłanianie substancji odżywczych następuje w jelicie środkowym i tylnym owadów. Kołatki (Anobiidae) i spuszczle (Hylotrupes) rozkładają celulozę i częściowo ligninę na cukry proste, dzięki enzymom (celulazom) lub/i wykorzystują do tego celu zawarte w ich przewodach pokarmowych mikroorganizmy. Miazgowce (Lyctidae) wykorzystują skrobię znajdującą się w komórkach bieli drewna, natomiast nie są zdolne do trawienia celulozy. Larwy intensywnie żerują w drewnie o wilgotności 10-20%, a przy 40-80% wilgotności względnej powietrza ich rozwój jest najszybszy (Ignatowicz, 2017).



Fot. 2. Stonka kukurydziana *Diabrotica virgifera* LeConte

Autor: Tom Hlavaty, <http://www.ars.usda.gov/is/graphics/photos/index>

Wosk, plastry w ulach i przechowalniach uszkadzane są często przez barcia większego (*Galleria mellonella*) (Fot. 3). Jest to nocny motyl z rodziny omacnicowatych (Pyralidae) o rozpiętości skrzydeł ok. 3 cm, który nocą zasiedla ule i uszkadza plastry z czerwiem. Jego gąsienice o długości do 2,5 cm, dzięki symbiotycznym bakteriom obecnym w przewodzie pokarmowym, zjadają i trawią wosk pszczeli. Niszczą w ulach plastry z czerwiem. Porażone plastry należy przegrzewać w 48°C przez 24h, stosować bakterię *Bacillus thuringiensis* i siarkować plastry.

Wełnę, pióra, futra i bawełnę uszkadzają larwy mola włosienniczka (*Tineola bisselliella*), zwanego molem ubraniowym. Jest to mały motyl o rozpiętości skrzydeł ok. 15 mm. Samica składa kilkadziesiąt jaj na produkty, larwy osiągają długość 10 mm. Rozwój i żerowanie larwy trwa od 5 tygodni do 2 lat. Mól włosienniczek to poważny szkodnik w domach i przechowalniach. Żeruje na wełnie, jedwabiu, futrach, skórach i innych materiałach zwierzęcych. Należy zapobiegać



Fot. 3. Barciak większy *Galleria mellonella* L.

Autor: Sarefo, Wikimedia Commons

jego występowaniu przez częste wietrzenie, trzepanie, pozostawianie odzieży na mrozie. Można stosować do odstraszania tego szkodnika: lawendę, nostryka, marzannę wonną, bagno zwyczajne, szyszki sosny, olejek goździkowy, miódle indyjską (Gołębiowska, Nawrot, 1976; Boczek, Lewandowski, 2016).

Okolo 50% gatunków owadów dzisiaj żyjących na kuli ziemskiej to fitofagi. Należą do 8 rzędów (prostoskrzydłe, psotniki, przylżeńce, pluskwiaki, muchówki, błonkówki, motyle i chrząszcze). Choć rośliny zawierają wszystkie podstawowe składniki pokarmowe potrzebne owadom, jednak jak stwierdzono w hodowlach owadów na sztucznych pożywkach, rośliny nie są dla owadów dobrym pokarmem, bo tkanki owadów zawierają do 14% azotu, a rośliny tylko do 4%. W roślinach jest mało białka (ok. 13%), a dobry pokarm dla owadów to z zawartością 25-40% białka. Ponadto rośliny zawierają często toksyczne dla owadów alkaloidy, flawonoidy, fenole, terpenole, oraz hormony juvenilne i hormony linienia. Są też w nich deterenty żerowania owadów. Każdy gatunek rośliny, a nawet poszczególne osobniki, stadia i tkanki zawierają określony zestaw metabolitów.

Owady jednak potrafią rozkładać związki toksyczne zawarte w ich pokarmie (Boczek i Lewandowski, 2016; Schumann i Baldwin, 2016).

Owady zgryzają różne części roślin. W zależności od typu narządów gębowych gryzą rośliny lub wysysają ich soki. Powodują 5 typów uszkodzeń: żerują na powierzchni roślin, zwijają liście, tworzą galasy, wygryzają w roślinach chodniki lub minują liście.

Bardzo ważną zdolnością owadów jest przenoszenie przez nie patogenów roślin: wirusów, bakterii i grzybów. Bywa to przenoszenie bierne, stają się przypadkowymi środkami transportu lub powstają powiązania między wektorem a patogenem. Najliczniejszymi wektorami są mszyce: – 216 gatunków mszyc przenosi 270 gatunków wirusów. Sama mszyca brzoskwińowa przenosi aż 150 gatunków wirusów (Boczek i Lewandowski, 2016).

Owady również powodują duże straty w czasie przechowywania, przetwórstwa i obrotu żywności. Każdy gram przechowywanej żywności zaatakowanej przez szkodnika jest bezpowrotnie stracony lub co najmniej obniża się jego wartość i cena. Szkodniki żywności zjadają, zanieczyszczają, zawilgacają i zagrzewają, oraz infekują ją mikroorganizmami. Niektóre produkty, jak np. zboża są często przechowywane przez długi okres. W Kanadzie tylko 1/3, a w Australii 1/6 produkowanych zbóż jest zużywana w kraju w ciągu roku, reszta często jest długo przechowywana, przeznaczana na eksport. Straty samych zbóż na świecie spowodowane przez szkodniki dawniej szacowane były na ok. 10%, w Polsce na ok. 3% (Boczek, Stępień, 1981). W miarę poprawy warunków magazynowania (odpowiednie magazyny, suszenie zboża, kontrola temperatury i wilgotności zbóż) straty te zmalały i są zróżnicowane w zależności od regionu klimatycznego i kraju. Ogólnie przyjmuje się, że w skali światowej coroczne straty spowodowane przez owady i roztocze w magazynowanych produktach nadal wynoszą ok. 10 %. Ale w jednych krajach,

np. w byłych republikach Związku Radzieckiego, straty magazynowanego ziarna zbóż są znacznie wyższe od średniej ogóln światowej, np. na Ukrainie wynoszą 25-50 %, natomiast w innych krajach są niewielkie, np. w Australii wynoszą tylko 0,75 %. W Pakistanie 16 % ziarna pszenicy jest tracone podczas magazynowania (Fox, 2013).

Straty powodowane przez owady na roślinach uprawnych ocenia się na 10% na świecie, na 5% w Europie i 10 – 15% w Polsce. Straty powodowane przez pojedyncze gatunki mogą być bardzo duże. Kwieciak malinowiec tylko na truskawkach powoduje w Polsce straty 25-50% plonu. Straty ziemniaków oceniane są na 20% w czasie wegetacji i 20-30% w czasie przechowywania. Straty warzyw wynoszą około 30%, a w sadach około 33% (Boczek i Lewandowski, 2016).

Rośliny bronią się przed fitofagami w różnoraki sposób, metodami bezpośrednimi i pośrednimi, fizycznymi i chemicznymi. Emitują lotne substancje, które odstraszają fitofagi i wabią ich wrogów. Badania nad zachowaniem owadów w kontakcie z roślinami umożliwiają wywieranie wpływu na te procesy (Price i in., 1980; Kessler i Baldwin, 2001; Knolhoff i Heckel, 2014).

Odporność roślin na owady sprawia, że ogranicza się stosowanie metod chemicznych. Uzyskano już ponad 100 loci genów odporności i molekularne markery dla ryżu, pszenicy, sorgo i żurawiny, co pozwala na integrowaną ochronę tych upraw w Europie, Australii i Azji (Smith i Clement, 2012). Uprawa wysokoplennych odmian, intensywne nawożenie azotem, ograniczenie płodozmianu, specjalizacja gospodarstw, rejonizacja upraw, a także ograniczanie asortymentu stosowanych środków ochrony roślin i tworzenie się odpornych na zoocydy biotypów owadów to czynniki sprzyjające masowemu pojawowi szkodników i zwiększaniu się strat.

Owady mają także ogromny wpływ na nasze zdrowie i życie. Są wektorami wielu poważnych chorób

prowadzących często do absencji chorobowych w pracy, a nawet śmierci (Tabela 3, 4, 5). Owady w ślinie mają antykoagulanty przeciwdziałające krzepnieniu krwi. Są obligatoryjnymi pasożytami, np. muchy tse-tse (*Glossina*), albo krew wykorzystują tylko do rozmnażania (np. komar) lub krew i materiały roślinne są ich pokarmem (np. bąk). Najgroźniejszymi wektorami chorób są komary. Komary 63 gatunków (głównie *Anopheles gambiae*) przenoszą pierwotniaka malarii (4 gatunki *Plasmodium*). Obecnie co roku umiera na malarię około miliona ludzi, głównie dzieci, a choruje ok. 5 milionów. W Polsce najpospolitsze gatunki komarów to komar widliszek (*Anopheles maculipennis*) i komar brzęczący (*Culex pipiens*). Od 1963 nie było w Polsce przypadku malarii, a od 1978 Polska znalazła się na liście krajów WHO bez malarii, gdyż klimat nasz nie pozwala na rozwój zarodźca. Ocieplanie się klimatu może w przyszłości spowodować nawrót choroby.

Atrakcyjność człowieka dla komara zależy od wieku, płci, substancji atrakcyjnych i repelentnych zawartych w jego pocie, ale również od gatunku komara i jego liczności w otoczeniu. Dla komara egipskiego bardziej atrakcyjni byli mężczyźni niż kobiety, a dla *Anopheles stephensi* – kobiety. W związku z tym trudno uzyskać uniwersalny repelent przeciw komarom (Boczek, Kłyś, 2016a).

Natępne i dokuczliwe dla człowieka i zwierząt są meszki. Z występujących 48 gatunków w Polsce, 7 gatunków atakuje człowieka. Ich ukłucia z wprowadzeniem toksycznej śliny powodują zmiany skórne i reakcje ogólnoustrojowe. Meszki są wektorami chorób człowieka i zwierząt. W Ameryce Południowej przenoszą krętki wywołujące chorobę pinto powodującą ślepotę u ludzi. Są żywicielami pierwotniaków pasożytujących na kaczkach, indykach i gęsiach. W hodowlach zwierząt powodują duże straty (Buczek, 2005a, b).

Choroba	Atakowani	Wektor	Patogen
Malaria	ludzie	komary	pierwotniak
Gorączka Zachodniego Nilu	ludzie	komary, meszki	wirus
Żółta febra	ludzie, małpy, gryzonie	komary	wirus
Filarioza	ludzie	komary	nicień
Śpiączka afrykańska	ludzie	mucha tse-tse	pierwotniak
Zapalenie mózgu	ludzie, konie, ptaki	komary	wirus
Tularemia	ludzie, gryzonie, ptaki	pchły, wszy	bakteria
Tyfus plamisty	ludzie	wesz odzieżowa	riketsja
Dżuma	ludzie, gryzonie	pchły	bakteria
Czerwonka	ludzie	muchy	ameba, bakteria
Tyfus (dur) brzuszny	ludzie	muchy	bakteria
Myksomatoza	króliki	bąki, komary	wirus
Wąglik	ludzie, zwierzęta	bąki	bakteria

Tabela 3. Choroby człowieka i zwierząt przenoszone przez owady

zmienione Boczek i Lewandowski, 2016.

Wektory	Patogen	Choroba	Atakowani
Karaczany	bakteria	salmonelloza	człowiek
Muchy	bakteria pierwotniak bakteria	cholera, tyfus, gruźlica pełzakowica czerwonka, zapalenie przewodu pokarmowego	człowiek człowiek człowiek
	pierwotniak	trypanosomatoza (śpiączka afrykańska)	człowiek
Bąki, komary	bakteria	tularemia	człowiek, zające, króliki

Tabela 4. Przykłady patogenów człowieka i zwierząt przenoszone mechanicznie przez wektory

Źródło: Buczek i Boczek, 2011.

Rodzaj komara	Choroby
<i>Anopheles</i> spp.	malaria, filarioza, wiryzy (np. <i>A. gambiae</i>)
<i>Aedes</i> spp.	żółta febra, denga, encephalitis, wiryzy (np. <i>A. aegypti</i>)
<i>Culex</i> spp.	filarioza, encephalitis, wiryzy (np. <i>C. quinquefasciatus</i>)
<i>Mansonia</i> spp.	filarioza, wiryzy (np. <i>M. uniformis</i>).

Tabela 5. Komary jako wektory

Wśród owadów są też szkodniki sanitarne. Są to zwierzęta o znaczeniu sanitarno-epidemiologicznym, ich obecność w środowisku człowieka jest zagrożeniem dla jego zdrowia, a nawet życia. Oto przykłady niektórych z nich:

- owady bezskrzydłe (Apterygota) – rybak cukrowy;
- prostoskrzydłe (Orthoptera) – świerszcz domowy, szarańcza,
- skorki (Dermaptera) – skorek pospolity;
- karaczany (Blattodea) – karaczan wschodni i karaczan prusak;
- muchówki (Diptera) – mucha domowa, meszki, komary, bąki, gzy, wywilżnowate;
- pchły (Siphonaptera) – pchła ludzka, psia i szczurza;
- motyle (Lepidoptera)- mól ubraniowy, mklik mączny, omacnica spichrzanka;
- chrząszcze (Coleoptera) – mrzyk muzealny, skórek zbożowiec, spichrzek surynamski, trojszyki, wołki;
- błonkówki (Hymenoptera) – pszczołowate, mrówki,
- psotniki (gryzki) (Psocoptera) – psotnik kołatek;
- wszoły (Mallophaga) – wszoł kurzy;
- wszy (Anoplura), – wesz głowowa, ubraniowa, łonowa, końska;
- pluskwiaki (Hemiptera) – pluskwa domowa.

W naszych szpitalach, stołówkach, przedszkolach i innych budynkach mieszkalnych tam, gdzie jest żywność, często występują owady (nawet w 80% szpitali), zwłaszcza karaczany, pluskwy i pchły. Jeśli karaczany zasiedlą budynek, zwłaszcza stary, gdzie są liczne szczeliny, szpary w ścianach, tynkach pozbycie się ich jest bardzo trudne. Mieszkańcy bardzo silnie reagują na widok lub nawet samą informację o obecności, czy zapachu tych stawonogów. Bardzo częste są zachowania entomofobiczne, wywoływane stresem i stanem obrzydzenia spowodowanego nieprzyjemnym wyglądem, zapa-

chem, szybkim poruszaniem się owadów (Wodzisławska-Czapla i Hudzik, 2010; Kłyś, 2013).

Zwalczaniem tych szkodników zajmują się zakłady DDD (dezynfekcji, dezynsekcji i deratyzacji) i Zespoły ds. Zwalczania Zakażeń Szpitalnych. Stosują przede wszystkim codzienny monitoring owadów oraz przyręty, pułapki, preparaty interwencyjne, lampy z rusztami owadobójczymi i inne metody, formułacje. Owady w szpitalach stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi, powodują też reakcje alergiczne. Zwalczenie karaczanów obniża częstotliwość zachorowań na choroby zakaźne. Obecnie przygotowywane są unijne normy sanitarne.

Na ssakach i ptakach pasożytują między innymi pchły, wszy i pluskwy. Pchła ludzka (*Pulex irritans*) przenosi zarazki dżumy, gorączki tyfusowej endemicznej, dwoinek zapalenia płuc, a pchła ptasia (*Ceratophyllus gallinae*) anemię kur i innych ptaków. Wszy atakujące człowieka to – głowowa (*Pediculus humanus humanus*, zwana też *P. humanus capitis*), odzieżowa (*Pediculus humanus corporis*) i łonowa (*Phthirus pubis*). Wesz odzieżowa przenosi tyfus plamisty, tyfus gorączki szczerzej i powrotnej. Również pluskwy przebywają w otoczeniu człowieka. Ukrywają się w szparach podłóg, ścian, pod tapetami. Powodują zmany skórne w miejscu ukłucia, obrzęk i zaczerwienienie. Przypuszcza się, że przyczyniają się do rozprzestrzeniania wirusów zapalenia wątroby typu B. (Buczek, 2005a, b).

Czynniki wpływające na ograniczanie liczebności owadów

Owady silnie reagują na czynniki klimatyczne. Mogą żyć w skrajnych warunkach temperaturowych. Znalezione je w wodzie wyciekającej z lodowca, jak również w gorących źródłach. Intensywne deszcze, ulewy połączone z wiatrem mogą niemal całkowicie splukiwać owady żyjące na liściach roślin.

Znane są liczne rośliny działające na owady odstraszająco, repelentnie. Do odstraszania komarów, meszek, much, karaczanów i wielu innych owadów wykorzystujemy takie rośliny i produkty z nich otrzymywane jak:

- bazylia (*Ocimum basilicum*), kocimiętka fassena (*Nepeta fassenii*), mirt pospolity (*Myrtus communis*), lawenda wąskolistna (*Lavendula angustifolia*),
- mięta pieprzowa (*Mentha x piper*), pelargonia szorstka (*Pelargonium multifidum*), tymianek pospolity = macierzanka (*Thymus vulgaris*), heliotrop peruwiański (*Heliotropium arborescens*),
- koper włoski (*Foeniculum vulgare*) i komarzyca (*Plectranthus coleoides*).

Dla ochrony roślin przed owadami opracowuje się odmiany odporne. W praktyce rolniczej najczęściej stosuje się odmiany odporne na określone agrofagi oraz środki ochrony roślin. W Polsce obecnie na liście jest blisko 1500 takich preparatów, w tym 240 zoocydów, 200 insektycydów, 2 nematocydy i 20 akarycydów. Unia Europejska coraz bardziej ogranicza tę listę, zwłaszcza o insektycydy jako najbardziej toksyczne dla człowieka i zwierząt domowych. W monitoringu wyłapuje się owady określonych gatunków, stosuje się pułapki feromonowe lub świetlne.

Owady porozumiewają się emitując substancje chemiczne (feromony, kairomony allomony), tańcami, emitując światło lub wydając dźwięki. Nie tylko muchy, pszczoły, świerszcze i cykady wydają dźwięki. Jest to u owadów częsta metoda porozumiewania się. Owady należące do 9 rzędów wydają głosy, często jako niesłyszalne dla nas ultradźwięki. W różny sposób te głosy produkują i mogą to być głosy zalotne, agresji, stresu, nawołujące samce lub odstraszające rywali. Próbowano wykorzystywać głosy owadów do ich zwalczania. Głosy takie pozwalają lokalizować owady w produktach spożywczych, w magazynowanym ziarnie, owocach i przy zabiegach kwarantannowych. Mogą także być wyko-

rzystane do monitoringu owadów, a więc ustalania momentu pojawienia się szkodnika i ustalania najlepszych terminów zabiegu jego zwalczania (Boczek, 1990).

Istnieją rośliny owadożerne, czyli mięsożerne, „drapieżne”. W Polsce takimi roślinami są rosiczka (*Drosera* 3 gatunki), tłustosz (*Pinguicula* 3 gatunki) i pływacz (*Utricularia* 6 gatunków). Rurkowate, kolorowe liście tych roślin, jeśli znajdzie się w ich środku żywy owad, pajęczak lub skorupiak, zamykają się, roślina chwytając i trawi je kwasem mrówkowym wytwarzanym na spodzie dna kwiatu. Ponadto brzegi liści tych roślin pokrywa słodka ciecz, która wabi owady, pająki. Ta owadożerność rekompensuje im brak przyswajalnego azotu, gdyż rośliny te rosną na glebach ubogich w składniki odżywcze (Ples, 2016; <http://www.rosiczka.com/tag/pokarm-rosiczek/>).

Podsumowanie

W tym przeglądowym artykule zwrócono uwagę na olbrzymie bogactwo świata owadów w kontekście ich znaczenia gospodarczo- medycznego dla życia człowieka.

Owady to najliczniejsza i najbogatsza w gatunki grupa zwierząt szeroko rozprzestrzeniona na świecie. Mogą żyć w różnych środowiskach. Spotykane są także w naszych mieszkaniach. Odgrywają w życiu człowieka bardzo ważną rolę, zarówno pozytywną jak i negatywną.

Są naszymi sprzymierzeńcami w rolnictwie i produkcji żywności. Zapylają rośliny, rozdrabniają martwą materię organiczną i mieszają ją z mineralną częścią gleby użyźniając ją, produkują miód, воск, masło i nici jedwabne. Żerując na chwastach biorą udział w ich eliminacji. Są też ważnym elementem diety ludzi i zwierząt. Larwy muchówek z rodziny plujkowatych stosuje się do leczenia trudno gojących się ran. Z kolei drapieżne i pasożytnicze owady wykorzystywane są w walce

biologicznej z innymi owadami, szkodnikami roślin oraz do zwalczania chwastów. Znajomość aktywności, rozprzestrzenienia i biologii owadów ma zastosowanie w sądownictwie. Ponadto owady są materiałem do badań behawioralnych, fizjologicznych, toksykologicznych i molekularnych.

Do szkodliwie działających owadów należy zaliczyć gatunki niszczące np. drewno, wełnę, воск, futra oraz przechowywane ziarno zbóż i produkty spożywcze, które zjadają, zanieczyszczają, zawilgacają, zagrzewają i infekują mikroorganizmami. Ponadto owady przenoszą patogeny roślin (wirusy, bakterie i grzyby). Mają również ogromny wpływ na nasze zdrowie i życie. Są wektorami wielu poważnych chorób, np. malarii, dżumy, zapalenia mózgu, czy czerwoności. Pasożytują między innymi na ssakach i ptakach (np. pchły, wszy i pluskwy). Poza tym wywołują u człowieka reakcje alergiczne i zachowania entomofobiczne.

Aby chronić się przed szkodliwymi owadami stosuje się m. in. rośliny działające na nie odstraszająco, opracowuje się odmiany roślin odporne na określone agrofagi oraz stosuje się monitoring owadów.

Literatura

- Banaszak J, Czechowska W, Czechowski W, Garbarczyk H, Sawoniewicz J, Wiśniowski B (2000). Zagrożenia i perspektywy ochrony owadów błonkoskrzydłych (*Hymenoptera*). *Wiad Entomol.* 18: 177-211.
- Bertaud F, Holmbom B (2004). Chemical composition of early wood and latewood in Norway spruce heartwood, sapwood and transition zone wood. *Wood Sci Technol.* 38: 245-256.
- Błaszak Cz. (red) (2012). *Zoologia t. 2 cz. 2 Stawonogi*. Wyd Nauk PWN, Warszawa, 198-199.
- Boczek J (1990). Głosy owadów i możliwości ich wykorzystania w rolnictwie. *Post Nauk Roln.* 3: 59-69.
- Boczek J (1990). *Owady i ludzie*. Wyd PWN, Warszawa. 236s.
- Boczek J (2001). *Człowiek i owady*. Fundacja Rozwój SGGW. 199 s.
- Boczek J (2006). Jedwab i jedwabnik. *Wszechświat*. 107: 256-260.
- Boczek J (2007a). Owady jako pokarm dla ludzi i zwierząt. *Higiena* 2:1-3
- Boczek J (2007b). Skład chemiczny roślin, zmiany klimatu a pojawienie szkodników. *Post Nauk Roln.* 6: 3-13.
- Boczek J, Błaszak Cz (2005). *Roztocze (Acari). Znaczenie w życiu i gospodarce człowieka*. Wyd SGGW. Warszawa. 267s.
- Boczek J, Błaszak C (2006). Procesy starzenia się i długość życia owadów i roztoczy. *Stawonogi. Znaczenie epidemiologiczne*. A. Buczek, C. Błaszak, Koliber, Lublin, 13- 20.
- Boczek J, Kordan B (2007). The utilization of insects and mites in forensic entomology. *A.*
- Buczek, C. Błaszak. *Stawonogi, środowisko, patogeny i żywicieli*. KOLIBER, Lublin: 243-8.
- Boczek J (2014). Jedwab i jego funkcje w życiu owadów, roztoczy i pająków. *Zagadn Dor Roln.* 1: 75-84.
- Boczek J, Gawroński S, Pruszyński S (2014). Biologiczne metody zwalczania chwastów: możliwości i praktyka. *Zag Dor Roln.* 2: 66-72.
- Boczek J, Kłyś M (2016a). Czy komary wybierają swoich żywicieli? *EBiŚ* 2: 31-34.
- Boczek J, Kłyś M (2016b). Mucha domowa (*Musca domestica* L.) w środowisku człowieka. *EBiŚ* 2: 35-39.
- Boczek J, Kielkiewicz M (2016). Starzenie się i długość życia wybranych bezkręgowców i kręgowców. *Zagadn Dor Roln.* 4: 94-103.
- Boczek J, Lewandowski M (2016). Nauka o szkodnikach roślin uprawnych. Wyd. SGGW, Warszawa, 411 s.
- Boczek J, Pruszyński S (2014). Wpływ zmian klimatu na owady i roztocze związane z roślinami. *Zag Dor Roln.* 4: 56-67.
- Boczek J, Stępień Z (1981). Znaczenie i zwalczanie szkodników w czasie przechowywania, przetwórstwa i obrotu żywności. *Entomologia a gospodarka narodowa PWN.* 145-57.
- Bogdanowicz W, Chudzińska E, Pilipiuk I, Skibińska E (2004). *Fauna Polski*. Wyd. Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa, t. I: 509ss.
- Bogdanowicz W, Chudzińska E, Pilipiuk I, Skibińska E (2007). *Fauna Polski*. Wyd. Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa, t. II: 505ss.
- Bogdanowicz W, Chudzińska E, Pilipiuk I, Skibińska E (2008). *Fauna Polski*. Wyd. Muzeum i Instytut Zoologii PAN, Warszawa, t. III: 603ss.
- Buczek A. (2005a). *Atlas pasożytów człowieka*. Wyd. Koliber, Lublin: 52ss.
- Buczek A. (2005b). *Choroby pasożytnicze – epidemiologia, diagnostyka, objawy*. Wyd. Koliber, Lublin: 449ss.
- Buczek A, Boczek J (2011). *Owady i roztocze jako wektory patogenów. Stawonogi. Pasożyty człowieka i zwierząt*. Buczek A., Błaszak Cz. AKAPIT, Lublin, 79-93.
- Fox T (2013). *Global food waste not, want not*. Institution of Mechanical Engineers, London: 1-31.
- Gołębiowska Z, Nawrot J (1976). *Szkodniki magazynowe*. PWRiL, Warszawa: 274ss.
- Górz A, Boroń P (2016). The Yeast Fungus *Trichosporon lactis* Found as an Epizoic Colonizer of Dung Beetle Exoskeletons. *Microb Ecol.* 71: 422-427.
- Guerenstein PG, Hildebrand JG (2008). Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. *Annu Rev Entomol.* 53:161-178.
- Ignatowicz S (2008). *Drewno*. <http://www.szkodniki.www.pl/drewno.php>.
- Ignatowicz S (2017). *Przegląd szkodników drewna – miazgowce*. <http://szkodniki.waw.pl>
- Kessler A, Baldwin IT (2001). Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*. 291: 2141-2144.
- Kłyś M (2013). Various aspects of the harmful impact of arthropod pests on stored cereal grain and food products. Ed. Buczek and Błaszak *Arthropods. The medical and veterinary aspects*. Lublin 2013. s. 73-83.
- Knolhoff LM, Heckel DG (2014). Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annu Rev Entomol.* 59: 263-78.
- Kołataj K (2014). Biedronka azjatycka. *EBiŚ* 3: 25-30.
- Kubica-Biernat B (1999). Distribution of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Poland. *Europ Mosq Bull.* 5: 1-17.
- Lopandic K, Sugita T, Middelhoven WJ, Herzberg M, Fell JW, Zelger S, Prillinger H (2004). *Trichosporon caseorum* sp. nov. and *Trichosporon lactis* sp. nov., two basidiomycetous yeasts isolated from cheeses. In: Agerer R, Piepenbring M, Blanz P (eds) *Frontiers in Basidiomycota Mycology*. IHW-Verlag, Eching. 99-116.
- Niesiołowski S, Buklak E (2001). *Meszk (Simuliidae, Diptera)*. Wyd Uniw Łódzkiego. Łódź. 2001.
- Orkiszewski M (2007). Zastosowanie larw muchy *Lucilia sericata* w leczeniu trudno gojących się ran. *Wiad Lekarskie LX* 7-8: 381-385.
- Ples M (2016). O roszczeniach słów kilka, czyli wyhoduj żywą muchołapkę! *Biologia w Szkole* 1:51-56.
- Price PW, Bouton CE, Gross P, McPherson BA, Thompson JN, Weis AE (1980). Interactions among three trophic levels. Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annu Rev Ecol Syst.* 11: 41-65
- Rice CM, Ashcroft WA, Batten DJ, Boyce AJ, Caulfield JBD, Fallick AE, Hole MJ, Jones E, Pearson MJ, Rogers G, Saxton JM, Stuart FM, Trewin NH, Turner G (1995). A Devonian auriferous hot spring system, Rhynie, Scotland. *J Geol Soc, London.* 152: 229-250.
- Rozwadowska A (2015). Polskie innowacje: opatrunek z much i superczył test grypy. *Gazeta Wyborcza*, wyborcza.pl/I - lab:laboratorium innowacji.

- Schuman MC, Baldwin IT (2016). The layers of plant responses to insect herbivores. *Annu Rev Entomol.* 61: 373-394.
- Sjöström E, Westermarck U (1999). Chemical Composition of Wood and Pulp: Basic Constituents and Their Distribution: 1-19 in: E. Sjöström et al. (eds.) *Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking*.
- Smith RM, Warren PH, Thompson K, Gaston KJ (2006). Urban domestic gardens (VI): environmental correlates of invertebrate species richness. *Biodivers Conserv* 15: 2415-2438.
- Smith CM, Clement SL (2012). Molecular bases of plant resistance to arthropods. *Annu Rev Entomol.* 57: 109-28.
- Szafer W (1956). *Tajemnice kwiatów*. Wyd PWN Warszawa: 70ss.
- Szujecki A (1980). *Ekologia owadów leśnych*. PWN Warszawa: 603ss.
- Uggla H (1977). *Gleboznawstwo rolnicze*. PWN Warszawa: 558.
- Wilfred A. Côté J (1968). Chemical composition of Wood: 56-78 in: Franz F. P. Kollmann, Wilfred A. Côté Jr. edit. *Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood*.
- Wodzisławska-Czapla D, Hudzik G (2010). Zagrożenia owadami w Zakładach Opieki Zdrowotnej w województwie śląskim w latach 2003-2009 – wciąż niedoceniany problem transmisji zakażeń. In: Buczek A., Błaszak Cz. (red.), *Stawonogi. Ekologiczne i patologiczne aspekty układu pasożyt- żywiciel*. Lublin: 175-185.
- Zimmermann HG, Klein H (2000). The use of biological control agents for the control of plant invaders and the importance of partnerships. *Proc Best Manag Pract Symp*: 130-138.
- <http://www.rosiczka.com/tag/pokarm-rosiczek/> Zdrowa dieta dla rosiczki. 2013.

We live in a world dominated by insects

Małgorzata Kłyś, Jan Boczek

Insects can live in a variety of environments, they can be found practically everywhere: in freshwater and marine water, in soil, on plants, in the air, and on and in the body of other animals. Insects play a very important role in human life. They are the food of humans and animals, produce numerous products that humans use (e.g. honey, wax, manna, silk) are used in biological combat with other insects and weed control, pollinate plants, contribute to soil fertility distribution organisms, and even can be used to determine the time of death. They are the direct or indirect cause of losses caused during the production and storage of food. They eat the plants we grow, they disturb us with their presence, they sting, they suck blood, they are vectors of man and animals.

key words: insects useful, harmful insects, insect biodiversity

Tabele i wykresy w podręcznikach do nauczania chemii dla III etapu edukacyjnego

Marcin M. Chrzanowski, Irmina Buczek, Małgorzata Musialik, E. Barbara Ostrowska

DOI: 10.24131/3247.170207

Streszczenie:

W publikacji opisano wyniki analizy podręczników do chemii dla III etapu edukacyjnego. Badanie przeprowadzono w celu uzyskania pogłębionej informacji dotyczącej realizacji pierwszego celu kształcenia (wymagania ogólnego) podstawy programowej przedmiotu chemia dla III etapu edukacyjnego: *I. Pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji. Uczeń pozyskuje i przetwarza informacje z różnorodnych źródeł z wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych*. Przeanalizowano spójność treści przedstawionych w formie tabel i wykresów zastosowanych w podręcznikach z zapisami podstawy programowej. Analiza objęła wszystkie podręczniki dopuszczone do użytku szkolnego przez Ministerstwo Edukacji Narodowej, przeznaczone do kształcenia chemii

na poziomie gimnazjalnym. Wyniki badania wskazują, że w treściach prawie wszystkich serii znajdują się tabele i wykresy wymienione w podstawie programowej, ale tylko w wybranych podręcznikach obecne są opisy dotyczące tego, w jaki sposób odczytywać informacje z takich źródeł. W niektórych seriach podręczników poddanych analizie różnorodność wykresów jest stosunkowo niewielka. Tylko wybrane serie podręczników wykorzystują jako źródło analizy danych wykresy inne niż te, które bezpośrednio wymieniono w podstawie programowej.

Słowa kluczowe: podstawa programowa, podręcznik, tablica rozpuszczalności, wykres rozpuszczalności soli i wodorotlenków, chemia, wizualizacja

otrzymano: 30.01.2017; przyjęto: 5.06.2017; opublikowano: 16.08.2017



dr Marcin M. Chrzanowski: Zakład Dydaktyki Przedmiotów Szkolnych, Instytut Badań Edukacyjnych w Warszawie, Pracownia Dydaktyki Biologii, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski



mgr Irmina Buczek: Zakład Dydaktyki Przedmiotów Szkolnych, Instytut Badań Edukacyjnych w Warszawie



dr Małgorzata Musialik: Zakład Dydaktyki Przedmiotów Szkolnych, Instytut Badań Edukacyjnych w Warszawie



dr E. Barbara Ostrowska: Zakład Dydaktyki Przedmiotów Szkolnych, Instytut Badań Edukacyjnych w Warszawie

Język naturalny jest bardzo ograniczony w swoich możliwościach opisu ciągłych zmian, kształtu i ruchu w przestrzeni. (...) Ponadto, dla stosunków ilościowych rozszerzyliśmy język naturalny o język matematyki i nauczyliśmy się wykorzystywać matematykę, jako pomost pomiędzy językiem werbalnym a znaczeniami, które ujmujemy w reprezentacjach wizualnych.

(Lemke, 1998).

Dlaczego skupiamy się na wizualizacji?

Chcąc zrozumieć i wytłumaczyć rozmaite zjawiska (nie tylko przyrodnicze) korzystamy na co dzień z róż-

nych rodzajów reprezentacji wizualnej (Aydin, Sinha, Izci, Volkmann, 2014). Pozwalają one na przedstawienie informacji w sposób zorganizowany, zwięzły i treściwy. Mogą to być na przykład mapy, grafy, tabele czy różnego rodzaju wykresy. Poszczególne formy różnią się od siebie znacząco, a zrozumienie każdej z nich wymaga opanowania nieco innego aparatu pojęciowego. Korzystamy z innego zasobu wiedzy, gdy analizujemy wykres, a innego, gdy chcemy odnaleźć drogę na mapie. Takie przechodzenie z jednego systemu kodowania do drugiego może sprawiać uczniom szczególną trudność. Roth, Bowen i McGinn (1999) pisali, że ponieważ w nauczaniu różnych przedmiotów przyrodniczych wykorzystuje się zazwyczaj nieco inne systemy kodowania, to przenoszenie pewnych reguł pomiędzy poszczególnymi przedmiotami (na przykład dotyczących tworzenia wykresów i wykorzystywania tabel w matematyce) bywa dla uczniów kłopotliwe. W konsekwencji, to sami nauczyciele przedmiotów przyrodniczych uczą swoich uczniów form obrazowania, które są charakterystyczne dla danego przedmiotu. Oczywiście system ten jest efektywny pod warunkiem, że nie rodzi konfliktu z tym, czego uczniowie nauczyli się na innym przedmiocie (np. matematyce). Samo uczenie się z wykresów jest uważane przez uczniów za coś trudnego, jako że wymaga jednoczesnego wykorzystywania wielu koncepcji (Atar, 2002; Friedler, Nachmias i Linn, 1990; Ak-sela, 2005; Orton i Roper, 2006).

Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez Ahtinevą podręczniki pełnią centralną rolę w procesie nauczania-uczenia się chemii (Ahtineva, 2000; Burawicz i Gulińska 1993)¹. Clement, Devetak i Vogrinc

¹ Żegnalek pisze bardziej ogólnie (podobnie jak Półturzycki (Półturzycki, 2014)) – że we wszystkich dziedzinach *podręcznik należy do podstawowych i najpowszechniej stosowanych środków dydaktycznych*. Co ciekawe, wysuwa on również tezę, że *rola podręcznika (...) rośnie wraz z kolejnymi etapami edukacji, a największego znaczenia nabiera z pewnością w życiu dorosłym człowieka* (2005).

(Clement, 2008; Devetak i Vogrinc, 2013) nieco rozszerzają badania Ahtinevy – podkreślają oni, że w nauczaniu przedmiotów przyrodniczych nie tylko podręcznik, ale również nauczyciele pełnią znaczącą rolę. Z drugiej strony, wyniki badań przeprowadzonych przez Carvalho, Silva i Clement (2008) wskazują, że nauczyciele zazwyczaj planują swoje zajęcia lekcyjne w oparciu o podręczniki szkolne.

Nie wolno oczywiście zapominać o niezwykle istotnej roli samokształceniowej podręczników. *Podręcznik szkolny powinien być tak zredagowany, aby można było z niego korzystać zarówno w trakcie lekcji, przy poznawaniu nowego materiału, jak również w pracy (...) samodzielnej (...) – przy utrwalaniu i pogłębianiu wiadomości* (Gessek, 1971). Podręcznik na miarę naszych czasów powinien pełnić funkcję samokształceniową oraz badawczą, rozumianą także jako samodzielne odkrywanie praw przyrody (Stern i Roseman, 2004, Orgill i Bodner, 2006). Nowacki (1977), opisując zasadę pogłębienia, podaje cztery funkcje sprzyjające zrozumieniu i opanowaniu podstawowych koncepcji. Drugą wymienioną przez niego funkcja dotyczy ułatwienia *zrozumienia i zapamiętania myśli, teorii naukowej, uogólnień, praw (...) dzięki graficznemu lub innemu symbolicznemu przedstawieniu abstrakcji* (w szczególności w podręcznikach).

Umiejętności w podstawie programowej i podręcznikach szkolnych

Od roku szkolnego 2009/2010, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Edukacji Narodowej z dnia 23 grudnia 2008 r. (MEN, 2009), wdrażana była w polskich szkołach podstawa programowa wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół. Zapisy podstawy programowej sformułowano w postaci opisu rezultatów procesu nauczania na zakończenie danego etapu edukacyjnego. Zapisano

w nich wiadomości oraz umiejętności specyficzne dla każdego przedmiotu nauczanego w szkole, zapisane w postaci wymagań ogólnych (celów nauczania) i szczegółowych (treści kształcenia).

Zmianie podstawy programowej towarzyszyło wprowadzenie do użytku szkolnego podręczników dostosowanych do nowych wymogów programowych. W Rozporządzeniu Ministra Edukacji Narodowej z dnia 21 czerwca 2012 r. w sprawie dopuszczania do użytku w szkole programów wychowania przedszkolnego i programów nauczania oraz dopuszczania do użytku szkolnego podręczników zapisano, że *podręcznik przeznaczony do kształcenia ogólnego zawiera usystematyzowaną prezentację wszystkich treści nauczania z zakresu danych zajęć edukacyjnych na danym etapie edukacyjnym, ujętych w podstawie programowej kształcenia* (MEN 2012).

Pierwszy z trzech celów kształcenia, zapisany w podstawie programowej przedmiotu chemia na III etapie edukacyjnym (*pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji*) odnosi się do umiejętności wyszukiwania informacji z różnorodnych źródeł, ich analizy i tworzenia od nowa: *uczeń pozyskuje i przetwarza informacje z różnorodnych źródeł z wykorzystaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych*. Podstawowe źródła informacji chemicznej, wymienione w podstawie programowej oraz w komentarzu do podstawy programowej dla przedmiotu chemia, są następujące: *tabele* (w tym – układ okresowy pierwiastków chemicznych), *ilustracje, schematy, teksty źródłowe oraz wykresy*.

Egzamin w klasie trzeciej gimnazjum obejmuje wiadomości i umiejętności określone w podstawie programowej kształcenia ogólnego w odniesieniu do wybranych przedmiotów nauczanych na trzecim i wcześniejszych etapach edukacyjnych (CKE, 2012).

W Tabeli 1 przedstawiono wyniki uczniów rozwiązujących zadania z chemii na egzaminach gimnazjal-

nych w latach 2012-2016, mierzące w założeniu umiejętność analizy danych przedstawianych w formie innej niż lity tekst, czyli tabeli lub wykresu.² Dodatkowo w tabeli 1 zamieszczono wyniki, jakie osiągnęli uczniowie w Diagnostyce Kompetencji Gimnazjalistów (DKG), czyli badaniu przeprowadzonym w latach 2011-2012 przez Instytut Badań Edukacyjnych wśród uczniów trzecich klas gimnazjów, zrealizowanego przy okazji diagnozy wiadomości i umiejętności uczniów przygotowującej przez Centralną Komisję Egzaminacyjną i okręgowe komisje egzaminacyjne. Układ okresowy potraktowano jako jedną z form tabeli. Sumarycznie, w arkuszach egzaminów gimnazjalnych (nie licząc arkusza z DKG) w latach 2012-2016, na 140 wszystkich zadań z części przyrodniczej, tych, w których niezbędna była analiza danych przedstawionych w formie wykresu było 12 (8,6%), natomiast takich, w których trzeba było przeprowadzić analizę danych źródłowych z tabeli było 24 (17,1%)³.

Widać, że zadania dotyczące umiejętności ponadprzedmiotowych, związanych z analizą informacji przedstawionych w opisywanych formach stanowiły ponad 25% wszystkich zadań egzaminacyjnych z przedmiotów przyrodniczych.

Biorąc pod uwagę wskaźnik łatwości zadań przyjęty przez CKE (Jakubowski, Pokropek, 2009) można stwierdzić, że większość zadań spośród zadań chemicznych, mierzących umiejętność odczytywania danych źródłowych z wykresu bądź z tabeli, to dla uczniów zadania trudne lub umiarkowanie trudne (ZDS, 2012; ZDS, 2013; CKE, 2012a; CKE, 2013; CKE, 2014; CKE,

2 Dodatkowo w niniejszej publikacji zamieszczono przykładowe zadania egzaminacyjne, które wykorzystano na egzaminie gimnazjalnym w latach 2012-2016, ilustrujące zagadnienia, które zostały poddane analizie w podręcznikach.

3 Bez wliczania zadań dotyczących układu okresowego, sumaryczna liczba zadań dotyczących analizy danych źródłowych z tabeli wynosi 17 (12,1%).

2015). Dwa zadania dotyczące analizy danych przedstawionych w formie tabeli można zaklasyfikować jako bardzo trudne. Powodów takiego stanu rzeczy może być oczywiście wiele. Jednym z nich jest z pewnością fakt, że zarówno odczytywanie wykresów, jak i ich tworzenie z odpowiednio zestawionych danych to umiejętności ponadprzedmiotowe, które mogą być nieco inaczej kształtowane na poszczególnych przedmiotach (Dhakulkar, Nagarjuna, 2011)⁴. Ponadto, z analizy danych literaturowych wynika, że obecność tabel i wykresów w podręcznikach dla przedmiotów przyrodniczych jest zasadniczo niewielka. Warto w tym miejscu przywołać również wyniki badań przeprowadzonych przez Clevelanda i McGilla (1984) oraz Smitha, Best, Stubbsa, Johnstona i Archibalda (2000), które pokazały, że obecność wykresów w źródłach informacji bardzo silnie wpływa na to, jak odbierany jest dany przedmiot, czy szerzej dziedzina nauki (dotyczy to nie tylko uczniów). Badacze podzielili dziedziny nauki na takie, które są ciężkie lub lekkie w odbiorze (odpowiednio: *hard* lub *soft*). Okazało się, że poziom trudności (*hardness*) rośnie wraz z rosnącą liczbą wykresów w analizowanych danych źródłowych.

Analiza informacji przedstawionych w tabeli wskazuje, że warto zastanowić się nad tym co zrobić, aby uczniowie lepiej radzili sobie z problemami, w których niezbędna jest analiza i wykorzystanie źródeł informacji przedstawionych w formie innej niż tekst. Należy w tym miejscu zwrócić szczególną uwagę na fakt, że Autorzy zdają sobie w pełni sprawę z tego, iż sama obecność treści przedstawionych w podręcznikach w postaci tabel i wykresów niekoniecznie musi prowadzić do lepszych osiągnięć edukacyjnych uczniów z tych pod-

⁴ Sukces egzaminacyjny zależy od wielu umiejętności uczniów. Należą do nich m.in. umiejętności ponadprzedmiotowe, takie jak: wykorzystywanie informacji, analizowanie wyników doświadczeń oraz formułowanie wniosków na podstawie przeprowadzonego rozumowania (CKE, 2016).

Rok	2011		2012		2012	2013	2014		2015	2016	
Diagnoza Kompetencji Gimnazjalistów / egzamin gimnazjalny	DKG		DKG		Egzamin	Egzamin	Egzamin		Egzamin	Egzamin	
Całkowita liczba zadań w arkuszu	25		28		25	28	28		28	28	
Numer zadania w arkuszu gimnazjalnego części przyrodniczej (Nr) / oraz jego łatwość (%)	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %	Nr/ %
Analiza danych przedstawionych w formie tabeli	-	-	8	24	-	11 69	7 65	9 37	7 59	10 29	11 57
Analiza danych z układu okresowego	7.1 62	7.2 48	7.1 45	7.2 37	7 50	7 57	8	66	9 51	7	45
Analiza danych przedstawionych w formie wykresu	-	-	-	-	-	- -	12	55	11 31	-	-

Tabela 1. Wyniki wybranych zadań z chemii będących częścią egzaminu gimnazjalnego przeprowadzonego według nowej formuły (CKE, 2012a; CKE 2013-2015).

Oznaczenia „-” w arkuszu nie było w zadaniach chemicznych zadania mierzącego umiejętności analizy danych przedstawionych w formie tabeli lub wykresu.

ręczników korzystających. Jest tak, gdyż książka przedmiotowa jest tak naprawdę jedynie narzędziem, które może przynieść pozytywne efekty pod warunkiem odpowiedniego wykorzystania go przez ucznia pracującego pod kierunkiem nauczyciela⁵.

Cele badania

Analiza podręczników do chemii dopuszczonych do użytku szkolnego, przeznaczonych do kształcenia ogólnego uwzględniających podstawę programową do chemii dla III etapu edukacyjnego, została przeprowadzona pod kątem realizacji pierwszego celu kształcenia podstawy programowej w wymienionych wyżej źród-

⁵ W szczególności warto, aby uczniowie w czasie nauki samodzielnie angażowali się w zbieranie danych źródłowych, a następnie w przekształcanie jednych typów danych w inne (Curcio, 1987).

łach. W szczególności niniejsze badanie miało na celu uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

- Które z wymienionych bezpośrednio w podstawie programowej wykresów i tabel znajdują się w podręcznikach?
- Czy treści zawarte w podręcznikach mogą stanowić pomoc w efektywnym kształtowaniu umiejętności korzystania z informacji przedstawionych za pomocą wykresów i tabel?
- Czy w treściach podręczników znajdują się instrukcje opisujące sposób korzystania z danych przedstawionych w formie wykresu lub tabeli?
- Jakie rozwiązania wykorzystali Autorzy podręczników, aby przygotować uczniów do sprawnego odczytywania informacji przedstawionych w formie tabel i wykresów?

Metodologia

Analizie zostały poddane wszystkie podręczniki do chemii dla gimnazjum dopuszczone do użytku szkolnego przez Ministerstwo Edukacji Narodowej (Tabela 2)⁶. Badaniu nie poddano obudowy dydaktycznej podręczników, tj. zbiorów zadań, zeszytów ćwiczeń, materiałów na płytach CD oraz materiałów dla nauczycieli. Decyzję taką podjęto ze względu na fakt, że treści obudowy dydaktycznej nie są obligatoryjnie recenzowane i zatwierdzane przez MEN. Autorzy publikacji uznali, że to przede wszystkim zawartość podręczników może być wskaźnikiem stopnia realizacji podstawy programowej zaproponowanej przez Autorów podręczników.

Analiza podręczników miała charakter dwutorowy, komplementarny – ilościowy i jakościowy. Analiza ilościowa skupiała się na częstotliwości występowania, typach i cechach badanych wykresów i tabel. W analizie jakościowej skupiono się na spójności treści przekazywanych w wybranych formach wizualizacji z treściami nauczania podstawy programowej dla przedmiotu chemia dla III etapu edukacyjnego, ich obszerności i sposobie przedstawienia. Badaniem objęte zostały: 1) **tabele** odnoszące się do odpowiednich treści kształcenia podstawy programowej⁷ oraz tablica rozpuszczalności soli i wodorotlenków; 2) **wykresy**, które są związane z treściami kształcenia dla III etapu edukacyjnego. Przy każdym z badanych elementów przeanalizowano:

⁶ Wykaz podręczników dopuszczonych do użytku szkolnego, przeznaczonych do kształcenia ogólnego uwzględniających nową podstawę programową wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół. http://men.gov.pl/podreczniki/wykaz_dopuszczzone_lista3.php.

⁷ Z wyłączeniem tabel układu okresowego pierwiastków chemicznych. Autorzy publikacji poświęcili osobną publikację na wyniki badania dotyczącego układów okresowych w podręcznikach z chemii dla III etapu edukacyjnego (Chrzanowski, Buczek, Musialik i Ostrowska, 2017).

Nr serii	Lp.	Tytuł serii	Pozycja w serii	Tytuł podręcznika	Autor podręcznika	Wydawca
1	1.1	Ciekawa chemia	1/3	Ciekawa chemia. Część 1. Podręcznik dla gimnazjalisty	Hanna Gulińska, Janina Smolińska	Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Sp. z o.o.
	1.2	Ciekawa chemia	2/3	Ciekawa chemia. Część 2. Podręcznik dla gimnazjalisty	Hanna Gulińska, Janina Smolińska	Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Sp. z o.o.
	1.3	Ciekawa chemia	3/3	Ciekawa chemia. Część 3. Podręcznik dla gimnazjalisty	Hanna Gulińska, Janina Smolińska	Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Sp. z o.o.
2	2.1	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum	1/3	Chemia 1. Podręcznik dla gimnazjum	Maria Barbara Szczepaniak, Janina Waszczuk	Wydawnictwo Pedagogiczne OPERON Sp. z o.o.
	2.2	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum	2/3	Chemia 2. Podręcznik dla gimnazjum	Maria Barbara Szczepaniak, Janina Waszczuk	Wydawnictwo Pedagogiczne OPERON Sp. z o.o.
	2.3	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum	3/3	Chemia 3. Podręcznik dla gimnazjum	Maria Barbara Szczepaniak, Janina Waszczuk	Wydawnictwo Pedagogiczne OPERON Sp. z o.o.
3	3.1	Chemia Nowej Ery	1/3	Chemia Nowej Ery. Część 1. Podręcznik dla gimnazjum	Jan Kulawik, Teresa Kulawik, Maria Litwin	Nowa Era Spółka z o.o.
	3.2	Chemia Nowej Ery	2/3	Chemia Nowej Ery. Część 2. Podręcznik dla gimnazjum	Jan Kulawik, Teresa Kulawik, Maria Litwin	Nowa Era Spółka z o.o.
	3.3	Chemia Nowej Ery	3/3	Chemia Nowej Ery. Część 3. Podręcznik dla gimnazjum	Jan Kulawik, Teresa Kulawik, Maria Litwin	Nowa Era Spółka z o.o.
4	4.1	Chemia dla gimnazjalistów	1/3	Chemia dla gimnazjalistów. Podręcznik. Część 1	Krzysztof M. Pazdro, Maria Torbicka	Oficina Edukacyjna Krzysztof Pazdro Sp. z o.o.
	4.2	Chemia dla gimnazjalistów	2/3	Chemia dla gimnazjalistów. Podręcznik. Część 2	Krzysztof M. Pazdro, Maria Torbicka	Oficina Edukacyjna Krzysztof Pazdro Sp. z o.o.
	4.3	Chemia dla gimnazjalistów	3/3	Chemia dla gimnazjalistów. Podręcznik. Część 3	Krzysztof M. Pazdro, Maria Torbicka	Oficina Edukacyjna Krzysztof Pazdro Sp. z o.o.
5	5.1	Świat chemii	1/3	Świat chemii. Podręcznik dla uczniów gimnazjum. Część 1	pod red. Anny Warchoł	Wydawnictwo „ZamKor” P. Sagnowski i Wspólnicy Sp. j. S.K.A.
	5.2	Świat chemii	2/3	Świat chemii. Podręcznik dla uczniów gimnazjum. Część 2	pod red. Anny Warchoł	Wydawnictwo „ZamKor” P. Sagnowski i Wspólnicy Sp. j. S.K.A.
	5.3	Świat chemii	3/3	Świat chemii. Podręcznik dla uczniów gimnazjum. Część 3	pod red. Anny Warchoł	Wydawnictwo „ZamKor” P. Sagnowski i Wspólnicy Sp. j. S.K.A.
6	6.1	Chemia w gimnazjum	1/1	Chemia w gimnazjum. Podręcznik	Zofia Kluz, Krystyna Łopata, Ewa Odrowąż, Michał M. Poźniczek	Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne Sp. z o.o.
7	7.1	Chemia dla gimnazjum	1/4	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum, część 1	Bożena Kałuża, Andrzej Reych	Wydawnictwo Edukacyjne „Żak” sp. z o.o. sp. k.
	7.2	Chemia dla gimnazjum	2/4	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum, część 2	Bożena Kałuża, Andrzej Reych	Wydawnictwo Edukacyjne „Żak” sp. z o.o. sp. k.
	7.3	Chemia dla gimnazjum	3/4	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum, część 3	Bożena Kałuża, Andrzej Reych	Wydawnictwo Edukacyjne „Żak” sp. z o.o. sp. k.
	7.4	Chemia dla gimnazjum	4/4	Chemia. Podręcznik dla gimnazjum, część 4	Bożena Kałuża, Andrzej Reych	Wydawnictwo Edukacyjne „Żak” sp. z o.o. sp. k.
8	8.1	Moja chemia	1/2	Moja chemia dla gimnazjum. Część I	Małgorzata Nodzyńska, Jan Rajmund Paśko	Wydawnictwo Innowacje Edukacja A. Kubajak
	8.2	Moja chemia	2/2	Moja chemia dla gimnazjum. Część II	Jan Rajmund Paśko, Małgorzata Nodzyńska	Wydawnictwo Innowacje Edukacja A. Kubajak

Tabela 2. Lista analizowanych podręczników

- czy dane przedstawione w tabeli lub na wykresie są poprawnie i adekwatnie opisane;
- czy w treści podręcznika znajduje się opis tekstowy, dotyczący tego, w jaki sposób odczytywać dane z wykresów lub tabel;
- umiejscowienie badanych elementów w podręczniku (przykładowo: w treści rozdziału, na końcu podręcznika, na wkładce dodanej do podręcznika).

Należy tu mocno podkreślić, że Autorom publikacji nie chodziło o przedstawienie wszechstronnej analizy, a w szczególności oceny podręczników, ale o zbadanie wybranych elementów, które mogą mieć wpływ na kształtowanie kompetencji uczniów.

Wyniki analizy

Poniżej przedstawiono wyniki analizy podręczników chemii do gimnazjum pod kątem realizacji wybranych aspektów pierwszego celu kształcenia chemii dla III etapu edukacyjnego.

Obligatoryjne typy tabel w podręcznikach chemicznych dla gimnazjum

Wymagania szczegółowe, czyli treści kształcenia podstawy programowej dla III etapu edukacyjnego wskazują na potrzebę kształtowania umiejętności pozyskiwania i przetwarzania informacji z tabeli rozpuszczalności soli i wodorotlenków. Umiejętności te pogłębiane są dalej na IV etapie edukacyjnym na poziomie rozszerzonym i, co ważne, mogą być sprawdzane na egzaminie maturalnym, ponieważ od roku 2015 zadania w maturalnym arkuszu egzaminacyjnym mogą również odnosić się do wymagań przypisanych do etapów wcześniejszych, to jest etapu III (CKE, 2014a).

Tabela rozpuszczalności soli i wodorotlenków

Na początku warto wyjaśnić pewną kwestię dotyczącą tego, co tak naprawdę mieli na myśli Autorzy podstawy programowej pisząc w wymaganiach szczegółowych (podpunkt 7.5) o *tabeli rozpuszczalności*. Czy rzeczywiście chodziło im o tabelę, czy może jednak o *tablicę rozpuszczalności*?

Tabela rozpuszczalności soli i wodorotlenków przedstawia wartości liczbowe rozpuszczalności tych związków w wodzie w różnych temperaturach przy ciśnieniu 1 atmosfery. *Rozpuszczalność to maksymalna liczba gramów danej substancji, jaką można rozpuścić w 100g rozpuszczalnika w danej temperaturze i pod stałym ciśnieniem* (Buczek, Chrzanowski, Odrowąż, Sobczak, Kowalik, 2016). Przykład wykorzystania tabeli rozpuszczalności w narzędziu egzaminacyjnym przedstawiono

na Rys. 1. Prezentowane zadanie pochodzi z arkusza egzaminu gimnazjalnego z 2013 roku (CKE, 2013a).

W typowej tabeli rozpuszczalności w pierwszej kolumnie podane są zazwyczaj temperatury w °C, a w drugiej – rozpuszczalność danej substancji wyrażona w g na 100g rozpuszczalnika. Na podstawie tabeli rozpuszczalności sporządza się wykresy rozpuszczalności.

W odróżnieniu od tabeli rozpuszczalności, *tablica rozpuszczalności soli i wodorotlenków* w wodzie przedstawia obrazowo, w jakim stopniu rozpuszczają się poszczególne sole i wodorotlenki. Przykład użycia fragmentu takiej tablicy w arkuszu egzaminacyjnym po III etapie edukacyjnym przedstawiono na Rys. 2 (CKE, 2014b).

W tablicy rozpuszczalności w pierwszym poziomym rzędzie podaje się wzory kationów, zaś w pierwszej pio-

Zadanie 9. (0–1)

W tabeli przedstawiono rozpuszczalność soli i wodorotlenków w wodzie.

Jony	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ag ⁺	Cu ²⁺
OH ⁻	R	R	N	N	N
Br ⁻	R	R	R	N	R
NO ₃ ⁻	R	R	R	R	R

R – rozpuszczalny, N – nierozpuszczalny

Na podstawie: T. Szymczyk, S. Rabiej, A. Piclesz, J. Desselberger, *Tablice chemiczne*, Warszawa 2003.

W dwóch probówkach znajdują się wodne roztwory soli.



Korzystając z tabeli rozpuszczalności, wybierz spośród podanych jedną substancję, której dodanie powoduje wytrącenie osadu w każdej z tych probówek.

- A. KBr B. Mg(NO₃)₂ C. HBr D. NaOH

Rys. 1. Przykładowa *tabela rozpuszczalności* (gazu), wykorzystana w arkuszu egzaminu gimnazjalnego. Współczynnik łatwości zadania: 69%, moc różnicująca: 0,29

Zgodnie z literaturowymi wartościami wskaźnika łatwości zadania i ich interpretacją jest to zadanie umiarkowanie trudne (Jakubowski, Pokropek, 2009).

Rys. 2. Przykładowa *tablica rozpuszczalności*, wykorzystana w zadaniu z chemii w arkuszu egzaminu gimnazjalnego w 2014 roku. Współczynnik łatwości zadania: 37%, moc różnicująca: brak danych.

Użycie słowa *tabela* w przedstawionym zadaniu testowym nie jest równoznaczne z terminem *tabela rozpuszczalności*. Słowo *tabela* użyto w tym przypadku ze względu na konieczność zastosowania ujednoliconej terminologii w arkuszach – wszelkie dane źródłowe zestawione w analogiczny sposób (wiersze i kolumny) nazywane są w arkuszach egzaminacyjnych *tabelą*. Widać, że czasem może prowadzić to do powstania nieścisłości terminologicznych.

Zgodnie z literaturowymi wartościami wskaźnika łatwości i ich interpretacją jest to zadanie bardzo trudne (Jakubowski, Pokropek 2009).

nowej kolumnie wzory anionów. Litery lub grafika zapisane w polu przecięcia kolumn z rzędami podają nam informacje o rozpuszczalności związku zbudowanego się z danego (danych) kationu/ów i anionu/ów w wodzie w temperaturze pokojowej (293,15 K) pod ciśnieniem 1 atmosfery. Omawiana tablica zawiera informacje o charakterze rozpuszczalności danej substancji w wodzie, to znaczy, czy dany związek jest (umownie): dobrze rozpuszczalny (rozpuszczalność >1g / 100g wody), trudno rozpuszczalny (rozpuszczalność 0,1 – 1g / 100 g wody), nierozpuszczalny w wodzie (rozpuszczalność <0,1g / 100g wody) oraz, że w pewnych konkretnych przypadkach, związek nie został otrzymany lub w roztworze zachodzą skomplikowane reakcje.

Z zapisu w podpunkcie 7.5 podstawy programowej dla III etapu edukacyjnego z chemii o następującej treści: (uczeń) *na podstawie tabeli rozpuszczalności soli*

i wodorotlenków wnioskuje o wyniku reakcji strąceniowej, można wysnuć przypuszczenia, że intencją Autorów podstawy programowej było, aby uczeń po kursie chemii w gimnazjum przetwarzał informacje z *tablicy rozpuszczalności*, mimo użycia w wymaganiach szczegółowych słowa *tabela*. Z przeprowadzonej w ramach badania analizy wynika, że w taki właśnie sposób zrozumieli ten zapis prawie wszyscy Autorzy badanych podręczników. Słowo *tablica* zostało użyte jedynie w serii 6. W większości serii nie zamieszczono tabeli rozpuszczalności substancji w wodzie, znajdują się w nich natomiast wykresy rozpuszczalności. Wyjątkiem są serie: 2, 5 i 6, których Autorzy zamieścili oba źródła informacji – zarówno tabelę, jak i tablicę rozpuszczalności. W serii 2 Autorzy w postaci tabeli zamieścili dane rozpuszczalności wybranych wodorotlenków oraz soli w wodzie tylko dla temperatury 20 °C oraz rozpuszczal-

Zadanie 11. (0–1)

Woda gazowana zawiera rozpuszczony w niej tlenek węgla(IV). W tabeli przedstawiono dane dotyczące zależności rozpuszczalności tlenku węgla(IV) w wodzie od temperatury.

Temperatura w °C	Rozpuszczalność CO ₂ w g na 100 g H ₂ O
0	0,335
20	0,167
40	0,097
60	0,058
80	0,027

Na podstawie: W. Mizerski, *Tablice chemiczne*, Warszawa 1997.

Oceń prawdziwość podanych stwierdzeń. Wybierz P, jeśli stwierdzenie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

W wyniku rozpuszczenia 0,167 g tlenku węgla(IV) w 100 g wody w temperaturze 20 °C powstaje roztwór nasycony.	P	F
Rozpuszczalność tlenku węgla(IV) rośnie wraz ze wzrostem temperatury.	P	F

ność jednej soli od temperatury (pojedynczej soli w zakresie różnych temperatur).

W Tabeli 3 przedstawiono umiejscowienie tablicy rozpuszczalności w podręcznikach oraz sposób opisu zamieszczonych w niej danych.

Tablice rozpuszczalności znajdują się w prawie wszystkich seriach podręczników (wyjątek stanowi seria 4), czasami nawet kilka razy w danej serii (np. w podręcznikach wydawnictw 1, 2 i 7) i zazwyczaj są usytuowane na końcu podręcznika (odstępstwem są serie 6 i 8).

W podstawie programowej chemii dla III etapu edukacyjnego dwukrotnie znajdują się odniesienia do pozyskiwania i przetwarzania informacji z tablicy rozpuszczalności. Pierwszy zapis odnosi się do odróżniania pojęć: wodorotlenek i zasada (podpunkt 6.1), natomiast drugi dotyczy reakcji strącania osadów (pod-

Nr serii	Umiejscowienie w podręczniku	Sposób wyjaśnienia oznaczeń w legendzie tabeli	Czy w tabeli zamieszczono rozpuszczalność zarówno soli, jak i wodorotlenków?	Czy podane zostały definicje oznaczeń z legendy?	Czy oznaczono barwy osadów i roztworów?
1	Tabela t.2;s.171 t.3;s.15	R – substancja dobrze rozpuszczalna r – substancja rozpuszczalna w niewielkim stopniu s – substancja słabo rozpuszczalna T – substancja trudno rozpuszczalna (praktycznie nierozpuszczalna) -- w roztworze zachodzą złożone procesy chemiczne	tak	tak	nie
2	Tabela t.2;s.134 t.3;s.147	▼(T) – oznacza, że w wyniku reakcji kationu z anionem w roztworach o wysokich stężeniach powstaje osad odpowiedniej trudno rozpuszczanej soli. ▼(PN) – oznacza, że w wyniku reakcji kationu z anionem w roztworach o wysokich stężeniach powstaje osad odpowiedniej praktycznie nierozpuszczalnej rozpuszczanej soli. ¹ (R) – oznacza, że odpowiedni kation i anion tworzą sól rozpuszczalną w wodzie. □ oznacza, że reakcja kationu z anionem ma bardziej skomplikowany przebieg i powstają w niej inne produkty. * – oznacza, że w wyniku reakcji kationu metalu z jonem wodorotlenkowym powstają tlenki a nie wodorotlenki (np. HgO, Ag ₂ O).	tak	nie	tak
3	Tabela t.2; wkładka	R – substancja dobrze rozpuszczalna w wodzie. T – substancja trudno rozpuszczalna w wodzie. N – substancja praktycznie nierozpuszczalna w wodzie. — – substancja rozkłada się w wodzie albo nie została otrzymana. * – w roztworze zachodzą złożone reakcje chemiczne.	tak	nie	nie
5	Tabela t.2;s.293	Informacja przekazana w postaci znaków graficznych przypominających probówkę (symbolicznie oznaczoną tutaj literą U, U _{bo} – probówka bez osadu, U _o – probówka z osadem) U _o – Powstaje osad praktycznie nierozpuszczalny U _{ot} – Powstaje osad trudno rozpuszczalny U _{bo} – Osad nie wytrąca się ∞ – Proces złożony	tak	nie	tak
6	Tablica s.164	Informacja przekazana w postaci znaków graficznych przypominających probówkę (symbolicznie oznaczoną tutaj literą U, U _{bo} – probówka bez osadu, U _o – probówka z osadem) U _{bo} – bardzo dobrze rozpuszczalny U _{ot} – słabo rozpuszczalny U _o – trudno rozpuszczalny	tak	nie	nie
7	Tabela t.2; wkładka t.3; wkładka	W podręcznikach zastosowano oznaczenia graficzne w postaci figur geometrycznych z umieszczonymi wewnątrz nich teksturami. □ – nie istnieje w roztworze ○ – bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie ○ – dobrze rozpuszczalny (w kole zamieszczono niebieskie tło z czarnymi kropkami) ○ – słabo rozpuszczalny (w kole zamieszczono poprzeczne czarne kreski) ○ – bardzo słabo rozpuszczalny (koło w kolorze czarnym)	tak	tak	nie
8	Tabela t.2;s.70	— – oznacza dużą rozpuszczalność soli + – oznacza, że dana sól jest w wodzie trudno rozpuszczalna	nie	nie	nie

Tabela 3. Sposób opisu danych w tablicy rozpuszczalności soli i wodorotlenków w badanych seriach podręczników

Oznaczenia: t-tom; s-strona.

punkt 7.5). Tabela 4 pokazuje wyniki analizy spójności między wymaganiami podstawy programowej chemii dla gimnazjum a informacjami zawartymi w badanych podręcznikach, dotyczącymi tablicy rozpuszczalności. Treści dotyczące podpunktu 7.5 podstawy programowej celowo rozdzielono i analizowano, jako trzy odrębne podpunkty: 7.5 a), 7.5 b) i 7.5 c), ponieważ każdy z nich dotyczy nieco innych aspektów reakcji strąceniowych soli. Dodatkowo wprowadzono podział w punkcie 7.5 a) na poszczególne elementy metody badawczej⁸.

W podstawie programowej dla III etapu edukacyjnego nie zapisano wprost, że uczeń powinien znać definicję zasady, natomiast wymagane jest, aby uczeń odróżniał wodorotlenek od zasady. Autorzy badanych podręczników najczęściej podają, że zasadą jest wodorotlenek rozpuszczony w wodzie: „Wodne roztwory wodorotlenków to zasady” (seria 1); „Wodorotlenki, które są rozpuszczalne w wodzie noszą nazwę zasad” (seria 3); „Zasady – wodne roztwory wodorotlenków” (seria 5); „Roztwory wodorotlenków rozpuszczalnych w wodzie nazywamy zasadami” (seria 6); „Wodorotlenki tych metali (żelaza, miedzi i cynku) praktycznie nie rozpuszczają się w wodzie, nie zaliczamy ich do zasad” (seria 7); „Ponieważ w roztworze wodnym łatwo rozpuszczalnego wodorotlenku znajduje się bardzo dużo jonów wodorotlenkowych, które są zasadą, czasami stosuje się dla tych roztworów nie w pełni prawidłowe określenie, że są to zasady” (seria 8). Warto takie rozróżnienie zasad od wodorotlenków uzupełnić o wzmiankę, skąd wziąć informacje o rozpuszczalności wodorotlenku w wodzie. Autorzy podręczników wskazują najczęściej układ okresowy, jako źródło wiedzy, z którego można wydobyc informacje, o metalach, które tworzą wodorotlenki rozpuszczalne w wodzie. Tylko w seriach: 3, 5 i 6 Au-

⁸ Do podziału wykorzystano definicję czasownika operacyjnego *projektuje*, zamieszczoną w *Komentarzu do podstawy programowej*

	Nr serii							
Działy i treści nauczania podstawy programowej	1	2	3	4	5	6	7	8
Dział 6. Kwasy i zasady								
6.1 rozróżnia pojęcia wodorotlenek i zasada;	+ O _{uo}	+ O _{uo}	+ O _{uo} O _{TR}	+ O _{uo}	+ O _{uo} O _{TR}	+ O _{uo} O _{TR}	+ O _{uo}	+
Dział 7. Sole								
7.5 a) projektuje i wykonuje doświadczenie pozwalające otrzymać sole w reakcjach strąceniowych;								
– sformułowanie pytania badawczego	+	+	–	–	+	–	–	–
– postawienie hipotezy	–	+	–	–	–	–	–	–
– dobór odpowiednich substratów na podstawie tabeli rozpuszczalności	–	+	–	–	+	+	–	–
– przeprowadzenie badania	+	+	+	+	+	+	+	+
– zapis wyników reakcji	+	+	+	+	+	+	+	+
– weryfikacja hipotezy	–	–	–	–	–	–	–	–
7.5 b) pisze odpowiednie równania w sposób cząsteczkowy i jonowy;	+	+	+	+	+	+	+	+
7.5 c) na podstawie tabeli rozpuszczalności soli i wodorotlenków wnioskuje o wyniku reakcji strąceniowej;	+	+	+	–	+	+	+	+

Tabela 4. Wyniki analizy spójności pomiędzy wymaganiami podstawy programowej chemii dla gimnazjum a informacjami odnoszącymi się do tablicy rozpuszczalności w badanych podręcznikach.

Oznaczenia: O_{roz} – opis tego wymagania jest rozbudowany; O_{zw} – opis tego wymagania jest zwięzły; N – brak opisu tego wymagania, I – zastosowano inną koncepcję tego wymagania; „+” w podręczniku znajduje się opis tego wymagania nawiązujący do zapisów podstawy programowej, r_p – przykładowe równania reakcji otrzymywania osadów; d_{ob} – doświadczenie obrazujące otrzymywanie osadów; O_{uo} – opis w kontekście układu okresowego; O_{TR} – opis w kontekście tablicy rozpuszczalności.

torzy odnoszą się do tablicy rozpuszczalności. W podręcznikach serii 4 i 8 definicją wyjściową jest definicja zasady i to w jej kontekście określenie wyjaśniono pojęcie wodorotlenku.

W wymaganiach szczegółowych podstawy programowej dotyczących reakcji strącania osadów (7.5) wymienione są następujące umiejętności ucznia, składające się na odczytywanie i przetwarzanie informacji z tablicy rozpuszczalności:

- projektowanie (...) doświadczenia pozwalającego otrzymywać sole w reakcjach strąceniowych,
- zapisywanie odpowiedniego równania reakcji w sposób (...) jonowy;
- wnioskowanie na podstawie tabeli rozpuszczalności soli i wodorotlenków o wyniku reakcji strąceniowej.

Pierwsza z wymienionych umiejętności, tj. projektowanie doświadczenia, została dość szczegółowo zde-

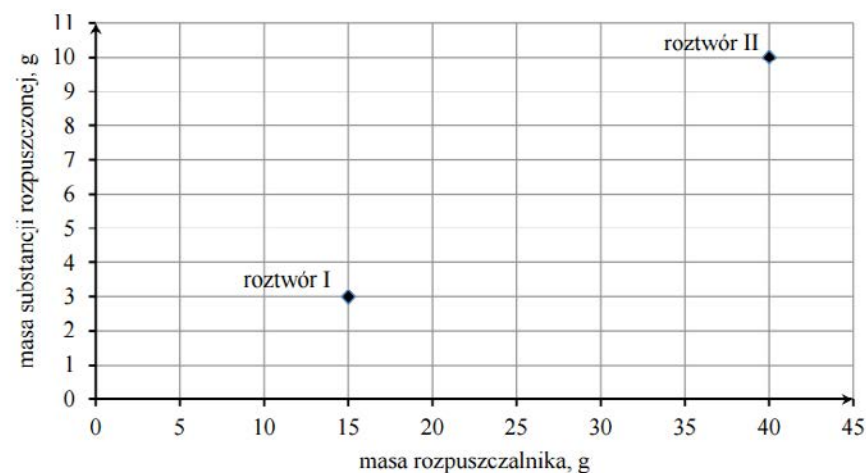
finiowana w *Komentarzu do podstawy programowej*. Zgodnie z zapisami *Komentarza*, od ucznia, który ma zaprojektować doświadczenie *wymagamy zapisania wszystkich czynności oraz przewidywanych obserwacji*. Dalej czytamy, że *wymaganie jest szersze od „planuje” oraz, że dotyczy głównie doświadczeń problemowych, stawiania hipotez i ich weryfikowania*. Z dość zaawansowanych działań, które ta umiejętność obejmuje, można wywnioskować, że jest to tzw. umiejętność złożona, a więc najbardziej wymagająca pod względem kognitywnym. Z opisu tej umiejętności wynika, że projekt doświadczenia, którego celem jest otrzymanie konkretnej soli w reakcji strąceniowej, powinien zacząć się od sformułowania pytania badawczego i postawienia hipotezy, a zakończyć stworzeniem planu kolejnych czynności i przewidywanych obserwacji, który umożliwi przeprowadzenie doświadczenia. Kluczowym elementem tego wieloetapowego procesu jest wybór konkretnych substratów reakcji, czyli znalezienie w tablicy rozpuszczalności takich dwóch związków chemicznych, z których jeden zawiera kation a drugi anion identyczny, jak sól, którą uczeń ma uzyskać w wyniku reakcji strąceniowej. Uczniowi dodatkowo utrudnia rozwiązanie problemu fakt, że obydwa substraty powinny być rozpuszczalne w wodzie. Na podstawie analizy wyników doświadczenia należy sformułować wnioski i zweryfikować hipotezę. Autorzy wszystkich serii umieścili w swoich podręcznikach opisy doświadczeń reakcji chemicznych, podczas których można otrzymać związki trudno rozpuszczalne w wodzie, ale tylko w trzech seriach projektowanie doświadczenia poprzedza postawienie pytania, które można potraktować jako (podane wprost lub bardziej ogólnie) pytanie badawcze: (...) *co się stanie, gdy spróbujemy zmieszać roztwory dwóch różnych soli?* (seria 1); *Jakich substancji roztwory należy ze sobą zmieszać, aby otrzymać osad siarczanu(VI) ołowiu(II)* (seria 2); *Jakie są efekty reakcji pomiędzy so-*

lami? (seria 5). Tylko w jednym podręczniku, w serii 2, Autorzy zamieścili stwierdzenie, które można potraktować jako hipotezę: *Jeżeli chcemy otrzymać osad siarczanu(VI) ołowiu(II), musimy zmieszać ze sobą roztwór zawierający jony ołowiu(II) z roztworem zawierającym jony siarczanowe(VI)*. Spójny opis sposobu korzystania z tablicy rozpuszczalności w celu doboru odpowiednich substratów reakcji strąceniowej znajduje się tylko w trzech seriach (2, 5 i 6). Ponadto, w żadnej serii nie opisano wszystkich etapów projektu takiego doświadczenia.

Kolejna umiejętność, opisana w punkcie 7.5 podstawy programowej dla przedmiotu chemia, sformułowana została następująco: (uczeń) *pisze odpowiednie równania reakcji w sposób cząsteczkowy i jonowy*. Sformułowanie „odpowiednie równania reakcji” w domyśle odnosi się do reakcji strąceniowych, jako że jest kontynuacją poprzedniego podpunktu (dotyczącego reakcji strącania osadów). Efektem reakcji strącania jest pojawienie się osadu. Aby napisać równanie konkretnej reakcji w postaci jonowej uczeń powinien posiadać informację o rozpuszczalności wszystkich rea-

Zadanie 11. (0–1)

Uczniowie przygotowali dwa roztwory w ten sposób, że do rozpuszczalnika dodali odpowiednią ilość substancji, którą chcieli rozpuścić. Skład tak powstałych roztworów zilustrowali poniższym wykresem punktowym.



Rys.3. Przykładowy wykres rozpuszczalności, wykorzystany w zadaniu z chemii w arkuszu egzaminu gimnazjalnego w 2015 roku

Współczynnik łatwości zadania: 31%, moc różnicująca: brak danych.

Zgodnie z literaturowymi wartościami wskaźnika łatwości i ich interpretacją jest to zadanie bardzo trudne (Jakubowski, Pokropek, 2009).

Dokończ zdanie. Wybierz odpowiedź A albo B i jej uzasadnienie 1. albo 2.

Stężenie równe 20% wyrażone w procentach masowych ma roztwór

A.	I,	ponieważ	1.	10 g substancji rozpuszczonej znajduje się w 50 g roztworu.
			2.	3 g substancji rozpuszczonej znajduje się w 15 g roztworu.
B.	II,	ponieważ	1.	10 g substancji rozpuszczonej znajduje się w 50 g roztworu.
			2.	3 g substancji rozpuszczonej znajduje się w 15 g roztworu.

gentów. Wnioskowanie o wyniku reakcji strąceniowej na podstawie tablicy rozpuszczalności wiąże się z opisanymi wyżej umiejętnościami i polega na wskazaniu nierozpuszczalnego produktu reakcji. Co niezwykle istotne, opis odczytywania rozpuszczalności związków chemicznych z tablicy rozpuszczalności znalazł się we wszystkich badanych podręcznikach, w których zamieszczono tablicę. Pod opisami doświadczeń otrzymywania osadów Autorzy prezentują równania zachodzących reakcji w sposób cząsteczkowy i jonowy odnosząc się do tablicy rozpuszczalności.

Wykresy w podręcznikach chemii dla gimnazjum

Wykresy w podstawie programowej

Podstawa programowa chemii dla III etapu edukacyjnego wymienia wykres rozpuszczalności, jako jedno z ważnych źródeł pozyskiwania i przetwarzania danych: 5.5: *(uczeń) odczytuje rozpuszczalność substancji z wykresu jej rozpuszczalności; oblicza ilość substancji, którą można rozpuścić w określonej ilości wody w podanej temperaturze*. Podpunkt 5.5 nie określa jednak w żaden sposób rodzaju substancji, które winny znaleźć się na tym wykresie, a jedynie na podstawie podpunktu 4.2 podstawy programowej (*Powietrze i inne gazy*) można domyślać się, że rozpuszczalność może być podana nie tylko dla ciał stałych, ale i dla gazów (Uczeń: (...) *odczytuje z (...) innych źródeł wiedzy informacje o azocie, tlenie i wodorze*).

Na Rys. 3 przedstawiono przykładowe zadanie egzaminacyjne, w którym uczniowie mieli przeanalizować (nieco nietypowy) wykres rozpuszczalności soli. Zadanie pochodzi z arkusza egzaminu gimnazjalnego z 2015 roku (CKE 2015a).

Przeprowadzone badanie wykazało, że we wszystkich analizowanych seriach podręczników znajdują się wykresy rozpuszczalności substancji stałych w wodzie,

Nr serii	Wykres rozpuszczalności substancji stałych w wodzie od temperatury.	Wykres rozpuszczalności gazów w wodzie od temperatury.
	Umiejscowienie w podręczniku	Umiejscowienie w podręczniku
1	t.2; s. 30	t.2; s. 31
2	t.1; s. 145 t.1; s. 170 t.2; s. 131 t.3; s. 147	t.1; s. 147 t.1; s. 169
3	t.1; s. 158 t.2; s. 137	t.1; s. 159
4	t.1; s. 120	t.1; s. 121
5	t.2; s. 116 t.2; s. 291	t.2; s. 292
6	s. 102	–
7	t.2; s. 80	–
8	t.1; s. 138	–

Tabela 5. Sposób umiejscowienia wykresów rozpuszczalności substancji stałych i gazowych w wodzie w podręcznikach chemii do gimnazjum

Oznaczenia: t-tom; s-strona; – brak wykresu w podręcznikach serii.

natomiast wykres zależności rozpuszczalności gazów od temperatury został umieszczony w pięciu z nich. W Tabeli 5 pokazano sposób umiejscowienia wykresów rozpuszczalności substancji stałych i gazowych w wodzie w badanych seriach podręczników.

Rozpuszczalność substancji w wodzie to jedna z podstawowych właściwości fizycznych. Umiejętność określania tej właściwości substancji przy wykorzystaniu wykresu rozpuszczalności opisano szczegółowo w podstawie programowej: uczeń powinien odczytać z niego (wykresu rozpuszczalności) liczbę gramów substancji, jaką można maksymalnie rozpuścić w 100g

wody w danej temperaturze oraz obliczyć ile substancji można rozpuścić w określonej ilości wody w podanej temperaturze⁹. Wyniki analizy sposobu opisu wykresów rozpuszczalności substancji stałych w wodzie zamieszczono w Tabeli 6, a substancji gazowych w Tabeli 7.

Trzeba w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że Autorzy serii 1, 5 i 8 dodatkowo wskazują za pomocą przykładowo rozwiązanych zadań, w jaki sposób można korzystać z wykresów rozpuszczalności substancji stałych w celu rozwiązania problemów. Na szczególną uwagę zasługuje Autorka podręcznika serii 5, która na przykładzie wykresu rozpuszczalności cukru w wodzie szczegółowo objaśnia sposób odczytywania różnych informacji z wykresu. Ciekawym rozwiązaniem jest również wykorzystanie wyników z doświadczenia w celu wyznaczenia krzywej rozpuszczalności (seria 2) lub w celu wyznaczenia ogólnej tendencji rozpuszczania substancji w wodzie w zależności od temperatury (seria 5).

We wszystkich podręcznikach, w których zamieszczono krzywe rozpuszczalności gazów, Autorzy, opisując osie z wartościami temperatury, zastosowali skalę w stopniach Celsjusza. Wydawnictwo 3 dodatkowo umieściło również temperaturę w kelwinach.

Opis odczytywania rozpuszczalności gazów z krzywych rozpuszczalności składa się zazwyczaj z podania ogólnej tendencji rozpuszczalności, np. *Rozpuszczalność gazów w wodzie maleje (zmniejsza się) ze wzrostem temperatury* (seria 1, 2, 3 i 4), lub *Rozpuszczalność gazów w wodzie zwykle maleje ze wzrostem temperatury* (seria 5). W podręczniku wydawnictwa 2, Autor zamieścił przykład odczytywania rozpuszczalności z wykresu rozpuszczalności dla tlenu w dwóch różnych

⁹ Dokładnie: (uczeń) *odczytuje rozpuszczalność substancji z wykresu jej rozpuszczalności; oblicza ilość substancji, którą można rozpuścić w określonej ilości wody w podanej temperaturze*.

Tabela 6. Sposób opisu wykresów rozpuszczalności substancji stałych w wodzie w podręcznikach chemii do gimnazjum

Oznaczenia: t-tom; s-strona; o_{zw} – zwięzły opis; o_{roz} – opis rozbudowany; z_p – przykładowo rozwiązane zadanie z wykorzystaniem wykresu; d_{wp} – doświadczenie wprowadzające – wyznaczenie ogólnej tendencji; d_d – doświadczenie wprowadzające – wyznaczenie krzywej rozpuszczalności na podstawie danych z doświadczenia

Seria podręczników	Czy zamieszczono związki organiczne? (jakie i w jaki sposób zostały oznaczone?)	Jakie związki nieorganiczne są zamieszczone? (liczba konkretnych substancji na wykresie)	Sumaryczna liczba krzywych na wykresie	Wzory sumaryczne	Nazwy		Wielokrotne osie wykresu – prezentacja wartości temperatury w różnych jednostkach.	Opis odczytywania informacji
					systematyczne	zwykłe		
1	+ (cukier)	Sole (3)	4	–	+	+	°C	z_p
2	+ ($C_6H_{12}O_6$ – glukoza $C_{12}H_{22}O_{11}$ – sacharoza (cukier))	Sole (9)	11	+	+	–	°C	o_{zw} d_d
3	+ (cukier, CH_3COONa , $(CH_3COO)_2Ca$)	Sole (12)	15	+	+	–	°C K	o_{zw}
4	–	Sole (4)	4	–	+	+	°C	o_{zw}
5	–	Sole (6)	6	+	+	–	°C	o_{roz} z_p d_{wp}
6	+ (cukier octan sodu)	Sole (4)	4	–	+	–	°C	o_{roz} z_p d_{wp}
7	+ (sacharoza)	Sole (4)	4	–	+	+	°C	o_{zw}
8	–	Sole (11)	11	–	+	–	°C	o_{zw} z_p

Tabela 7. Sposób opisu wykresów rozpuszczalności substancji gazowych w wodzie w podręcznikach chemii do gimnazjum

Oznaczenia: t-tom; s-strona;
– – brak w podręcznikach serii,
+ – obecne w podręcznikach serii,
 o_{zw} – zwięzły opis;
 d_{wp} – doświadczenie wprowadzające
– wyznaczenie ogólnej tendencji;

Nr serii	Jakie gazy są zamieszczone na wykresie?	Liczba osi rzędnych	Nazwy systematyczne	Jednostki temperatury	Opis odczytywania informacji
1	tlen; tlenek węgla(IV)	1	+	°C	o_{zw}
2	azot; tlen; tlenek węgla(IV); wodór	3	+	°C	o_{zw} d_{wp}
3	azot; tlen; tlenek węgla(IV); wodór	3	+	°C K	o_{zw}
4	azot; tlen; tlenek węgla(IV); wodór	3	+	°C	o_{zw}
5	chlorowodór; amoniak; chlor	1	–	°C	o_{zw} d_{wp}

temperaturach, natomiast Autorka serii 5 przedstawiła rozwiązanie zadania, w którym wykorzystana jest wartość rozpuszczalności tlenu w określonej temperaturze. Autorzy serii 2 i 5 dodatkowo opisali doświadczenie, za pomocą którego można zaobserwować zależność rozpuszczalności gazów od temperatury.

Wnioski

*Nihil est in intellectu, quod non prius fuerit in sensu*¹⁰

Zasada pogładowości, zwana również zasadą bezpośredniości, jest jedną z najwcześniej sformułowanych zasad dydaktycznych (Żegnałek, 2005). Zasadę tę sformułował Wolfgang Ratke – językoznawca i pedagog pochodzenia niemieckiego (Kupisiewicz, 2012). Stosowanie zasady pogładowości oznacza między innymi (...) konieczność kojarzenia opisu z pokazaniem samego obiektu (Burewicz, Jagodziński, 2006). Półturzycki wskazuje na konieczność zdobywania wiedzy o rzeczywistości przez bezpośrednie poznawanie rzeczy i zjawisk, wydarzeń i procesów lub przez zetknięcie ich z „zastępnikami”¹¹, czyli pomocami naukowymi, takimi jak: obrazy, modele, słowa, wykresy, tabele (Półturzycki, 2014). Burewicz określa tablice, wykresy czy diagramy jako konkret, czyli przedmioty obserwacji w procesie poznawania wiedzy chemicznej. Natomiast Półturzycki pisze, że graficzne przedstawienie abstrakcji stosuje się przy przekazywaniu wiedzy, która w sposób istotny odbiega od zmysłowego obrazu rzeczywistości (Półturzycki, 2014).

10 Niczego nie ma w umyśle czego by pierw nie było w zmysłach (Komeński, 1956) – średniowieczna teza zaczerpnięta z filozofii Arystotelesa, spopularyzowana przez Tomasza z Akwinu (por. tegoż, *De veritate*, q. 2 a. 3 arg. 19).

11 O „zastępnikach” piszą również Burewicz i Jagodziński (2006): (...) źródłem poznania powinno być nie słowo nauczyciela, ale sama rzeczywistość lub jej zastępniki (...).

Komunikacja wizualna

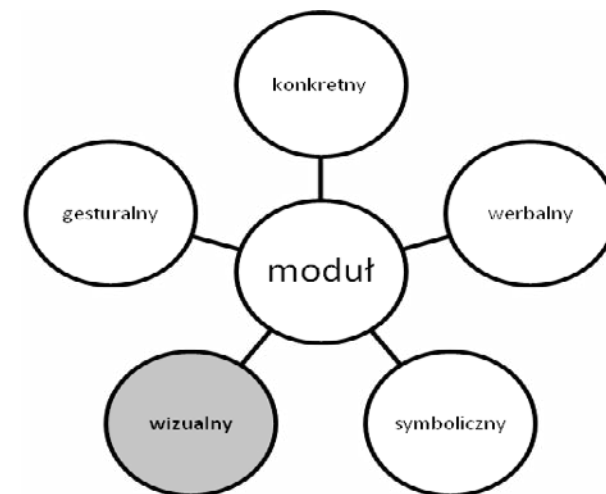
Tufte (2001) używał słowa *wizualizacja* na systematyczne obrazowe przedstawianie informacji w formie tabel, diagramów i wykresów. Wizualizacja stoi w samym centrum uczenia się, w szczególności przedmiotów przyrodniczych (Gilbert, 2005). Jest tak, gdyż uczniowie często zmuszeni są do poruszania się wewnątrz oraz pomiędzy różnymi poziomami abstrakcji, na przykład w chemii – od postrzegania zmysłowego, przez rozpoznawanie struktur, przejście do struktur atomowych i subatomowych, aż do formalnego stopnia abstrakcji (rozumienie zapisów symbolicznych i wzorów). W takich wypadkach osobie uczącej się powinna przyjść z pomocą odpowiednia wizualizacja faktów naukowych (Vavra i in., 2011)¹². Komunikacja wizualna jest nie do przecenienia przy ilustrowaniu praw i teorii na lekcjach przedmiotów przyrodniczych (Cook, 2006; Chang, 2007; Gilbert, 2008; Rundgren, Chang, Schönborn, 2010).

Niezależnie od jej przeznaczenia, zwizualizowana wersja modelu zjawiska, umieszczona w domenie publicznej, występuje w jednym z pięciu różnych modułów reprezentacji przedstawionych na Rys. 4 (Gilbert, 2005).

Words alone [are] insufficient to support [scientists'] thinking (Kozma, Chin i Marx, 2000)...

W 1972 roku Balchin (1972) wprowadził pojęcie *graphicacy*, czyli umiejętność operowania obrazem (Schnettler, 2008). Pojęcie to odpowiada edukacyjnemu odpowiednikowi komunikacji i inteligencji wizualno-przestrzennej człowieka. Termin ten nawiązuje do pojęć *literacy* (umiejętność czytania i pisanie oraz interpretacji czytanego tekstu), *numeracy* (umiejętność liczenia, rozumowanie matematyczne) i *articulacy* (umiejętność

12 Należy tu jednak mieć na uwadze słowa Biecka: *Dane to abstrakcja rzeczywistości, a wizualizacja danych to abstrakcja abstrakcji*.



Rys. 4. Kanoniczne moduły prezentacji informacji

Podkreślony kolorem szarym kanoniczny moduł wizualny wykorzystuje wykresy, diagramy, grafy i animacje.

Źródło: oprac. własne.

wysławiania się)¹³. Tak więc *graphicacy*, to umiejętność odczytywania (i tworzenia) informacji w formie graficznej – szkiców, fotografii, diagramów, map, planów, wykresów, tabel i innych (Aldrich, Sheppard, 2000; Dhakulkar, Nagarjuna, 2011). Tversky (2005) pisała, że problemy, które mają uczniowie, związane z uczeniem się przedmiotów przyrodniczych można wiązać z ich słabo wykształconymi umiejętnościami odczytywania i tworzenia informacji w formie graficznej (*graphicacy*), w szczególności w zastosowaniach matematyki w naukach przyrodniczych.

Zgodnie z badaniami prowadzonymi przez Lemke (1998), jeśli spyta się przeciętnego nauczyciela przedmiotu przyrodniczego, co jest jego głównym celem, większość z nich prawdopodobnie odpowie, że *najważniejsze jest zrozumienie podstawowych koncepcji fizyki*,

13 W polskiej literaturze brak jest konkretnych, jednomyślnych tłumaczeń tych pojęć.

biologii, geografii czy chemii. Lemke pisze, że w tym miejscu kluczowe są słowa *koncepcja* i *zrozumienie*. Nauka opisuje świat nie tylko w języku samych słów. Można napisać, że w wielu przypadkach same słowa nie wystarczą (Lemke, 1998). Naturalny język nauki to synergistyczna integracja słów, diagramów, obrazków, grafów, wykresów, map, równań, tabel i innych form obrazowej oraz matematycznej ekspresji. Formy graficzne są popularnym środkiem wyrazu w naukach przyrodniczych dzięki temu, że umożliwiają zazwyczaj zawarcie dużej ilości informacji w kompaktowej formie (Gilbert, 2010). Opanowanie techniki poszukiwania odpowiednich informacji niezbędnych do rozwiązania problemu powinno być rozwijane na jak najwcześniejszym etapie nauki i należy uczniów jak najczęściej do tego zachęcać (Nuffield Science Teaching Project, 1972).

W preambule do obowiązującej podstawy programowej podkreślono wyraźnie wagę kształtowania u uczniów kompetencji w zakresie *literacy*, *numeracy*, *articulacy* i *graphicacy* – do najważniejszych umiejętności zdobywanych przez ucznia w trakcie kształcenia ogólnego w szkole podstawowej należą:

- czytanie, rozumiane zarówno jako prosta czynność, jak i umiejętność rozumienia, wykorzystywania i przetwarzania tekstów w zakresie umożliwiającym zdobywanie wiedzy, rozwój emocjonalny, intelektualny i moralny oraz uczestnictwo w życiu społeczeństwa,
- myślenie matematyczne – umiejętność korzystania z podstawowych narzędzi matematyki w życiu codziennym oraz prowadzenia elementarnych rozumowań matematycznych,
- myślenie naukowe – umiejętność formułowania wniosków opartych na obserwacjach empirycznych dotyczących przyrody i społeczeństwa.

Waga podręczników w kształtowaniu kompetencji uczniów związanych z wykorzystaniem tabel i wykresów

Zgodnie z informacjami przedstawionymi w Tabeli 1, wyniki, jakie osiągają polscy uczniowie na końcowym egzaminie gimnazjalnym w zadaniach, w których niezbędna jest interpretacja informacji przedstawionych w postaci wykresu czy tabeli nie są satysfakcjonujące. Być może jedną z przyczyn jest wskazana przez Rotha i wsp. (1999) niewielka ilość informacji przekazywanych w tej formie w podręcznikach do chemii. Ponadto, takie formy wizualizacji danych ogólnie nie pojawiają się w podręcznikach zbyt regularnie (Leinhardt, Zaslavsky, Stein, 1990).

Transfer umiejętności z jednego przedmiotu do drugiego wymaga wykorzystania specyficznego kontekstu, pojawiającego się na granicach obu nauk (von Wright, von Wright, Soini, 2003). Transfer taki wymaga na ogół dodatkowej, systematycznej pracy, zarówno od ucznia, jak i nauczyciela. Kształtowanie nawyku systematycznego sięgania do chemicznych źródeł danych, przedstawionych np. w postaci tabeli czy wykresów, można wesprzeć umożliwiając uczniom szybkie odnajdywanie takich źródeł w podręczniku. Tymczasem wyniki przedstawione w Tabeli 3 wskazują, że w większości badanych serii podręczników tablica rozpuszczalności znajduje się tylko w jednym tomie podręcznika (z wyjątkiem serii 1, 2 i 7), co oznacza, że uczeń nie może do niej zajrzeć w dowolnym momencie, gdy zajdzie taka potrzeba. Warte uwagi wydaje się rozwiązanie wykorzystane w seriach 3 i 7, w których tablice rozpuszczalności umieszczono na wkładce do podręcznika. Dzięki temu łatwiej jest je znaleźć w porównaniu z tablicami umieszczonymi wewnątrz działów podręcznika.

Czytelny i prosty opis sposobu korzystania z tablicy rozpuszczalności czy symboli używanych do oznaczenia rozpuszczalności związków również może wpłynąć korzystnie na kształtowanie umiejętności przetwarzania

informacji z tego źródła. Każda tablica rozpuszczalności w badanych seriach podręczników zaopatrzona była w legendę opisującą znaczenie symboli zastosowanych do określenia rozpuszczalności substancji. Zamieszczone pod tablicą objaśnienia rozpuszczalności są jednak w każdej serii inne. Dotyczy to zarówno podziału związków chemicznych według ich rozpuszczalności, jak i sposobu oznaczeń rozpuszczalności w tabeli. Warto zwrócić uwagę na fakt, że symbole stosowane przez Autorów badanych serii podręczników i ich opis nie zawsze są spójne z tymi, których używa Centralna Komisja Egzaminacyjna. W zadaniach na egzaminie gimnazjalnym, w których źródłem informacji była tablica rozpuszczalności, funkcjonowały dotychczas dwa określenia rozpuszczalności związków: *R* – *rozpuszczalny*, *N* – *nierozpuszczalny*. Na Rys. 5 przedstawiono fragment opracowania CKE zawierającego wybrane wzory i stałe na egzamin maturalny z przedmiotów przyrodniczych (CKE, 2015b). Tu z kolei widać, że wykorzystano cztery różne oznaczenia do opisu rozpuszczalności. Natomiast w podręcznikach chemii można znaleźć czasami aż pięć różnych określeń (serie: 1, 2, 3 i 7). Tylko w serii 8 wyróżniono dwa typy rozpuszczalności związków. Dla uczniów problemem może być rozróżnienie między substancjami rozpuszczalnymi w niewielkim stopniu, substancjami słabo rozpuszczalnymi a substancjami trudno rozpuszczalnymi (praktycznie nierozpuszczalnymi) (seria 1), czy osadem praktycznie nierozpuszczalnym a trudno rozpuszczalnym (seria 5). Niemal żaden z Autorów podręczników nie przedstawił bowiem jasnych kryteriów podziału substancji według ich rozpuszczalności (wyjątek stanowi seria 7)¹⁴.

¹⁴ Autorzy serii 1 próbowali wyjaśnić różnicę między wodorotlenkiem dobrze rozpuszczalnym, rozpuszczalnym w niewielkim stopniu, słabo rozpuszczalnym i trudno rozpuszczalnym, obrazując to rysunkiem, na którym przedstawili mieszaniny różnych wodorotlenków w wodzie. Ilość osadu na dnie próbki odnosi się do rodzaju roztworu. Nie zrobiono jednak adnotacji, że takie

Rozpuszczalność soli i wodorotlenków w wodzie w temperaturze 25 °C													
	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	NO ₃ ⁻	CH ₃ COO ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	CrO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	OH ⁻
Na ⁺	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Ag ⁺	N	N	N	R	R	N	N	T	N	N	N	N	—
Mg ²⁺	R	R	R	R	R	R	R	R	N	N	R	N	N
Ca ²⁺	R	R	R	R	R	T	N	T	N	N	T	N	T
Fe ²⁺	R	R	R	R	R	N	N	R	N	N	—	N	N
Fe ³⁺	R	R	—	R	R	N	—	R	—	N	N	N	N

R – substancja rozpuszczalna; T – substancja trudno rozpuszczalna (strąca się ze stęż. roztworów); N – substancja nierozpuszczalna; — oznacza, że dana substancja albo rozkłada się w wodzie, albo nie została otrzymana

Rys. 5. Fragment opracowania CKE zawierającego wybrane wzory i stałe na egzamin maturalny z przedmiotów przyrodniczych

Czerwonymi prostokątami oznaczono cztery typy oznaczeń wykorzystane w tablicy.

Analizując dane zaprezentowane w Tabeli 3 należy zwrócić uwagę na fakt, że tylko w dwóch seriach podręczników na 8 zbadanych Autorzy umieścili w podręczniku definicje oznaczeń użytych w tablicy rozpuszczalności. Wydaje się zasadne, aby takie definicje pojawiały się we wszystkich podręcznikach przeznaczonych do nauczania chemii na II etapie edukacyjnym (obojętne czy będzie to jeszcze gimnazjum, czy już szkoła podstawowa)¹⁵.

Podstawa programowa jednoznacznie wskazuje, że tablica rozpuszczalności powinna zawierać informacje dotyczące rozpuszczalności nie tylko soli, ale również wodorotlenków. Tylko Autorzy serii 8 opublikowali

kryterium dotyczy wszystkich substancji z tablicy rozpuszczalności, np. soli.

15 Ustawa z dn. 14 grudnia 2016 roku – Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo oświatowe (**Dz. U. z 2017 r., poz. 60**) wprowadza szereg zmian w systemie oświaty, m.in. wydłużenie edukacji w szkołach podstawowych z 6 do 8 lat oraz stopniowe wygaszanie gimnazjów od 1 września 2017. <http://www.dziennikustaw.gov.pl/du/2017/60/1> (Data dostępu: 28.01.2017)

tablicę, w której nie ma danych dotyczących rozpuszczalności wodorotlenków. Na uwagę zasługują tablice rozpuszczalności zamieszczone w seriach 2 i 5, w których podano dodatkowo barwy roztworów i osadów wodorotlenków i soli.

„Ważniejsze od tego, co chciałeś pokazać, jest to, co zostało odczytane” (Biecek, 2016)

Wizualizacje tworzy się w celu zastąpienia jednego typu obiektów innym obiektem (Bloom i Markson, 1998; Deacon, 1997; DeLoache, 2000; Tomasello, Striano, i Rochat, 1999). Tak więc reprezentacja może być rozumiana jako „coś, co zastępuje coś innego: słowo w miejsce obiektu, zdanie zamiast stanu uczuciowego czy też wykres lub diagram w miejsce zestawu liczb (McKendree, Small, Stenning, Conlon, 2002). Wykresy stanowią niezwykle istotny typ wizualizacji (narzędzia) w naukach przyrodniczych właściwie od momentu, kiedy zostały wynalezione w XVI wieku (Descartes,

1637). Ogólnie rzecz ujmując, wykresy wykorzystuje się w celu sprawdzenia, czy pomiędzy dwiema wielkościami zachodzą jakieś zależności, wizualizacji zjawiska, procesu lub bardziej obrazowego przedstawienia danych. Z jednej strony służą do wnioskowania z danych, a z drugiej – do ich zakomunikowania węższemu lub szerszemu gronu odbiorców (Zacks, Tversky, 1999)¹⁶. Tak więc dla osoby znającej i rozumiejącej konwencję stanowią one ułatwienie analizy informacji. Interpretacja zwizualizowanej informacji silnie zależy od wiedzy, jaką już posiada dana osoba (Rundgren, Yao, 2014). Aby poprawnie odczytać zamieszczony na wykresie przekaz, odbiorca musi więc znać i rozumieć pewne fakty dotyczące obiektów użytych na wykresie (Biecek, 2016). Przykładowo, do odczytywania i przetwarzania danych z wykresu rozpuszczalności niezbędna jest znajomość i zrozumienie samego pojęcia rozpuszczalności. Tu należy zwrócić uwagę na fakt, że nie we wszystkich seriach podręczników definicja ta została podana¹⁷.

Należy pamiętać, że również sam format graficzny wykresu może mieć duży wpływ na interpretację danych (Shah, Mayer, Hegarty, 1999)¹⁸. Na sprawny odczyt danych z wykresu mają z pewnością niebagatelny wpływ następujące jego cechy:

- czytelność przedstawionych danych na wykresie – wykorzystane barwy, punktory, legenda,

16 Co więcej, wykresy można opisać jako narzędzia kulturowe, ponieważ proces ich interpretacji jest silnie zależny od wiedzy mającej podłoże kulturowe (Vygotski, 1979).

17 Autorzy podręczników, wyjaśniając sposób odczytywania danych z wykresów rozpuszczalności substancji stałych i gazów w wodzie, najczęściej umieszczają zwięzły opis, zawierający ogólną tendencję zależności rozpuszczalności od temperatury oraz przykładowe wartości rozpuszczalności substancji w wodzie w konkretnej temperaturze.

18 Czasem bywa to z resztą wykorzystywane przy manipulowaniu informacją – przykładowo wystarczy zmienić skalę na jednej z osi aby odpowiednio wypłaszczyć, lub uwypuklić dane.

- odpowiedni opis osi, a w przypadku, gdy występują na nich różne skale, silne podkreślenie tego faktu,
- liczba krzywych na wykresie.

Skumulowanie informacji zarówno na jednym wykresie, jak i w jednej komórce tabeli będzie prowadzić do problemów z ich analizą. Problemy takie mogą dotknąć w szczególności uczniów obciążonych jakimiś dysfunkcjami (przykładowo: z dysleksją, wadą wzroku czy też z zespołem nadpobudliwości psychoruchowej z deficytem uwagi, czyli ADHD). W sytuacji, kiedy u ucznia dochodzi do przeciążenia informacjami (ang. *information overload*) może się zdarzyć, że będzie on doświadczać różnych negatywnych emocji utrudniających przetwarzanie informacji, np. frustracji, napięcia, wściekłości, czy paniki (Akin, 1998; Chrzanowski i in., 2017).

Wykresy powinny mieć również odpowiednią wielkość. Jest tak, gdyż małe ilustracje z dużą ilością detali (np. skala, nazwy substancji na wykresie itd.) wymagają dużej koncentracji uwagi od uczniów. Mogą więc nadmiernie obciążać pamięć roboczą i negatywnie przeciążać zasoby kognitywne ucznia, prowadząc do jego zniechęcenia (Łompiś, 2015; Chrzanowski i in., 2017). Należy pamiętać, że istnieją limity na ilość bodźców sensorycznych, jakie człowiek jest w stanie przyswoić i przetworzyć (Toffler, 1970), dlatego bombardowanie ucznia informacjami nie ma większego sensu z punktu widzenia efektywności nauczania. Autorzy poradników dotyczących przygotowywania różnego typu prac piszą, że liczba krzywych, jaką można umieścić na jednym wykresie zależy od jego wielkości. Generalna zasada jest taka, że na wykresach o szerokości jednej kolumny tekstu umieszcza się maksymalnie 5 krzywych, pod warunkiem, że nie nakładają się za bardzo na siebie (Słobodzin, 2007). W Tabeli 6 można zauważyć, że liczba krzywych, umieszczona na wykresie rozpuszczalności substancji stałych od temperatury waha się od 3 do 15

– najwięcej krzywych rozpuszczalności umieścili Autorzy wydawnictwa 3 (3 substancje organiczne oraz 12 soli nieorganicznych). Trudno jednoznacznie stwierdzić jaka liczba krzywych byłaby optymalna. Z jednej strony zbyt wiele krzywych na jednym wykresie utrudnia percepcję informacji, z drugiej strony liczba krzywych może wpływać na częstotliwość wykorzystywania tego źródła danych (skumulowanie wszystkich danych w jednym miejscu jest po prostu wygodne dla czytelnika). Z kolei, liczba różnych grup substancji umieszczonych na wykresie rozpuszczalności może mieć wpływ na to, czy uczeń będzie z niego korzystać w różnych latach nauki. W szczególności – umieszczenie na wykresie danych dotyczących zarówno substancji organicznych, jak i nieorganicznych może poskutkować tym, że wykres rozpuszczalności będzie przydatny w czasie omawiania zagadnień z chemii organicznej, na przykład sacharydów¹⁹. Warto tu jednak zauważyć, że w niektórych seriach nieprecyzyjnie opisano krzywe rozpuszczalności węglowodanów w wodzie używając wyrazu „cukier” bez wskazania, o jaki cukier chodzi (1, 3 i 6). Wynika to najprawdopodobniej z faktu, że wykres rozpuszczalności pojawia się w treściach podręcznika dużo wcześniej niż omawiane są cukry i takie pojęcia jak glukoza, sacharoza mogą być dla ucznia wówczas niezrozumiałe. Krzywa rozpuszczalności opisana w taki sposób nie będzie jednak przydatna podczas omawiania właściwości węglowodanów. Dobrym rozwiązaniem jest podanie nazwy zwyczajowej i chemicznej cukru (seria 2: $C_{12}H_{22}O_{11}$ – sacharoza; cukier).

To, na ile sprawnie uczeń odczytuje informacje z wykresu w dużym stopniu zależy od tego, jak często ma do

¹⁹ Najczęściej na wykresach znajdują się rozpuszczalności związków nieorganicznych, głównie soli. Tylko cztery wydawnictwa przedstawiły na wykresach krzywe rozpuszczalności związków organicznych, ograniczając się najczęściej do rozpuszczalności sacharydów. Jedynie w serii 3 można znaleźć krzywą rozpuszczalności substancji z innych grup.

czynienia z tą formą wizualizacji wiedzy oraz od tego, jak często ćwiczy umiejętność odczytywania różnych wykresów (Biecek, 2016). Autorzy badanych podręczników umieszczają wykresy rozpuszczalności najczęściej przy opisie treści działu podstawy programowej *Woda i roztwory wodne* (seria 1, 3 i 4) lub na końcu podręcznika (serie 5 i 7). Warto wspomnieć o rozwiązaniu, jakie wykorzystało wydawnictwo serii 2, w którego podręcznikach wykres rozpuszczalności zamieszczony został nie tylko w dziale *Woda i roztwory wodne*, ale również na końcu wszystkich części podręcznika. W serii 3 wykres znajduje się w dwóch (z trzech) częściach podręcznika. Zamieszczenie wykresu rozpuszczalności w kilku tomach podręcznika może spowodować, że praca z wykresem będzie systematyczna.

Jako dobrą praktykę warto w tym miejscu przytoczyć oryginalne rozwiązanie jakie wykorzystali Autorzy serii 5. Umieścili oni w podręczniku nie tylko wykres rozpuszczalności, ale również tabelę rozpuszczalności substancji stałych (w gramach na 100g wody) w zależności od temperatury. Wydaje się, że taka praktyka może uświadomić uczniowi, w jaki sposób powstaje taki wykres.

Nie we wszystkich seriach podręczników znajdują się wykresy rozpuszczalności gazów od temperatury. Wykresów takich nie umieścili wydawcy serii 6, 7 i 8. W podręcznikach, w których zamieszczono takie wykresy, krzywe rozpuszczalności różnych gazów w wodzie przedstawione zostały najczęściej na jednym wykresie. Ich liczba ogranicza się zazwyczaj do danych dla kilku gazów wyszczególnionych w podstawie programowej: tlenku węgla(IV), tlenu, azotu, wodoru, (seria 2, 3 i 4) lub tylko niektórych z nich (seria 1). Autorka serii 5 przedstawiła krzywe rozpuszczalności amoniaku, chloru i chlorowodoru. Trudnością przy umieszczaniu krzywych rozpuszczalności gazów na jednym wykresie może być duża różnica między rozpuszczalnością

poszczególnych substancji w wodzie. Przedstawienie krzywych na wspólnym wykresie wymaga najczęściej wprowadzenia wielokrotnych osi, a co za tym idzie instrukcji, w jaki sposób odczytywać informacje z takiego wykresu. Wielokrotne osie zastosowali Autorzy serii 2, 3 i 4, nie umieszczając niestety komunikatu, po co zastosowane zostały aż trzy osie rzędnych. Tylko w serii 4 Autor zamieścił notę informującą, że na wykresie stosuje 3 skale rozpuszczalności. Jeszcze większą trudnością dla ucznia może być odczytywanie danych z wykresu, na którym wykorzystano wielokrotne osie jednocześnie dla osi rzędnych, jak i odciętych (seria 3). Aby uniknąć takiej sytuacji, co wydaje się ułatwieniem dla ucznia, w serii 1 przedstawiono krzywe rozpuszczalności gazów na oddzielnych wykresach, a w serii 5 przedstawiono krzywe takich gazów, których rozpuszczalność w wodzie jest wielkością tego samego rzędu.

Graphicacy – umiejętność istotna w życiu codziennym

Zmysł wzroku pełni centralną rolę w odbiorze świata zewnętrznego przez człowieka. Nie należy się więc dziwić, że nieuniknione było powstanie ogromnej ilości form wizualizacji informacji (Gilbert, 2010). Wszelkiego typu wizualizacje tworzone były przez milenia i wykorzystywane w rozmaitych celach: od zdobywania informacji, przez zapisywanie i jej przekazywanie, aż do wywoływania wpływu na innych. Oczywiście w związku z tym istnieje wielka różnorodność form i sposobów tworzenia takiej informacji. Nie każdy sposób przekazywania informacji w formie wizualnej jest jednak adekwatny w konkretnej sytuacji. Przychodzi tu na myśl wypowiedź Tversky'iej (2004), że miało z tym do czynienia pewnie większość z Czytelników w czasie prób samodzielnego złożenia mebli zgodnie z instrukcją. Projektując efektywną wizualizację dokonuje się selekcji informacji i wybiera te absolutnie niezbędne do zrozumienia idei i jednocześnie usuwa takie, które będą jedy-

nie zaciemniać przekaz. *Z fotografii terenowej zapewne nie uczyni dobrego użytku ktoś, kto szuka mapy. Z kolei nie każda mapa jest równie dobra w każdej okazji – innej bowiem będzie poszukiwał kierowca a jeszcze innej ktoś, kto ma zamiar wspinać się po górach.* Odczytywanie informacji z różnych form zwizualizowanych danych zależy od całego zestawu umiejętności czytelnika (Curcio, 1987). Umiejętności te zestawili w swojej publikacji Kozma i Russell (1997):

- umiejętność zidentyfikowania i analizy właściwości danego rodzaju reprezentacji (przykładowo – współrzędnych w układzie kartezjańskim) oraz ich różnych cech (np. jaką informację niesie kształt danej krzywej),
- przekształcanie jednego typu (wizualizacji) danych w inny typ (wizualizacji) w celu zbadania pewnych zależności,
- zrozumienie, dlaczego konkretny typ reprezentacji jest w danym przypadku znacznie bardziej adekwatny niż inny,
- zdolność opisu, w jaki sposób różne rodzaje reprezentacji danych mogą opisywać tę samą cechę układu, oraz jak dany jej typ może zobrazować coś, czego nie da się pokazać wykorzystując inny typ reprezentacji.

Dodatkowo, w czasie analizy danych niezwykle istotna jest umiejętność rozróżnienia między korelacją a zależnościami przyczynowo-skutkowymi (Games, 1990).

Już w 1999 roku Tadeusiewicz (1999) pisał, że z dużym prawdopodobieństwem można sformułować tezę, że najbardziej znaczącym przekształceniem, jakie aktualnie daje się zaobserwować, jest tworzenie się – dosłownie w tej chwili, na naszych oczach – tak zwanego społeczeństwa informacyjnego, nazywanego także społeczeństwem postindustrialnym. Autor ten wprowadził do polskiej nomenklatury pojęcie smogu informacyjne-

go, charakteryzującego ogrom otaczających nas na co dzień informacji – czasem rzetelnych i prawdziwych, ale jeszcze częściej budzących wątpliwości co do ich rzeczywistej wartości. W dominującej obecnie kulturze medialnej, we wszelkich dostępnych środkach masowego przekazu mamy do czynienia z wykorzystywaniem różnych form wizualizacji – zarówno w telewizji, prasie, Internecie, w reklamach, spotach wyborczych czy opakowaniach produktów wykorzystywanych przez nas każdego dnia. Wszystkie umiejętności wymienione powyżej z pewnością pozwalają na to, aby w sposób krytyczny i rozumny analizować napływające do nas informacje. Umiejętności te należy kształtować w szkole od najmłodszych lat, w szczególności na zajęciach z chemii. Ogromną pomocą mogą być w tym dobrze przygotowane podręczniki. Istnieje jednak jeden warunek – sama obecność odpowiednich treści w podanych analizie podręcznikach nie wystarczy do wykształcenia odpowiednich umiejętności i do uzyskania lepszych osiągnięć edukacyjnych uczniów. Podręcznik zapewne przyniesie pozytywne efekty, ale jedynie pod warunkiem regularnego z niego korzystania.

Na koniec warto się odnieść do planowanych zmian w nowej podstawie programowej dla chemii, której projekt można znaleźć na stronach Ministerstwa Edukacji Narodowej²⁰. Treść pierwszego celu kształcenia ma otrzymać następujące brzmienie: *I. Pozyskiwanie, przetwarzanie i tworzenie informacji. Pozyskiwanie i przetwarzanie informacji z różnorodnych źródeł z wykorzy-*

²⁰ Załącznik nr 2 (opiniowanie) do Projektu rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz podstawy programowej kształcenia ogólnego dla szkoły podstawowej, w tym dla uczniów z niepełnosprawnością intelektualną w stopniu umiarkowanym lub znacznym, kształcenia ogólnego dla branżowej szkoły I stopnia, kształcenia ogólnego dla szkoły specjalnej przysposabiającej do pracy oraz kształcenia ogólnego dla szkoły policealnej, s. 130. <http://legislacja.rcl.gov.pl/docs/501/12293659/12403181/12403182/dokument265884.pdf> (Data dostępu: 27.01.2017)

staniem technologii informacyjno-komunikacyjnych; ocena wiarygodności uzyskanych danych; konstruowanie wykresów, tabel i schematów na podstawie dostępnych informacji. Z wprowadzonych zmian widać, że Autorzy nowej podstawy programowej dla chemii w klasach VII-VIII szkół podstawowych, która ma zastąpić podstawę programową chemii dla gimnazjum, postanowili włączyć do treści wymagań ogólnych zapisy o umiejętności konstruowania wykresów, tabel i schematów oraz oceniania wiarygodności danych. Ponadto, z treści nauczania nie znikną zapisy o odczytywaniu informacji z różnych źródeł (np. układu okresowego pierwiastków) o tlenie i wodorze, ale zostaną poszerzone o zapis dotyczący wykresu rozpuszczalności (podpunkty 4.1 i 4.7, s. 132-133). W podpunkcie 5.6 (na s. 133; jest to odpowiednik podpunktu 5.5 starej podstawy) można znaleźć istotny zapis dotyczący tabeli rozpuszczalności i wykresu rozpuszczalności: (uczeń) *odczytuje rozpuszczalność substancji z tabeli rozpuszczalności lub z wykresu rozpuszczalności* (...). Z kolei w podpunkcie 5.7 (który odpowiada podpunktowi 5.6 starej podstawy) zapisano, że: (uczeń) *wykonuje obliczenia z zastosowaniem pojęć: rozpuszczalność, stężenie procentowe (procent masowy), masa substancji, masa rozpuszczalnika, masa roztworu, gęstość roztworu (z wykorzystaniem tabeli rozpuszczalności lub wykresu rozpuszczalności)*. Ponadto, w podpunkcie 7.5 skorygowano terminologię dotyczącą tabeli/tablicy rozpuszczalności i ma on mieć następujące brzmienie: (uczeń) (...) *na podstawie tablicy rozpuszczalności soli i wodorotlenków przewiduje wynik reakcji strąceniowej* (s.134). Dowodzi to jak ważne są to kwestie w nauczaniu chemii. Niezależnie od tego, czy zostaną wprowadzone jeszcze jakieś poprawki do tych konkretnych zapisów, czy też nie, to intencje twórców nowej podstawy programowej w tym zakresie są jasne – uczeń po kursie chemii w szkole podstawowej ma umieć posługiwać się wykresami, tabelami

i innymi formami prezentacji danych. Płyne z tego jeszcze inny ważny wniosek – nowa podstawa wymusi na wydawcach wprowadzenie pewnych zmian do podręczników – np. nie we wszystkich seriach podręczników występowały wykresy rozpuszczalności gazów czy tabele rozpuszczalności substancji w wodzie, a teraz będą one obligatoryjne. Wyniki naszej pracy, mimo że dotyczą podręczników, które wkrótce przestaną obowiązywać i zostaną zastąpione przez nowe, są jak najbardziej aktualne i potrzebne, a dotyczą treści na tyle uniwersalnych i niezbędnych w nauczaniu chemii, że nie przestaną być przydatne nawet z wejściem kolejnych rozporządzeń ministerialnych.

Literatura

- Ahtineva A, (2000). Oppikirja – tiedon välittäjä ja opintojen innoittaja? Lukion kemian oppikirjan – Kemian maailma 1- tiedonkäsitys ja käyttökokeemukset. *Turun yliopiston julkaisu C 164*, Turku: Painosalama Oy.
- Akin L (1998). Information Overload and Children: A Survey of Texas Elementary School Students. *School Library Media Research*. 1: 1-16.
- Aksela M, (2005) *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higher-order Thinking through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach*. Chemistry Education Center Department of Chemistry University of Helsinki Finland. Pobrane z: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/kemia/vk/aksela/supporti.pdf>. Data dostępu: 18.09.2016.
- Aldrich F, Sheppard L (2000). 'Graphicacy': the fourth 'R'?. *Primary Science Review*. 64:8–11.
- Atar HY (2002). *Examining student' and teachers perceptions of microcomputer based laboratories (MBLs) in high school chemistry classes*. Pobrane z: http://www.ict.org/T01_Library/T01_182.PDF. Data dostępu: 18. 09. 2016.
- Aydin S, Sinha S, Izci K, Volkmann M (2014) Turkish, Indian, and American Chemistry Textbooks Use of Inscriptions to Represent 'Types of Chemical Reactions'. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 10 5: 383-393.
- Balchin WGV (1972). Graphicacy. *Geography*. 57 3:185–195.
- Biecek P (2016) *Odkrywać! Ujawniać! Objawiać! Zbiór esejów o sztuce prezentowania danych*. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego
- Bloom P, Markson L (1998) Intention and analogy in children's naming of pictorial representations. *Psychological Science*. 9 3: 200-204.
- Buczek I, Chrzanowski MM, Odrowąż E, Sobczak M, Kowalik K (2016), *Matura 2017. Repetytorium. Chemia. Zakres Rozszerzony. Zdasz.To*. Warszawa: Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne.
- Burewicz A, Gulińska H (1993). *Dydaktyka chemii*. Poznań: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- Burewicz A, Jagodziński P (2006). *Praktyczne zastosowanie teorii w dydaktyce chemii*. Poznań: Zakład Dydaktyki Chemii Wydawnictwo Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- Carvalho GS, Silva R, Clément P (2007). Historical analysis of Portuguese primary school textbooks (1920–2005) on the topic of digestion. *International Journal of Science Education*. 29 2:173–219.
- Chang SN (2007). Externalizing students' mental models through concept maps. *Journal of Biological Education*. 41 3:107–112.
- Chrzanowski M.M., Buczek I., Musialik M., Ostrowska E.B. (2017). Układ okresowy pierwiastków w podręcznikach chemii dla gimnazjum. *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa*. 1. (w druku)
- CKE (2012). *O egzaminie*. Pobrane z: <https://www.cke.edu.pl/egzamin-gimnazjalny/o-egzaminie/>. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2012a). *Wyniki krajowe egzaminu gimnazjalnego w 2012 roku*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/stories/000000000000002012_gimnazjum2012/2012_Gimnazjum.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2013). *Wyniki krajowe egzaminu gimnazjalnego w 2013 roku*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/files/gimnazjum/sprawozdanie_2013/2013_Gimnazjum.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2013a). *Przedmioty przyrodnicze – 24.04.2013 r. GM-P1-132 – arkusz dla uczniów bez dysfunkcji oraz uczniów z dysleksją rozwojową*. Pobrane z: <https://www.cke.edu.pl/files/file/Arkusze-2013/ARKUSZ-GM-P1-132.pdf>. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2014). *Wyniki krajowe egzaminu gimnazjalnego w 2014 roku*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/files/Sprawozdanie_2014/2014_Egzamin_gimnazjalny_p.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2014a). *Informator o Egzaminie Maturalnym z Chemii od Roku Szkolnego 2014/2015*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2015/Informatory/2015/Chemia_nowy.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2014b). *Przedmioty przyrodnicze – 24.04.2014 r. GM-P1-142 – Zestaw zadań dla uczniów bez niepełnosprawności i uczniów ze specyficznymi trudnościami w uczeniu się wersja A*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/files/gimnazjum/arkusze_egzaminacyjne/gimnazjum_2014/ARKUSZ_GM-P1-142_wersja_A.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2015). *Wyniki krajowe egzaminu gimnazjalnego w 2015 roku*.

- Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/_EGZAMIN_GIMNAZJALNY/Informacje_o_wynikach/Sprawozdanie_z_egzaminu_gimnazjalnego_2015.pdf. Data dostępu: 18.09.2016
- CKE (2015a). *Przedmioty przyrodnicze – 22.04.2015 r. GM-P1-152 – Arkusz egzaminacyjny dla uczniów bez niepełnosprawności i uczniów ze specyficznymi trudnościami w uczeniu się wersja X*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/_EGZAMIN_GIMNAZJALNY/Arkusze-egzaminacyjne/2015/przedmioty_przyrodnicze/ARKUSZ_GM-PX1-152.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2015b). *Wybrane wzory i stałe na egzamin maturalny z biologii, chemii i fizyki*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/_EGZAMIN_MATURALNY_OD_2015/Informatory/2015/MATURA_2015_Wybrane_wzory_i_sta%C5%82e_fizykochemiczne.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- CKE (2016). *Osiągnięcia uczniów kończących gimnazjum w roku 2016*. Pobrane z: https://www.cke.edu.pl/images/_EGZAMIN_GIMNAZJALNY/Informacje_o_wynikach/2016/Sprawozdanie%20z%20egzaminu%20gimnazjalnego_2016.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- Clement P (2008). Critical analysis of school science textbooks. *Science Education International*. 19:93–96.
- Cleveland WS, McGill R (1984). Graphical perception: Theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association*. 79 387:531–554.
- Cook M. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*. 90 6: 1073–1091.
- Curcio FR (1987). Comprehension of mathematical relationships expressed in graphs. *Journal of Research in Mathematics Education*. 18 5:382–393.
- Deacon T (1997). *The symbolic species: The co-evolution of language and the brain*, New York: Norton & Co.
- Descartes R (1637). *Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences, plus la dioptrique, les météores et la géométrie qui sont des essais de cette method*. Bibliothèque Nationale de France. Pobrane z: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b86069594/f5.image.r=langEN>. Data dostępu: 18.09.2016.
- DeLoache JS (2000). Dual representation and young children's use of scale models. *Child Development*. 71 2: 329–338.
- Devetak I, Vogrin J (2013). The criteria for evaluating the quality of the science textbooks. In: Khine MS, ed. *Critical analysis of science textbooks*. Springer Netherlands; 3–15.
- Dhakulka A, Nagarjuna G (2011). An Analysis Of Graphs in School Textbooks. In: Chunawala S, Kharatmal M, eds. *epiSTEME 4 International Conference to Review Research on Science, Technology and Mathematics Education, Conference Proceedings*. India: Macmillan; 127–131.
- Friedler Y, Nachmias R, Linn MC (1990). Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 2: 173–191.
- Games PA (1990). Correlation and causation: A logical snafu. *Journal of Experimental Education*, 58 3: 239–246.
- Gessek Z (1971). *Wybrane zagadnienia z dydaktyki chemii*, Toruń: Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika – Skrypty i materiały pomocnicze.
- Gilbert JK (2005). Visualization: a Metacognitive Skill in Science and Science Education. In: Gilbert JK, ed. *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gilbert JK (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In: Gilbert JK, Nakhel M eds. *Visualization: Theory and Practice in Science Education* The Netherlands: Springer; 3–24.
- Gilbert JK (2010). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. 11 1:1–19.
- Jakubowski M, Pokropek A (2009). *Badając Egzaminy – Podejście ilościowe w badaniach edukacyjnych*. Warszawa: Centralna Komisja Egzaminacyjna.
- Komeński JA (1956). *Wielka dydaktyka*. Wrocław: Ossolineum.
- Kozma R, Russell J (1997). Multimedia and Understanding: Expert and Novice Responses to Different Representations of Chemical Phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*. 34 9: 949–968.
- Kozma R, Chin E, Russell J, & Marx N (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *The Journal of the Learning Sciences*. 9 2:105–143.
- Kupisiewicz Cz (2012). *Dydaktyka – podręcznik akademicki*. Kraków: Oficyna Wydawnicza Impuls.
- Leinhardt G, Zaslavsky O, Stein MK (1990). Functions, graphs and graphing: Tasks, learning and teaching. *Review of Educational Research*. 60 1:1–64.
- Lemke J (1998). *Teaching All the Languages of Science: Words, Symbols, Images, and Actions*. Pobrane z: <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/694454/25864203/1421449541530/Barcelona-Languages-of-science.pdf?token=gfuW39MsGoFSSkoISj10UwHTuLk%3D>. Data dostępu: 18.09.2016.
- Łompiś JB (2015). Kognitywne konsekwencje tworzenia teksów pisanych. *Lingwistyka Stosowana* 15:4, 61–73.
- McKendree J, Small C, Stenning K, Conlon T (2002). The role of representation in teaching and learning critical thinking. *Educational Review*. 54 1: 57–67.
- MEN (2009). Podstawa programowa z komentarzami, T.5. Edukacja przyrodnicza w szkole podstawowej, gimnazjum i liceum; przyroda, geografia, biologia, chemia, fizyka. Warszawa: Ministerstwo Edukacji Narodowej. Pobrane z: http://www.men.gov.pl/images/stories/pdf/Reforma/men_tom_5.pdf. Data dostępu: 18.09.2016
- MEN (2012). Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 21 czerwca 2012 r. w sprawie dopuszczania do użytku w szkole programów wychowania przedszkolnego i programów nauczania oraz dopuszczania do użytku szkolnego podręczników (Dz.U. 2012 poz. 752). Warszawa: Ministerstwo Edukacji Narodowej.
- Nowacki T (1977). *Podstawy dydaktyki Zawodowej*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Nuffield Science Teaching Project (1972). *Chemistry. Handbook for Teachers*. London: Longmans and Penguins.
- Orgill MK, Bodner GM (2006). An analysis of the effectiveness of analogy use in college-level biochemistry textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*. 43 10:1040–1060.
- Orton T, Roper T (2006). *Science and mathematics: A relationship in need of counselling?* Teoksessa: *Science Education: Major Themes in education*. New York: Routledge.
- Półturzycki J (2014). *Dydaktyka dla nauczycieli*. Toruń: Wydawnictwo Adam Marszałek
- Roth W-M, Bowen G, McGinn JK (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*. 36 9: 977–1019.
- Rundgren C-J, Chang RSN, Schönborn KJ (2010). Students' conceptions of water transport. *Journal of Biological Education*, 44 3:129–135.
- Rundgren S-NC, Yao BJ (2014). Visualization in research and science teachers' professional development. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*. 15 2: 1–21.
- Schnettler B (2008). W stronę socjologii wiedzy wizualnej. *Przegląd Socjologii Jakościowej*. 4 3:116–142. Pobrane z: http://www.qualitativesociologyreview.org/PL/archive_pl.php. Data dostępu: 27.01.2017.
- Shah P, Mayer RE, Hegarty M (1999). Graphs as aids to knowledge construction: Signaling techniques for guiding the process of graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*. 91 4: 690–702.
- Słobodzian P (2007). *Poradnik nr 1 – Jak przygotować wykresy w sprawozdaniu, Laboratorium anten*. Wrocław: Politechnika Wrocławska, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Katedra Radiokomunikacji i Teleinformatyki.
- Smith LD, Best LA, Stubbs DA, Johnston J, Archibald AB (2000). Scientific graphs and hierarchy of the sciences: A latourian survey of inscription practices. *Social Studies of Science*, 30 1:73–94.
- Stern L, Roseman JE (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from Project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in*

- Science Teaching. 41 6: 538–568.
- Tadeusiewicz R (1999). Smog Informacyjny. Zagrożenia cywilizacyjne, prace Komisji Zagrożeń Cywilizacyjnych. 2: 97-107.
- Toffler A (1970). *Future Shock*. New York: Random House, Inc.
- Tomasello M, Striano T, Rochat P (1999). Do young children use objects as symbols? *British Journal of Developmental Psychology*. 17 4: 563-584.
- Tufte ER (2001). *The visual display of quantitative information*. Cheshire: Graphics Press.
- Tversky B (2004). *What Makes Visualizations Effective?* NIH/NSF Fall 2004 Workshop on Visualization Research Challenges. Pobrane z: https://erie.nlm.nih.gov/evc/meetings/vrc2004/position_papers/tversky.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- Tversky B (2005). Prolegomeneon to Science Vizualizations. Teoksessa: Vizualization in Science Education. Gilbert JK, ed. *Vizualization in Science Education*. Dordrecht: Dordrecht: Springer Netherlands; 29–42.
- Vavra KL, Janjic-Watrich V, Loerke K, Phillips LM, Norris SP, Macnab J (2011). Visualization in science education. *Alberta Science Education Journal*. 41 1: 22–30.
- von Wright R, Wright J, Soini T (2003). *Oppiminen ja koulutus*. Helsinki: WSOY, Sanoma Pro.
- Vygotski LS (1979). The instrumental method on psychology. In: Wretsch TJW, ed. *The concept of activity in soviet psychology*. New York: Sharpe, 134-143.
- ZDS (2012). *Diagnoza kompetencji gimnazjalistów. Przedmioty przyrodnicze*. Warszawa: Instytut Badań Edukacyjnych. Pobrane z: http://eduentuzjasci.pl/images/stories/badania/diagnizakg/dkg_przyroda.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- ZDS (2013). *Diagnoza Kompetencji Gimnazjalistów. Przedmioty Przyrodnicze*. Warszawa: Instytut Badań Edukacyjnych. Pobrane z: http://eduentuzjasci.pl/images/stories/badania/diagnizakg/Przyroda_raport_DKG_2012w.pdf. Data dostępu: 18.09.2016.
- Zacks J, Tversky B (1999). Bars and lines: A study of graphic communication. *Memory & Cognition*. 27 6: 1073–1079.
- Żegnałek K (2005). *Dydaktyka ogólna – wybrane zagadnienia*. Warszawa: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Pedagogicznej Towarzystwa Wiedzy Powszechnej w Warszawie.

Tables and graphs in chemistry textbooks for junior high-schools

Marcin M. Chrzanowski, Irmina Buczek, Małgorzata Musialik, E. Barbara Ostrowska

The publication describes the results of the analysis of chemistry textbooks for the 3rd stage of education. The study was conducted in order to obtain in-depth knowledge on the implementation of the first educational goal (general requirements) in the core curriculum for subject chemistry for ISCED 2 level: *I. Obtaining, processing and creating information. Student obtains and processes information from multiple sources with the use of information-communication technologies*. We analyzed the coherence of contents presented in the form of tables and charts used in textbooks with the provisions of the core curriculum. The study covered all the textbooks approved by the Ministry of Education for use in schools, aimed for chemistry education at lower secondary level.

The results of the study indicate that the content of almost all the series contains tables and graphs mentioned in the core curriculum, but only in selected textbooks the descriptions on how to read the information from such sources are present. In some analyzed series the diversity of graphs is relatively modest. Only selected series of textbooks use as a source of data analysis the charts, which are different than those directly mentioned in the curriculum.

Key words: environmental education, education in kindergarten

Grzechy edukacji przyrodniczej,

których korzenie sięgają wychowania przedszkolnego i nauczania w klasach I-III

Jan Amos Jelinek

DOI: 10.24131/3247.170208

Streszczenie:

Edukacja przyrodnicza jest jedną z podstawowych obszarów edukacji przedszkolnej i szkolnej. W jej ramach uczniowie poznają możliwe wieloma zmysłami m.in. świat fauny, flory i czterech żywiołów. W ramach edukacji przyrodniczej dzieci mają stawać się małymi naukowcami, którzy w coraz to bardziej świadomy sposób prowadzą badania z użyciem doświadczeń i eksperymentów. Kształtując postawy proekologiczne, badawcze i pasjonackie nauczyciele muszą organizować dzieciom odpowiednie sytuacje edukacyjne. Niestety, mimo bogatej historii nauczania laboratoryjnego w Polsce edukacja przyrodnicza wciąż ograniczona jest grzechami pedagogicznymi, których omówienie jest tematem artykułu. Autor wymienia trzy grzechy, które wydają się w szczególny sposób wpływać na edukację przyrodniczą dzieci: (1) werbalizm i pozorna poglądowość, (2) bierna aktywność ucznia, (3) niemodelowanie błędnych przekonań uczniów.

Słowa kluczowe: science education; pedagogical sins; kindergarten; school; corners of nature

otrzymano: 28.01.2017; przyjęto: 31.05.2017; opublikowano: 16.08.2017



dr Jan Amos Jelinek: Katedra Pedagogiki Małego Dziecka, Akademia Pedagogiki Specjalnej im. Marii Grzegorzewskiej w Warszawie

*Przywróćcie prawo pierwszeństwa takim wartościom jak:
odczuwanie, przeżywanie, tworzenie,
rozumienie, uspołecznienie, miłość i życie.*

Celestyn Freinet

Wprowadzenie

Ewaluacja programów nauczania wyznacza ich skuteczność oraz wskazuje ich niedoskonałości. To właśnie ich analiza pozwala specjalistom ulepszyć proces kształcenia z różnych dziedzin nauki. Także w ramach nauczania edukacji przyrodniczej, chcąc wyznaczać dobre zasady jej nauczania trzeba jasno widzieć aktualne niedoskonałości. Celem artykułu jest przedstawienie niedoskonałości w realizacji treści z zakresu edukacji przyrodniczej, a także przedstawić niektóre rozwiązania dydaktyczne. Autor pragnie zwrócić uwagę na kilka obszarów, które wymagają zmian w sposobie myślenia zarówno nauczycieli, organów prowadzących placówki edukacyjne oraz rodziców jako współorganizatorów procesu uczenia się dzieci oraz całego środowiska lokalnego – odpowiedzialnego za otoczenie przyrodnicze, które mają poznać dzieci.

Niedoskonałości procesu nauczania, które będą tu zaprezentowane, nie są nowe. Z historii nauczania laboratoryjnego wynika, że mamy z nimi do czynienia już od niemal 100 lat. Stawiński przeprowadzając badania

na poziomie edukacji licealnej (Stawiński 1980) zwrócił uwagę na następujące obszary tychże błędów:

- pomijanej konieczności organizowania przez nauczycieli warsztatu przyrodniczego – ten problem wydaje się istnieć od kiedy powstała idea nauczania poglądowego;
- nieodpowiednich celów rzeczywiście realizowanych w trakcie organizowania zajęć z zakresu przyrody;
- niedostosowywania metod i treści z zakresu edukacji przyrodniczej do możliwości poznawczych uczniów.

Wskazane przez Stawińskiego obszary błędów można dostrzec także w nauczaniu początkowym i wychowaniu przedszkolnym. W artykule przytoczę wyniki badań, które potwierdzają wprost istnienie problemu lub badania, które wydają się wskazywać na efekt tych „niedoskonałości”. Do badań pierwszego typu zaliczam Raport Ośrodka Działań Ekologicznych „Źródła” i badania własne dotyczące stanu ogrodów i kącików przyrodniczych w Warszawskich przedszkolach. Badania te przeprowadzono na terenie przedszkola lub w klasach I-III. Do badań drugiego typu zaliczam badania, które były prowadzone wśród starszej młodzieży – badania IBE (klasy IV-VI) oraz badania PISA (młodzież w wieku 15 lat). Niestety liczba badań charakteryzująca jakość wprowadzania dzieci w świat przyrody jest niewielka, szczególnie gdy mowa jest o wychowaniu przedszkolnym i edukacji wczesnoszkolnej.

Dlaczego temat poruszany w artykule jest istotny? Niewłaściwe, niedoskonałe realizowanie zagadnień związanych z nauczaniem przyrody jest bardzo brzemienne w skutkach ponieważ warunkują one proces uczenia się, nabywania przez dzieci podstawowych informacji o świecie. Bez poprawnego realizowania procesu edukacji przyrodniczej już na początku ścieżki edukacyjnej dzieci nie będą w stanie zbudować solid-

nych podstaw do przyjmowania wyjaśnień naukowych, które mają z zadanie zdobyć w toku nauczania. Element ten będzie uwypuklony na końcu wywodu.

Werbalizm a pogładowość

W nauczaniu przyrody na etapie edukacji przedszkolnej i wczesnoszkolnej dominuje werbalizm, a więc sposób przekazywania wiedzy za pomocą słów. Rozmowy, pogadanki, opowiadania, opisy i objaśnienia są najczęściej stosowanymi metodami przez nauczycieli. W efekcie powstaje wiedza pozbawiona ładunku emocjonalnego. Wiedza kształtowana w ten sposób bardzo przypomina wiedzę encyklopedyczną i faktograficzną. Uczniowie wiedzą dużo i potrafią wyjaśnić typowe zjawiska, jednakże taka wiedza w sytuacjach zadaniowych okazuje się bezużyteczna. Ponieważ, gdy stają przed nowymi sytuacjami problemowymi, ich nieuporządkowana wiedza okazuje się mało przydatna.

Na problem dominacji werbalizmu zwracali uwagę już historycy edukacji. Szczególnie silnym głosem przemawiali propagatorzy laboratoryjnego nauczania – Bohdan Dyakowski, Maksymilian Heilpern, czy Ludwik Jaxa-Bykowski (Stawiński 1980). Dzisiaj potwierdzenie tych wskazówek znajdujemy w wynikach badań i to zarówno tych dotyczących wypowiedzi nauczycieli, jak i organizowanej przez nauczycieli przestrzeni edukacyjnej (np. kącików przyrodniczych). Jak badania krajowe (IBE 2013), tak i międzynarodowe (PISA 2012) wskazują na dominację pozornie pogładowego sposobu nauczania i w oczach autora są dowodem na to, że we wcześniejszych etapach edukacyjnych (prawdopodobnie już w klasach I-III i przedszkolu) ta forma prowadzenia zajęć dominowała. Badania te wykazują na niski poziom umiejętności myślenia uczniów.

A oto wyniki badań potwierdzających powyższe ustalenia, a dotyczące nauczania na etapie edu-

cji wczesnoszkolnej. Badanie polegające na ustaleniu najczęściej stosowanych metod nauczania w edukacji ekologicznej przeprowadził Ośrodek Działań Ekologicznych „Źródła” (2011). Droga wywiadu wśród 986 nauczycieli z całej Polski pracujących na różnych szczeblach edukacji ustalono, że najczęściej wykorzystywane przez nauczycieli przedszkoli podczas realizacji treści edukacji ekologicznej są metoda pogadanki i wykładu. Dzieje się tak mimo świadomości nauczycieli, że metody te są mało atrakcyjne dla uczniów i mało skuteczne. Natomiast metodę ćwiczeń laboratoryjnych, choć jest ona – także w świadomości nauczycieli – nie tylko skuteczną, ale i atrakcyjną metodą edukacyjną dla uczniów, niestety pozostaje metodą rzadko wykorzystywaną (jej stosowanie deklaruje 19% nauczycieli).

Badania polegające na ustaleniu sposobu wykorzystywania w praktyce kącików przyrodniczych przeprowadzone zostały przez studentów wychowania przedszkolnego (Jelinek 2014b). Wykazały one, że nauczyciele biorący udział w badaniu, w celu zapoznawania dzieci z pięknem przyrody, preferują stosowanie ilustracji i opisów słownych. Badania te przeprowadzono w 19 warszawskich przedszkolach. Przedmiotem badań były kąciki przyrodnicze, które (choć nieobowiązkowe) pozwalają organizować przestrzeń dla gromadzenia eksponatów przyrodniczych i są miejscem do ich polisensorycznego poznawania oraz do prowadzenia doświadczeń i eksperymentów. W tak dużym mieście jakim jest Warszawa (gdzie zdawać by się mogło, że dzieci, jak nigdzie indziej, potrzebują kontaktów z przyrodą), kąciki powinny być organizowane. Niemniej jednak okazało się, że tylko niewielkim w stopniu zawierają materiał przyrodniczy (z badań wynika, że posiada je tylko 19% badanych kącików). Stwierdzono, że nauczyciele realizując treści edukacji przyrodniczej okazy gromadzą w ograniczonym stopniu. Natomiast podczas omawiania zagadnień przyrodniczych korzy-

stają z pośrednich form zapoznawania dzieci z przyrodą – wybierając ilustracje w książkach i plakaty. Mimo tego, że przedstawione badania miały charakter pilotażu i są w tej chwili rozszerzane na większą grupę badanych placówek to zdają się wskazywać na istnienie zjawiska pozornej pogładowości już wśród nauczycieli przedszkola.

Dzieci, które uczone są w sposób werbalny, bez dostępu do okazów przyrodniczych, mogą mieć bogatą wiedzę przyrodniczą, ale pozbawione możliwości przeprowadzania doświadczeń i eksperymentów nie będą potrafiły swojej wiedzy wykorzystać w sytuacjach problemowych. Efekt tego zjawiska potwierdzają wyniki badań PISA (Programme for International Student Assessment – Międzynarodowa Ocena Umiejętności Uczniów) przeprowadzone w 2009 roku wśród gimnazjalistów, które wykazały, że ponad 60% polskich uczniów nie wykonywało na lekcjach doświadczeń w laboratoriach, a 52% stwierdziło, że nie wymagano od nich zaplanowania w jaki sposób dane zagadnienie można zbadać w laboratorium. Ponowne badania PISA (przeprowadzone w 2011 roku), w których po raz pierwszy uwzględniono zagadnienia przyrodnicze, wykazały, że uczniowie lepiej posługują się wiedzą niż umiejętnościami rozumowania. Wyniki te potwierdzają, że realizując edukację przyrodniczą nie zachęca się uczniów do samodzielnego myślenia, do którego dochodzi podczas procesu eksperymentowania. Sugerują również, że zajęcia zdominowane są przez pośredniki – słowo i ilustracje.

Obecny sposób uprawiania edukacji przyrodniczej jest elementem negatywnego zjawiska jakim jest *papierowa pedagogika*. W kontekście edukacji matematycznej została ona opisana przez Edytę Gruszczyk-Kolczyńską (Gazeta Wyborcza: 13 marca 2015 r.). Zamiast prowadzenia eksperymentów proponowanych w podręczniku łatwiej i szybciej jest dokonać opisu treści ilustracji. Nic

zatem dziwnego, że efektem tego typu oddziaływania jest bogata wiedza uczniów i jednocześnie niski poziom umiejętności rozumowania (PISA 2012).

O przyczynę faktograficznego sposobu nauczania przyrody w szkołach zapytano nauczycieli klas IV-VI w przeprowadzonych w 2010 roku badaniach Instytutu Badań Edukacyjnych (IBE 2013). Respondenci za jego przyczynę uznają: zbyt małą liczbę godzin lekcyjnych, niedoposażenie pracowni, nieelastyczność rozkładu zajęć, zbyt liczne grupy (brak możliwości podziału klasy na grupy). Jednym słowem, nauczyciele odczuwają niedostatek tego wszystkiego, co jest potrzebne do nauczania laboratoryjnego utrzymując, że jednymi z ważniejszych trudności, jakie leżą u podstaw tak zorganizowanego nauczania, są problemy z zapanowaniem nad klasą, zapewnieniem uczniom sprzętu i odczynników do doświadczeń oraz utrudnienia w organizowaniu wyjść terenowych.

Na podstawie przytoczonych dotychczas badań wynika, że na etapie wychowania przedszkolnego i edukacji wczesnoszkolnej dominuje stosowanie metod słownych i korzystanie z ilustracji. Wydaje się, że dzieci rzadko wychodzą na łono natury by wielozmysłowo poznawać przyrodę. Nie organizuje się posiłków ugotowanych nad ogniskiem czy leżakowania na świeżym powietrzu na łące na kocach. Dzieci przedszkolne i uczniowie pierwszych klas szkoły podstawowej w przeważającej większości poznają świat zza okna klasy, na ilustracjach w podręczniku oraz z opowieści nauczycieli.

Richard Louv w książce „Ostatnie dziecko lasu” (Louv 2014) pokazuje, co może być efektem, jeśli tego typu sytuacja (taka postawa osób organizujących proces edukacji) się nie zmieni. Opisywane przez niego przypadki zachowań dzieci wskazują, że symptomem braku kontaktu z przyrodą jest między innymi zmniejszone użycie zmysłów oraz niedobór uwagi. W związku z czym wprowadza on hipotezę, zgodnie z którą zakła-

da, że nie ma zespołu ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder – zespół nadruchowości psychoruchowej z deficytem uwagi). Zamiast niego dzieci cierpią na brak kontaktu z przyrodą, co nazywa Zespołem Deficytu Natury (Nature Deficit Disorder – NDD). W efekcie ograniczonego czerpania wiedzy zmysłami osłabia się umiejętność koncentracji uwagi. Według Louv antidotum na NDD jest „zanurzenie się w przyrodzie”. Twierdzi, że tego typu podejście do realizacji edukacji przyrodniczej poprzez pogłębianie kontaktu z przyrodą już na etapie przedszkola, usprawni kształtowanie umiejętności rozumowania dzieci.

Powrót do natury (orientacja w przyrodzie)

Niemniej istotną jest także wiedza samych nauczycieli. Chcąc wprowadzać w ten sposób dzieci w świat przyrody nauczyciele muszą dobrze znać choćby nazwy okazów przyrodniczych znajdujących się w najbliższym otoczeniu. Dla sprawdzenia stopnia wykazywania się tą umiejętnością, przeprowadzono badania wśród przyszłych nauczycieli – 70 studentów II roku studiów magisterskich kierunku „wychowanie przedszkolne i edukacja wczesnoszkolna” (Jelinek 2014a). W badaniach wykorzystano komputerowy test przyrodoznawczy. Badani na podstawie zdjęcia musieli wskazać właściwą nazwę zwierząt i roślin. Do badań wybrano te okazy przyrodnicze, które najczęściej pojawiają się w podręcznikach i zeszytach ćwiczeń dla dzieci. Trzeba dodać, że zanim przeprowadzono badania, studenci otrzymali listę z nazwami okazów, które będą musieli rozpoznać na zdjęciach. Dodatkowo, dla zaliczenia testu wystarczyło poprawnie odpowiedzieć na 80% pytań (badani mogli popełnić 20% błędów). Mimo tak przygotowanych pomocy naukowych i procedury badawczej okazało się, że z 70 studentów bezbłędnie test wykonało tylko 6 osób (9%). Wynik zadowalający (powyżej

80%) uzyskało 26 osób (37%). 13 osób (19%) zaliczyło test za drugim podejściem, a 25 (36%) do zaliczenia testu potrzebowało więcej niż dwa podejścia. Wśród badanych osób były i takie, które na 20 pytań udzieliły jedynie 4 poprawne odpowiedzi. Uzyskane wyniki budzą ogromny niepokój, zwłaszcza jeśli się weźmie pod uwagę, że osoby te za rok, w roli nauczyciela będą informować dzieci przedszkolne i szkolne o tym, jak nazywają się obserwowane zwierzęta czy rośliny. Z tego powodu przeprowadzono analogiczne badania w czasie egzaminu na specjalność „wychowanie przedszkolne z edukacją wczesnoszkolną” wśród studentów pierwszego roku. Wyniki były jeszcze niższe. Badania te wykazały, że wiedza zdobywana w gimnazjum i liceum jest już tak szczegółowa i jednocześnie szeroka, że maturzyści są w stanie omówić budowę zewnętrzną i wewnętrzną okazów przyrodniczych choć nie są w stanie podać ich ogólnej nazwy. Wniosek ten wskazuje, że studenci kierunków pedagogicznych muszą we własnym zakresie uczyć się nazw okazów.

Oprócz znajomości okazów przyrodniczych nauczyciel powinien mieć także orientację w zakresie przyczyn powstawania zjawisk w przyrodzie. Ocenę tych umiejętności ustalono za pomocą innego badania. Tym razem przeprowadzono je wśród 50 studentów ostatniego roku studiów magisterskich na specjalności „wychowanie przedszkolne z edukacją wczesnoszkolną”. Efekt: 37 osób (74%) proszonych o wyjaśnienie przyczyny powstawania pór roku nie potrafiło podać wystarczającej odpowiedzi¹. Na pytanie „dlaczego Księżyc raz oświetlony jest w całości, a raz świeci jak <rogalik>”, tylko 13 osób (26 %) podało poprawne wyjaśnienie tego zjawiska. Natomiast poproszeni o narysowanie trajek-

1 Wśród prób wyjaśnień znalazły się np.: „pory roku zależą od odległości Słońca od Ziemi – gdy Ziemia jest najbliżej Słońca wtedy mamy lato, a gdy najdalej – zimą” (przy czym jest dokładnie na odwrót – gdy na półkuli północnej panuje zima, planeta w tym czasie znajduje się najbliżej Słońca).

torii „ruchu” Słońca na niebie letnim i zimowym wśród uzyskanych 28 odpowiedzi (56 %); prawidłowy schemat zjawiska przedstawiło tylko 15 osób (30%). 22 osoby (44 %) nie udzieliły żadnej odpowiedzi. Uzyskane wyniki badań prowadzą do refleksji nad koniecznością dalszego samokształcenia nauczycieli (także jakością kształcenia na poziomie średnim) i do konieczności praktycznego orientowania się w zjawiskach przyrodniczych i otaczającym nas świecie.

Badania przeprowadzone w warszawskich przedszkolach wykazują, że nauczyciele prawie w ogóle nie prezentują doświadczeń z pewnych dziedzin fizyki. Być może w wyniku niskiej wśród nauczycieli wiedzy w tym zakresie prawie nie realizują doświadczeń związanych z powietrzem, światłem, elektrycznością, czy dźwiękiem (Jelinek 2014b). W zakresie uprawy roślin, która została jasno określona w podstawie programowej² (dzieci znają warunki, jakie potrzebują rośliny do wzrostu) okazało się, że na 24 sale przedszkolne (w 19 przedszkolach) uprawy prowadzono tylko w 3 salach. W tak organizowanej edukacji przyrodniczej nie sposób spełnić na przykład warunku kształtowania postawy proekologicznej wśród dzieci, jeśli te nie będą się zajmować roślinami. Kolejny przykład, kształtując postawę opiekuńczości w omawianym zakresie, czynności dzieci w przedszkolu ogranicza się zaledwie do podlewania roślin. Do rzadkości należą sytuacje, w których nauczyciele zwracają uwagę na choroby, szkodniki, konieczność przesadzania, nawożenia, zmiany miejsca położenia, osłaniania przed zimnem itp. Co do opieki nad zwierzętami, sytuacja w przedszkolach jest jeszcze bardziej skomplikowana. Tu, z obawy przed alergiami, do rezygnacji z hodowli dążą także sami rodzice.

2 Dziennik Ustaw poz. 803. Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół. Załącznik 1 i 2.

W rezultacie dochodzi do rezygnowania z prowadzenia jakiegokolwiek hodowli lub ograniczenie się do hodowli niealergizujących – hodowli ryb, patyczaków albo żółwi.

Przedstawione dotychczas wyniki badań wskazują na nierespektowanie istotnej zasady dydaktycznej – zasady pogładowości – lub pokazują jej pozorną postać. Również analiza proponowanego przez Ministerstwo Edukacji Narodowej „Naszego elementarza”, zamiast prowadzenia doświadczeń i eksperymentów, sugeruje korzystanie z papierowych materiałów³. Po raz kolejny efektem tego typu działania będzie bogata wiedza uczniów przy jednocześnie niskim poziomie umiejętności rozumowania. Obecny sposób uprawiania edukacji przyrodniczej jest elementem negatywnego zjawiska – *papierowej pedagogiki*⁴. W kontekście edukacji matematycznej została ona opisana przez Edytę Gruszczyk-Kolczyńską (Gazeta Wyborcza: 13 marca 2015 r.). Zamiast prowadzenia eksperymentów proponowanych w podręczniku łatwiej i szybciej jest dokonać opisu treści ilustracji. Autor rozdziału twierdzi, że pokłosie tego typu oddziaływania widać w bogatej wiedzy uczniów i jednocześnie niskim poziomie umiejętności rozumowania (por. PISA 2012).

3 Wyjątki dotyczą przykładów doświadczeń z zamrażaniem wody na mrozie, czy działaniem ciepła na wodę (rozmrężania) – pierwsza część elementarza. Jednak są również miejsca w elementarzu, na których przedstawione zostały wyniki eksperymentów (np. doświadczenie z elektrostatyką, gdzie do balonu przyczepione są kawałki papieru).

4 Przykładem często wspominanym, a który dobrze obrazuje realizację *papierowej przyrody* jest sytuacja w której nauczyciel realizując pakiet edukacyjny natrafia na nowy dział i związaną z nim nową porę roku. Dzieci zaczynają uczyć się o zimie, oglądają śnieg przedstawiony na ilustracjach, słuchają opowiadań w który narrator zachęca by dzieci spojrzwały za okno by dostrzec biały puch choć za oknem jest jeszcze dodatnia temperatura i nie ma śniegu.

Dziecko badaczem czy słuchaczem wykładów?

Sięgnijmy do celów edukacji przyrodniczej by sprawdzić czego wymaga się od nauczycieli wychowania przedszkolnego pod względem kształtowania umiejętności rozumowania. Według podstawy programowej (Dz. U. 2014, poz. 803, zał. 2) celem edukacji przyrodniczej jest:

Wspomaganie dzieci w rozwijaniu uzdolnień oraz kształtowanie czynności intelektualnych potrzebnych im w codziennych sytuacjach i w dalszej edukacji; (...) Budowanie dziecięcej wiedzy o świecie społecznym, przyrodniczym i technicznym oraz rozwijanie umiejętności prezentowania swoich przemyśleń w sposób zrozumiały dla innych; (...) Zapewnienie dzieciom lepszych szans edukacyjnych poprzez wspieranie ich ciekawości, aktywności i samodzielności, a także kształtowanie tych wiadomości i umiejętności, które są ważne w edukacji szkolnej.

Cele zapisane w podstawie programowej nakazują kształtowanie m.in. postawy badacza. Autorzy publikacji metodycznych dotyczących edukacji przyrodniczej (Elbanowska 1983, Frątczak i Frątczak 1993, Arnt 1988,) wskazują, że kształtuje się ją poprzez:

- organizowanie sytuacji dogodnych do prowadzenia obserwacji zjawisk w naturalnym otoczeniu, wspólnym wyciąganiu wniosków z obserwacji,
- generowanie sytuacji problemowych, w których uczniowie wspólnie mają szukać możliwości rozwiązania,
- organizowanie eksperymentów: ustalanie hipotez (co się zdarzyć może), przeprowadzanie doświadczeń, ustalaniu co się stało, określanie ich przyczyny i wyciąganie wniosków.

Tymczasem zarówno badania Ośrodka Działań Ekologicznych „Źródła” (2011), jak i badania własne autora (Jelinek 2014a, 2014b) wskazują, że metody naukowe są w przedszkolu i szkole stosowane w bardzo ograniczony sposób. Z jednej strony tematyka podejmowanych

eksperymentów jest wybiórcza, a z drugiej często pomijany jest w ich przeprowadzaniu udział dzieci. Dzieci w większości nie mają okazji przeprowadzać samodzielnie doświadczeń. Dominacja metod werbalnych w przedszkolach i szkołach oraz rozpowszechnione pakiety edukacyjne sugerują, że nauczyciele realizują odmienne cele edukacji przyrodniczej niż jest to zapisane w podstawie programowej. Stosowane przez nauczyciela opisy piękna przyrody mają raczej kształtować cele polonistyczne, a zbierane kasztany czy fasolki kształtować umiejętności rachunkowe dzieci.

Dziecko, które słucha opowieści o przyrodzie i ogląda ilustracje na jej temat, nie poznaje jej w sposób wielozmysłowy. Pisał o tym już autor *Wielkiej Dydaktyki* – Jan Amos Komeński (Komeński 1964). Nauczyciele przekazując informacje w sposób werbalny kurczowo trzymają się encyklopedyzmu. Tymczasem etap edukacji przedszkolnej ma służyć rozwojowi naturalnych narzędzi poznawczych oraz stanowić ten moment w życiu dziecka, w którym zachłynie się ono przyrodą. Stefania Elbanowska – autorka publikacji metodycznych z zakresu edukacji przyrodniczej – wskazuje, że jej „celem zasadniczym nie jest całościowe zdobywanie wiedzy o świecie lecz rozbudzenie zainteresowań dziecka, w szczególności jego zdolności obserwacyjnych i wytworzenie intuicji, a także pokazanie dziecku bogactw, złożoności i tajemniczości otaczającego świata” (Elbanowska 1983: 12).

Organizowanie sytuacji edukacyjnych z punktu widzenia zainteresowań dzieci stanowi nie lada wyzwanie dla każdego nauczyciela. Musi on zwrócić uwagę na to czym dzieci są w danej chwili zainteresowane i wychodząc im na przeciw dostarczać odpowiedniego materiału poznawczego. Z drugiej zaś strony musi mieć na uwadze także zmiany, jakie zachodzą w przyrodzie i umieć je dzieciom zaprezentować w taki sposób, aby zechciały je głębiej poznać.

Budowanie postawy badawczej wymaga też organizowania doświadczeń i eksperymentów, w których coraz aktywniej będą uczestniczyć właśnie dzieci. Celem tego działania nie jest tylko budowanie wiedzy o otaczającym świecie (to tylko cel pośredni), ale dostarczanie dzieciom narzędzi do samodzielnego poznawania otoczenia – narzędzi, za pomocą których będą samodzielnie mogły ustalać co jest prawdą. Tego typu narzędziami są naukowe metody badawcze, wśród których w przedszkolu z powodzeniem można stosować obserwację, eksperyment i pomiar. Prowadząc zajęcia z edukacji przyrodniczej nauczyciel musi organizować w taki sposób zajęcia, wybierać takie metody i formy zajęć, aby możliwie najpełniej dostosowywać je do potrzeb i możliwości uczniów.

Tymczasem, jak wskazują badania Instytutu Badań Edukacyjnych (IBE 2013) dotyczące oceny efektywności nauczania przedmiotów przyrodniczych w klasach IV-VI, nauczyciele szkoły (respondenci) winą za niski poziom nauczania obarczają uczniów. Tłumacząc, że większość uczniów:

czasami nie opanowała na wcześniejszych etapach edukacji podstaw niezbędnych do stosowania bardziej zaawansowanych metod pracy, takich jak nauczanie problemowe, samodzielne przeprowadzanie i analizowanie wyników eksperymentu itp. W połączeniu z ograniczeniami czasowymi sprawiło to, że praca z takimi uczniami sprowadzała się do realizowania jedynie minimalnych wymagań programowych (IBE 2013, 41-42).

Kształtowanie postawy badawczej dobrze opisują autorzy książki „Przyroda przeżywana i obserwowana...”. Podkreślają oni, że „na zajęciach z zakresu przyrody należy zmierzać do tego, aby przez czynności poznawcze, przekształcać myślenie dziecka z konkretnego w abstrakcyjne, przechodzić przez fazę definiowania zjawisk do wniosków i uogólnień” (Arndt 1988: 26). Rolą nauczyciela jest generowanie sytuacji

problemowych, w których to dzieci mają przejąć inicjatywę, pomóc w kierowaniu uwagą i w wyciąganiu wniosków z przeprowadzonych doświadczeń. Efektem tych zabiegów ma być budowanie przez dzieci wyjaśnień na wzór naukowych co zapewni im lepsze szanse edukacyjne (i pomoże zrealizować jedno z zaleceń podstawy programowej).

Dziecięce przekonania a teorie naukowe

Już Jean Piaget (Piaget 1996) wskazywał, że rozumowanie dzieci w wieku przedszkolnym opisują takie cechy jak: animizm (przeświadczenie, że wszystko jest żywe i świadome), artyficzalizm (wszystko zostało stworzone przez człowieka), myślenie magiczne (dziecko ma wpływ na ruch innych obiektów) itp. Chociaż badania Margaret Donaldson (Donaldson 1986: 73-74) wskazują, że opisywane przez Piageta cechy umysłu nie są aż tak powszechne to jednak nie powinny być one tolerowane na późniejszych etapach rozwoju, ponieważ mogą utrudniać nabywanie naukowych pojęć i teorii (Por. Szuman 1939: 372-373). Z tego względu nauczyciel jest zobowiązany do nieustannego sprawdzania sposobu rozumowania dzieci, oceny poprawności ich przekonań, ustalania różnic między przekonaniem dzieci a naukowymi wyjaśnieniami oraz umiejętnego organizowania takich sytuacji, w których uczniowie zgromadzą odpowiednie doświadczenia, które pozwolą im przyjąć naukowy punkt widzenia. Trzeba tu dodać, że jest to rzadko przytaczany cel edukacji przyrodniczej.

Jak wskazują współczesne badania, dzieci zaczynają tworzyć wyjaśnienia otaczającej rzeczywistości bardzo wcześnie (Lew Wygotski (1971) pisze już o przedpojęciowym stadium rozwoju). A ponieważ ich wstępna wiedza jest uboga, pierwsze przekonania są mylne lub niedoskonałe. Mimo wszystko tworzone przez dzieci przekonania (wyjaśnienia otaczającej rze-

czywistości) w procesie nabywania nowych informacji ulegają zmianie. Zgodnie z teorią Piageta dzieci asymilują nowe informacje tworząc bogatszą strukturę poznawczą, lub modyfikują ją tak, aby pasowały do niej nowo zdobyte informacje. Wszystko po to, aby umysł dziecka mógł nazwać elementy z otoczenia, „ogarnąć je umysłem”, zrozumieć (i wyjaśnić), a ostatecznie poczuć się bezpiecznie w otoczeniu. Piaget nazywa ten proces równoważeniem struktur poznawczych (Piaget 1996).

A zatem w procesie uczenia się nie sposób uniknąć błędnych przekonań lub wyobrażeń. Jak wskazuje badacz (Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou i Papademetriou 2001: 381-419), naukowe wyjaśnienia zjawisk fizycznych często naruszają fundamentalne zasady fizyki intuicyjnej. Dla przykładu, aby dzieci przyjęły kulisty obraz kształtu Ziemi, muszą zrezygnować z tego co widzą na co dzień – z linii horyzontu jako wyznacznika kształtu Ziemi.

Przekonania dziecięce różnią się na te, które łatwo ulegają zmianie i takie, których zmiana wymaga wielu zabiegów pedagogicznych. Różnice w podatności na zmianę zależą – zdaniem Stelli Vosniadou – od miejsca, jakie zajmuje przekonanie w strukturze poznawczej. Jeśli przekonanie stanowi element większej całości teoretycznej, wówczas trudno je zmienić. Autorka badając przekonania dzieci (używa określenia: *modele umysłowe*) dotyczące zjawisk astronomicznych stwierdziła, że takie pojęcia jak np. kształt ziemi jest trudnym do zmiany rodzajem przekonania (Vosniadou i Brewer 1992: 535-585).

Oprócz przyczyn związanych z niedojrzałym myśleniem dziecka (np. traktowanie linii horyzontu jako wyznacznika kształtu całej planety) wśród przyczyn powstawania błędnych przekonań wymienia się także: media (szczęśliwie informacji), rówieśników (błędne przekonania), podręczniki (błędne dane) oraz nauczyciela (Blosser 1987, Cho, Kahle, Nordland 1985, Osborne

i Cosgrove 1983: 825-838). W przypadku nauczyciela przyczyną powstawania błędnych przekonań jest nadmierne stosowanie uproszczeń, błędnie dobrane analogie, nieaktualna wiedza i błędne przekonania. Szczególnie te ostatnie okazują się być najbardziej niepokojące, ponieważ wynikają z niewiedzy nauczyciela (ich obecność wśród kandydatów na nauczycieli potwierdzają przeprowadzone badania (Jelinek 2014a).

Jeśli nauczyciele pytają uczniów o przekonania (lub wyobrażenia) to najczęściej podejmują rozmowy z tymi uczniami, których wypowiedzi są najbardziej zbliżone do naukowych twierdzeń. Pozostali uczniowie nie mają okazji zweryfikować swoich poglądów. Mogą tylko wysłuchiwać wyjaśnień nauczyciela, który szerzej opisuje zjawisko opowiedziane przez innego ucznia. Tymczasem pozostali uczniowie, aby przyjąć naukowy punkt widzenia, nowy sposób wyjaśniania zjawiska, muszą dostrzec różnice między własnymi poglądami (które często nie są uświadomione) a twierdzeniami nauczyciela. Proces przyjmowania nowego stanowiska wymaga zatem organizowania takich sytuacji, w których uczniowie będą mogli opisywać swoje przekonania (uzewnętrzniać je za pomocą słów). W praktyce wymaga to czasu i bogatej wiedzy nauczyciela o danym zjawisku i przyrodzie.

Podsumowanie

Chociaż jakość wiedzy przyszłych nauczycieli pozostawia wiele do życzenia to jednak istotne są również inne ich umiejętności; np. umiejętność organizowania takich doświadczeń i eksperymentów, na podstawie których dzieci będą w stanie zmieniać swoje przekonania. Tu jednak badania dostarczają kolejnych podstaw do niepokoju: nauczyciele przeprowadzając podczas zajęć doświadczenia odwzorowują tylko eksperyment modelowy (zazwyczaj ten, który przedstawiany jest

w książkach popularnonaukowych typu „100 eksperymentów o...”). Nauczyciele tych eksperymentów nie zgłębiają, nie kontynuują ich zmieniając np. czynniki i obserwując zachodzące zmiany czym inspirowaliby dzieci do dalszych własnych badań i przemyśleń. Przyczyną tego stanu jest zapewne ograniczony czas zajęć, trudności ze skupieniem uwagi dzieci itp. (zagadnienie to zostało przedstawione wcześniej). Tymczasem nauczyciel realizując tylko jeden eksperyment wyjaśniający omawiane zjawisko – mówiąc obrazowo – wylania niewielką wyspę z oceanu „niewiedzy”. Jeśli nauczyciel nie zasugeruje dalszych kierunków myślowych, nie poda wyjaśnień pomocniczych, nie przeprowadzi dodatkowych doświadczeń, to w umyśle dziecka ta wyspa będzie istnieć – znów mówiąc obrazowo – jako kontynent. Dzieci będą przyjmować przedstawiane na zajęciach eksperymenty jako stan faktyczny („tak już jest”) – bezrefleksyjnie. Fragmentaryczne przedstawianie rzeczywistości za pomocą krótkich pokazów przypomina show, którego dziecko jest jedynie adresatem i biernym obserwatorem.

Na podstawie przytoczonych badań autor starał się zaznaczyć istnienie problemu. Na ich podstawie wyłonił następujące „niedoskonałości”: prowadzenie oderwanych od siebie pojedynczych doświadczeń i eksperymentów, realizowanie *papierowej pedagogiki przyrody* (zapatrzenie w pakiety edukacyjne) i niezwracanie uwagi na przekonania dziecięce to największe grzechy edukacji przyrodniczej. Przeczą one sposobom uczenia się dzieci w oraz założeniom nauczania laboratoryjnego (w tym kształtowaniu postawy badacza). Prowadzenie zajęć z przyrody w ten sposób nie prowadzi do budowania naukowego poglądu na temat otoczenia, a w wielu sytuacjach może być przyczyną powstawania kolejnych błędnych przekonań i, co za tym idzie, nie wspomaga poczucia bezpieczeństwa dziecka w świecie a wręcz przeciwnie – rodzi wiele nieudomówień, błęd-

nych przekonań i obaw związanych z pojawianiem się nieprzewidywalnych efektów zjawisk.

Budowanie w dziecięcym umyśle naukowego obrazu świata przyrody wymaga odpowiednio zaplanowanych i uporządkowanych działań. Działania, które w chwili obecnej są zniekształcane przez wymienione w artykule „grzechy” edukacji przyrodniczej. Trzeba pamiętać, że do ich zniwelowania muszą być zaangażowani zarówno nauczyciele, rodzice, społeczność lokalna i władze oświatowe. Bez jednolitej zgody otoczenia na prowadzenie edukacji przyrodniczej na łonie natury nie sposób jest wprowadzić dzieci w świat czterech żywiołów, świat fauny i flory.

Celem artykułu było przedstawienie niedoskonałości w realizacji edukacji przyrodniczej. Przytaczając badania autor miał na celu przedstawienie samonapędzającej się spirali „niedoskonałości”, której początek można zobaczyć już na etapie wychowania przedszkolnego i edukacji wczesnoszkolnej. Dzieci przedszkolne i mali uczniowie, którzy nie doświadczają metod problemowych nauczania (np. nie uczestniczą w eksperymentach i doświadczeniach, nie wymaga się od nich stawiania hipotez) oraz metod praktycznych (dzieci nie prowadzą upraw i hodowli) nie potrafią wykorzystać zdobytej w trakcie zajęć wiedzy na temat przyrody. Dzieci te dobrze radzą sobie z typowymi zadaniami, ale gorzej radzą sobie w sytuacjach nowych. Taki efekt przyniosły badania Ośrodka Działań Ekologicznych „Źródła”, badania kącików przyrodniczych (Jelinek 2014b) oraz badania IBE realizowane wśród uczniów klas IV-VI i w oczach autora stanowią dowód rozpoczęcia spirali. Ponieważ jednak liczba zagadnień przyrodniczych, z jakimi mają być zapoznani uczniowie większa się w miarę edukacji, zmniejsza się czas w jakim nauczyciele mogą te zagadnienia dzieciom przedstawić. Z tego względu coraz rzadziej – w starszych klasach – dzieci będą miały okazję zapoznać się ze zjawiskami przyrodniczymi w sposób

bezpośredni. W konsekwencji najlepszą okazję do poznawania okazów przyrodniczych (ptaków, owadów czy roślin) dzieci będą miały w przedszkolu i w pierwszych latach szkolnej edukacji (klasy I-III). Jeśli takich okazji nie będzie wówczas prawdopodobnie dzieci w ogólnie nie będą miały szans poznać ich w przyszłości. Potwierdzają to wyniki PISA wśród 15-latków, którzy wskazali, że nie realizowali oni doświadczeń. W efekcie licealiści, od których wymaga się szczegółowej wiedzy na temat budowy wewnętrznej zwierząt i roślin nie są w stanie nazwać rośliny, którą opisują (Jelinek 2014a). Studenci, którzy trafiają na studia pedagogiczne, na specjalność wychowanie przedszkolne i edukacja wczesnoszkolna” ze względów opisanych wyżej nie mają okazji uzupełnić swojej wiedzy. Dlatego rozpoczynając swoją pracę nie potrafią nazywać zwierząt i roślin w najbliższym otoczeniu. Autor wnioskuje, że ze względu na świadomość niskiej wiedzy przyrodniczej nauczyciele realizują z dziećmi zagadnienia z tego obszaru edukacji w sposób wybiórczy, korzystając przy tym z pakietów edukacyjnych. W ten sposób „spod ich skrzydeł” wychodzi nowe pokolenie dzieci, które nie uczestniczy w doświadczeniach, nie prowadzi hodowli i uczy się przyrody poznając ją zza okna (*papierowa przyroda*). W ten sposób pojawia się spirala, które początek ma miejsce na etapie edukacji przedszkolnej i wczesnoszkolnej.

Na podstawie powyższego można wywnioskować jak duży obowiązek leży na nauczycielach wychowania przedszkolnego i nauczania początkowego. To od nich bowiem zależy to czy spirala „niedoskonałości” zostanie przerwana. Aby tak się stało nauczyciele ci muszą (garstka wniosków dla praktyki) starać się stosować w przeważającej mierze metody bezpośredniego poznawania przez dzieci otoczenia. Tym samym traktować metody werbalne jako uzupełnienie praktycznego działania. Akcent na etapie przedszkola i szkoły powinien być postawiony na zaangażowanie uczniów w prace

ogrodowe, obserwację zwierząt w najbliższym otoczeniu (warto zacząć od owadów, których będzie coraz więcej jeśli w ogrodzie nauczyciel zadba o różnorodność roślin). Obserwacje malutkich zwierząt pozwolą także poznawać cykl życia zwierząt (np. biedronki), a prowadzenie nieinwazyjnych eksperymentów ze zwierzętami (np. dostarczając różnych rodzajów pokarmów można sprawdzić jakie są ich preferencje żywieniowe) można pogłębić swoją wiedzę na temat ich życia⁵. Dokonywać codziennych obserwacji pogodowych oraz rejestrować ich wnioski na wzór naukowy (w tabelach, wykresach). Zagadnienie to jest rzadko poruszane w polskiej literaturze jednak z obserwacji autora wynika, że możliwe do realizacji już wśród starszych przedszkolaków⁶. Doświadczenia dzieci zdobyte podczas systematycznej obserwacji pozwolą także przewidywać zjawiska pogodowe. Obok realizacji zagadnień związanych ze zjawiskami atmosferycznymi niezbędne są także regularne obserwacje astronomiczne przy użyciu np. cyfrowych stacji pogodowych pozwalających obserwować fazy Księżyca, które pozwolą dzieciom samodzielnie ustalić jak wyglądają wszystkie etapy tego zjawiska oraz pozwolą je później przewidywać⁷.

Na podstawie powyższego autor zaznacza, że realizacja celów edukacji przyrodniczej musi być zawsze realizowana refleksyjnie przez każdego nauczyciela na każdym etapie edukacyjnym. Musi mieć on świadomość realnych możliwości i ograniczeń poznawczych

5 Więcej na temat przykładowych eksperymentów i doświadczeń zostały opisane w: Jelinek J.A., *Edukacja przyrodnicza starszych przedszkolaków w domu i w przedszkolu*, w: „Starsze przedszkolaki. Jak skutecznie je wychować i kształcić w przedszkolu i w domu”, red. E. Gruszczyk-Kolczyńska, Kraków, 2014, s. 276-305.

6 Więcej: Jelinek J.A., *Kącik pogody a kształtowanie postawy badacza*, w: „Świetlica w Szkole”, 5/2016, s. 8-9.

7 Więcej: Jelinek J.A., *Konstruowanie reprezentacji astronomicznych u dzieci. Wnioski dla praktyki pedagogicznej*, w: „Ruch Pedagogiczny” 1/2016, s. 73-81.

dzieci. Nie powinien się kurczowo trzymać pakietu edukacyjnego, ale raczej swoją postawą pokazywać dzieciom swoje zainteresowanie otaczającą przyrodą. Dbać o właściwy stosunek dzieci do okazów przyrodniczych oraz razem z nimi odkrywać otaczający świat poprzez kształtowanie w nich postawy małego badacza. Uaktywnienie dzieci na wczesnym etapie edukacji daje szansę dzieciom, że na późniejszych etapach nauki szkolnej będą gromadziły wiedzę chętnie i z zapałem.

Literatura

- Arndt M., *Przyroda przeżywana i obserwowana z dziećmi przedszkolnymi*, Warszawa 1988.
- Blosser P., *Secondary School Students' Comprehension Of Science Concepts: Some Findings From Misconceptions Research*. w: "SMEAC Science Education Digest" No. 2. 1987. Dokument ERIC nr ED. 286 757
- Cho H., Kahle J., Nordland F., *An Investigation of High School Biology Textbooks As Sources Of Misconceptions and Difficulties In Genetics and Some Suggestions For Teaching Genetics*. W: "Science Education" nr 69, 1985, s. 707-719.
- Donaldson M., *Myślenie dzieci*, Warszawa 1986.
- Dziennik Ustaw poz. 803. Rozporządzenie Ministra Edukacji Narodowej z dnia 30 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego w poszczególnych typach szkół. Załącznik 1 i 2.
- Elbanowska S., *Przyroda nieożywiona w wychowaniu przedszkolnym*, Warszawa, 1983.
- Frątczak E., Frątczak J., *Edukacja ekologiczna uczniów klas I-III*, Warszawa, 1993.
- Gruszczyk-Kolczyńska E., *Jak nie uczyć matematyki*, Gazeta Wyborcza, 13.3.2015.
- IBE – Instytut Badań Edukacyjnych, *Laboratorium myślenia – diagnoza nauczania przedmiotów przyrodniczych w Polsce*, <<http://eduentuzjasci.pl/zadania/110-badanie/409-laboratorium-myslenia-diagnoza-nauczania-przedmiotow-przyrodniczych-w-polsce.html>>, 27.3.2015.
- Jak nie uczyć matematyki*, w: „Gazeta Wyborcza”: 13.3.2015.
- Jelinek J., *Jakość nauczania przyrody. Wiedza przyrodnicza studentów jako wyznacznik jakości kształcenia w przedszkolu i edukacji wczesnoszkolnej*, „Forum Akademickim” nr 12, 2014, s. 54-56.
- Jelinek J., *Kącki przyrodnicze w warszawskich przedszkolach. Ocza- mi studentów kierunków wychowanie przedszkolne*, „Edukacja Biologiczna i Środowiskowa” nr 4, 2014, s. 49-55.
- Jelinek J.A., *Edukacja przyrodnicza starszych przedszkolaków w domu i w przedszkolu*, w: „Starsze przedszkolaki. Jak skutecznie je wychować i kształcić w przedszkolu i w domu”, red. E. Gruszczyk-Kolczyńska, Kraków 2014, s. 276-305.
- Jelinek J.A., *Kącik pogody a kształtowanie postawy badacza*, w: „Świetlica w Szkole”, 5/2016, s. 8-9.
- Jelinek J.A., *Konstruowanie reprezentacji astronomicznych u dzieci. Wnioski dla praktyki pedagogicznej*, w: „Ruch Pedagogiczny” 1/2016, s. 73-81.
- Komeński J., *Szkola dzieciństwa, czyli o przewidyującym wychowaniu dzieci w pierwszych sześciu latach*, w: „Pisma wybrane”, Wrocław-Warszawa-Kraków 1964.
- Louv R., *Ostatnie dziecko lasu*, Warszawa 2014.
- Osborne R., Cosgrove M., *Students' Conceptions of the Changes of States of Water*. W: „Journal of Research in Science Teaching” nr 20, 1983, s. 825-838.
- Piaget J., *Psychologia dziecka*, Wrocław 1996.
- PISA – Program Międzynarodowej Oceny Umiejętności Uczniów. Wyniki badań 2009 w Polsce. <http://www.ifispan.waw.pl/pliki/1_pisa_2009.pdf>, 7.4.2013.
- PISA – Program Międzynarodowej Oceny Umiejętności Uczniów. Wyniki badań 2012 w Polsce <http://www.ifispan.waw.pl/pliki/wyniki_pisa.pdf>, 1.3.2015.
- Raport Ośrodka Działań Ekologicznych „Źródła”, *Kto ma czas na ekologię. Raport z badania edukacji ekologicznej w edukacji formalnej*. <<http://www.zrodla.org/pdf/raport-ankiety.pdf>>, 20.3.2012.
- Stawiński W., *Pracownia biologiczna w szkole ogólnokształcącej*, Warszawa 1980.
- Szuman S., *Rozwój pytań dziecka. Badania nad rozwojem umysłowości dziecka na tle jego pytań*, Warszawa-Wilno-Lublin 1939.
- Vosniadou S., Brewer W.F., *Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood*. W: „Cognitive Psychology”, nr 24, 1992, s. 535-585.
- Vosniadou S., Ioannides C., Dimitrakopoulou A., Papademetriou E., *Design learning environments to promote conceptual change in science*, w: „Learning and Instruction” nr 11, 2001, s. 381-419.
- Wygotski L., *Wybrane prace psychologiczne*, Warszawa 1971.

The sins of nature education, whose roots go back to pre-school education and teaching in grades I-III

Jan Amos Jelinek

Science education is one of the key areas of school and preschool education. Under the framework, students learn many senses as possible, inter alia, world of fauna, flora and the four elements of nature. As part of the science education children have to become young scientists who are increasingly aware of how conduct research using the experiences and experiments. Shaping ecological, research and passionate conducts teachers must organise adequate educational situations for children. Unfortunately, in spite of the rich history of the laboratory teaching in Poland the science education is still limited by pedagogic sins, of which the review is a subject of the article. The author lists three sins that seem particularly affect children's science education: (1) verbalism and demonstrative sham nature, (2) the student's passive activity, (3) non-modelling of fallacious beliefs of pupils.

Key words: science education, pedagogical sins, kindergarten, school, corners of nature

Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną?

Poradnik

Joanna Lilpop, Maria Zachwatowicz, Łukasz Banasiak,
Marcin Chrzanowski, Piotr Bębas

DOI: 10.24131/3247.170209

Skąd bierze się przyrodnicza wiedza naukowa?

Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną?

Jak przygotować plakat naukowy na Olimpiadę Biologiczną?

Literatura pomocna przy przygotowywaniu pracy badawczej na Olimpiadę Biologiczną

Lista sprawdzająca przed oddaniem plakatu do oceny

Etap recenzji plakatu zgłoszonego do Olimpiady Biologicznej



mgr Joanna Lilpop: Pracownia Dydaktyki Biologii, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski



dr Maria Zachwatowicz: Pracownia Dydaktyki Biologii, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski



dr Łukasz Banasiak: Zakład Filogenetyki Molekularnej i Ewolucji, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski



dr Marcin M. Chrzanowski: Zakład Dydaktyki Przedmiotów Szkolnych, Instytut Badań Edukacyjnych w Warszawie, Pracownia Dydaktyki Biologii, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski



dr hab. Piotr Bębas: Zakład Fizjologii Zwierząt, Instytut Zoologii, Wydział Biologii, Uniwersytet Warszawski

Skąd bierze się przyrodnicza wiedza naukowa?

Nauka jest sposobem poznania świata. Nauka nie jest magią, charakteryzuje się racjonalnym podejściem do rzeczywistości, a wiedza naukowa nie jest niezmienna – twierdzenia są uznawane za prawdziwe dopóty, dopóki nie znajdzie się mocnych dowodów wykazujących odmienny stan rzeczy. Mówimy, że twierdzenia naukowe są **sprawdzalne**, tzn. można poddawać je testowaniu, czyli przynajmniej w teorii istnieje sposób, aby wykazać, że są prawdziwe lub nieprawdziwe. Naukowcy muszą zatem zachowywać sceptyczne podejście do twierdzeń, tzn. wstrzymują swój osąd do momentu, kiedy zbiorą na tyle dużo dowodów i argumentów, aby zakomunikować o prawdziwości lub fałszywości danego twierdzenia. Teza, której nie można sprawdzić, nie jest przedmiotem nauki.

Nie ma jednej „metody naukowej”. Naukowcy używają bardzo różnorodnych **technik i narzędzi**, które pozwalają budować wiedzę i idee o świecie. Prowadzenie badań naukowych wymaga ścisłego i precyzyjnego rozumowania, ale angażuje też dużo kreatywności i wyobraźni. Wiele odkryć było wynikiem spekulacji lub przeświku intuicji, a czasem zwykłej ciekawości badacza. Naukowców zaskakują zdarzenia nieplanowane, przypadkowe, ale dążą do ich precyzyjnego wyjaśnienia. Historia nauki pokazuje wiele takich przypadków. Naukowcy mają wspólną terminologię oraz metody rozumowania (korzystają m.in. z indukcji, dedukcji, analizy i syntezy). Językiem nauki i potężnym jej narzędziem jest matematyka. Właściwie niektóre wyjaśnienia naukowe istnieją wyłącznie w formie zapisu matematycznego.

Dane służące budowaniu wiedzy naukowej zazwyczaj uzyskuje się w wyniku prowadzenia zaplanowanych **obserwacji** lub **doświadczeń (eksperymentów)**.

Metoda obserwacyjna jest jedną z najstarszych metod poznania i polega na celowym, ukierunkowanym i systematycznym opisie badanego przedmiotu, procesu lub zjawiska¹. W przebiegu obserwacji naukowej badacz nie manipuluje zmiennymi by określić ich wpływ na przebieg procesu. Skupia się na zbieraniu i analizie danych. Obserwacja może stanowić podstawowe i samodzielne narzędzie służące zbadaniu, opisaniu lub zinterpretowaniu danego zjawiska, może też być traktowana jako wstęp do dalszych badań o charakterze eksperymentalnym. W naukach przyrodniczych obserwacja często realizowana jest w warunkach terenowych, gdzie opisowi lub rozpoznaniu podlegają naturalnie występujące obiekty i procesy. Obserwacja może mieć charakter jakościowy lub ilościowy. W obu przypadkach, poprzez gromadzenie danych, obserwacja prowadzi do rozpoznania i interpretacji zjawisk, poznania ich przyczyn i konsekwencji lub identyfikacji współzależności i związków. Większość nauk przyrodniczych stosuje obserwacje do zbierania danych i wyprowadzania dowodów naukowych. W niektórych przypadkach niemożliwe jest przeprowadzenie kontrolowanych doświadczeń. Obserwacje świata przyrody, analiza i poszukiwanie związków doprowadziły np. do sformułowania teorii Wielkiego Wybuchu oraz teorii ewolucji opartej na doborze naturalnym.

Metoda doświadczalna (eksperyment) polega na celowym wywołaniu określonego zjawiska poprzez wprowadzenie tzw. zmiennej niezależnej i systematyczną analizę zachodzących zmian. Dzięki temu możliwe jest zebranie danych, które umożliwiają wykrycie współzależności i związków przyczynowych między zjawiskami. Prowadząc eksperyment ingeruje się w naturę, manipuluje zmiennymi i analizuje skutki tej ingerencji. Doświadczenia mogą być prowadzone w wa-

1 J. Sztumski J. *Wstęp do metod i technik badań społecznych*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1995

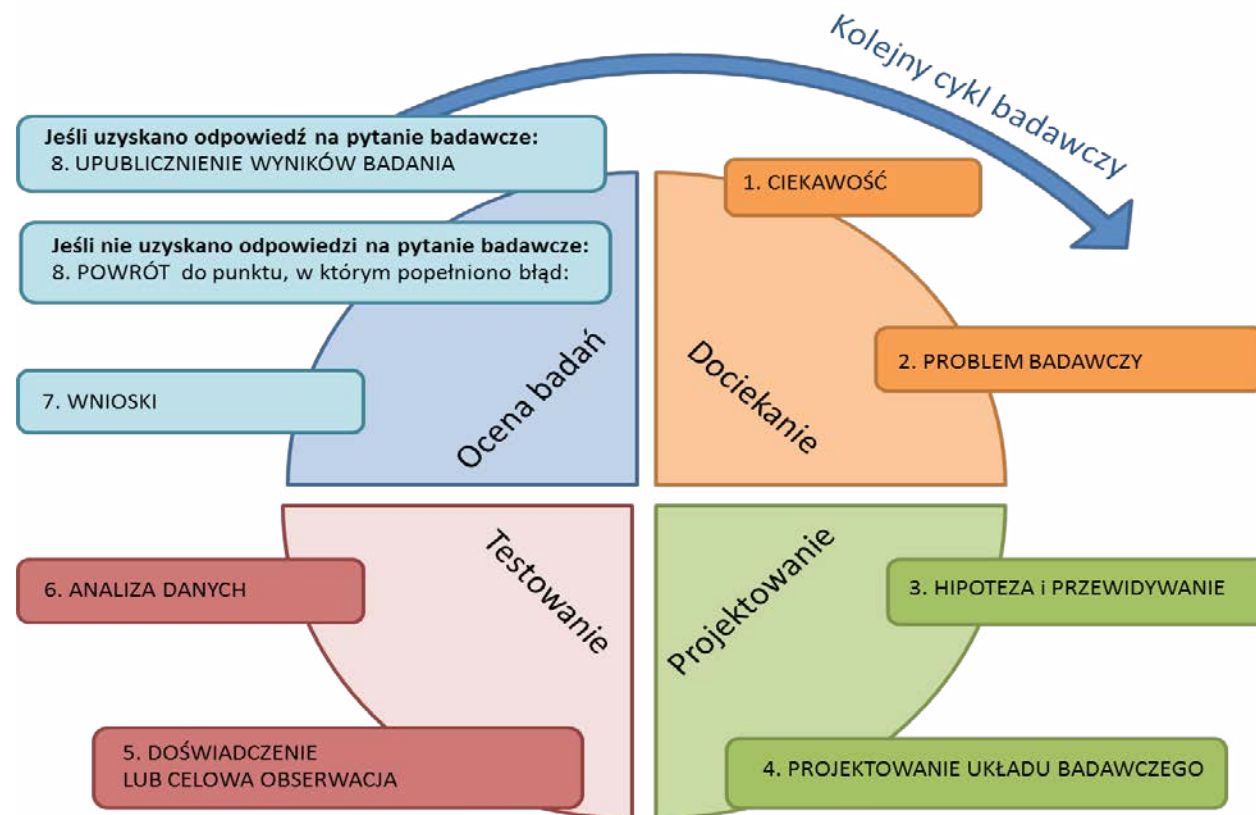
runkach naturalnych (np. w terenie) lub w warunkach sztucznych (np. w laboratorium). W obu przypadkach kontroli powinny podlegać wszelkie istotne czynniki, a wpływy zewnętrzne zostają ograniczane do minimum lub są ściśle monitorowane.

Dowody, zebrane za pomocą obserwacji i doświadczeń, służą formułowaniu teorii, praw i uogólnień. Te z kolei służą stawianiu kolejnych hipotez, które można testować. W ten sposób hipotezy mogą być popierane kolejnymi dowodami lub obalane i zmieniane. Proces naukowy nie jest zatem liniowym ciągiem zdarzeń, ale raczej **procesem cyklicznym**.

Współczesna nauka nie jest wytworem pojedynczych naukowców, jest tworzona przez **społeczności** ludzi pochodzących z różnych środowisk i tradycji. Zaangażowanie w pracę naukową oznacza przynależność do **kultury dociekania naukowego** opartej na spójnych zasadach, metodologiach i rozmowaniu. Każdy z nas może być częścią tej kultury, jeśli obserwuje otaczający świat, zadaje pytania i aktywnie poszukuje odpowiedzi testując kolejne hipotezy.

Naukowiec lub zespół naukowców, który zakończył badania przeanalizował i zinterpretował wyniki oraz przetestował hipotezy, chce zazwyczaj zakomunikować światu naukowemu wyniki swoich badań. Plakat naukowy, wystąpienie konferencyjne lub artykuł w czasopiśmie naukowym to najczęstsze sposoby, których naukowcy używają do zakomunikowania swoich odkryć. Przed publikacją w czasopiśmie naukowym każdy tekst podlega recenzji prowadzonej przez innych specjalistów reprezentujących daną dziedzinę nauki (ang. *peer review*).

Publikacja badań stanowi motor rozwoju nauki – inni naukowcy mają możliwość krytycznej analizy prezentowanych wyników, dyskusji na ich temat, oceny zastosowanej metodologii, sposobu dociekania i sformułowanych twierdzeń. Niemniej istotnym aspektem



Ryc. 1. Ogólny schemat cyklu badawczego

Kolorami oznaczono cztery główne procesy zachodzące podczas każdego cyklu badawczego – dociekanie, projektowanie, testowanie i ocenę badań. Działania związane z dociekaniem i projektowaniem należy przeprowadzić przed ostatecznym sformułowaniem i zgłoszeniem w systemie elektronicznym tematu pracy badawczej na Olimpiadę Biologiczną.

jest umożliwienie innym badaczom odniesienia własnych prac naukowych do nowo przedstawionych treści. Upublicznione wyniki badań naukowych stanowią więc przedmiot debaty publicznej, a każde z opublikowanych badań musi być opisane tak, by inni naukowcy byli w stanie je **powtórzyć** – czyli przeprowadzić powtórnie cały eksperyment lub obserwację spodziewając

się uzyskania podobnych wyników². Stanowi to istotny etap oceny podejścia badawczego. Wyniki badań, któ-

² W historii nauki znane są sytuacje, gdy naukowcy bezskutecznie próbowali powtórzyć opublikowane wcześniej wyniki badań innej grupy naukowej – wykazywali w ten sposób, że zastosowana metodologia badań była nieprawidłowa albo uzyskane wyniki zostały zafałszowane (były artefaktem, błędem lub celowym oszustwem).

rych nie da się powtórzyć nie stanowią wiarygodnego źródła wiedzy naukowej.

Jak przygotować pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną?

Podstawą poznawania świata jest charakteryzująca wszystkich ludzi ciekawość. Uważna obserwacja rzeczywistości prowadzi do formułowania pytań i budzi chęć pogłębiania wiedzy na temat danego zjawiska. Do tego szczypta wyobraźni i intuicji, a czasem zbieg przypadków i odkrycie naukowe gotowe!

Proces naukowego poznania rozpoczyna się od zaciekawienia, prowadzącego do sformułowania problemu badawczego – postawienia konkretnego pytania badawczego. Następnym krokiem jest zaprojektowanie układów badawczych, które umożliwiają testowanie postawionych hipotez, a całość zwieńcza się wnioskowaniem i krytyczną oceną przeprowadzonego procesu. Schemat metody badawczej jest cykliczny, a rozwiązanie jednego problemu badawczego otwiera pole do dalszych poszukiwań i nowych pytań badawczych (rycina 1 oraz 2).

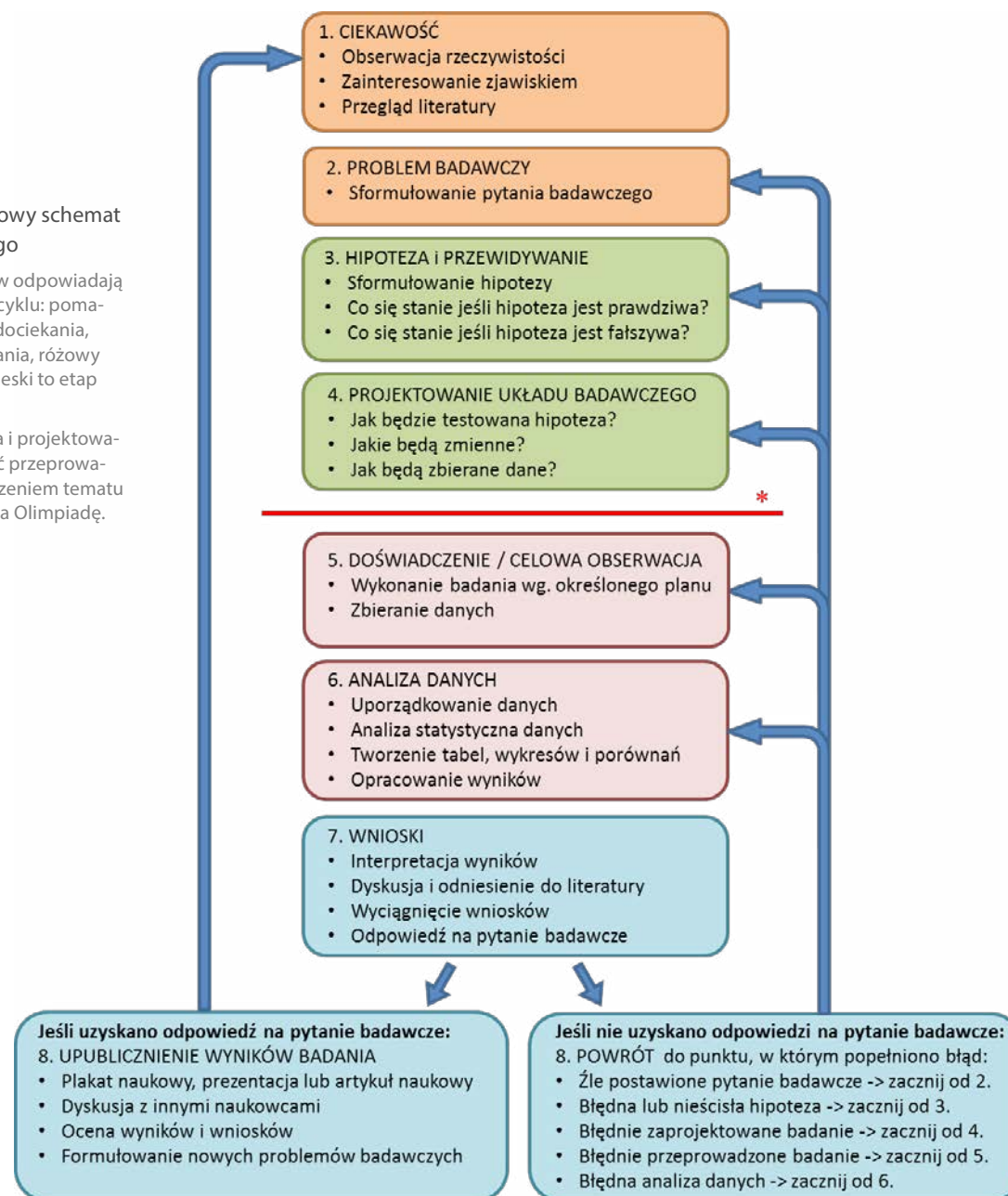
Czynności związane z początkowym etapem cyklu badawczego możemy nazwać **dociekaniem**. Składa się na nie umiejętność obserwacji otaczającej rzeczywistości, spostrzegawczość i chęć pogłębiania wiadomości. Skutecznego badacza charakteryzuje ciekawość poznawcza. Przed ostatecznym sformułowaniem problemu badawczego należy dowiedzieć się możliwie jak najwięcej o przedmiocie badań i rozpoznać dotychczasowy dorobek naukowy w danym obszarze – służy temu **przegląd literatury**.

Każdy uczestnik Olimpiady Biologicznej prowadząc swój projekt badawczy postępuje zgodnie ze schematem cyklu badawczego (ryciny 1 oraz 2), zupełnie tak samo, jak każdy profesjonalny naukowiec.

Ryc. 2. Szczegółowy schemat cyklu badawczego

Kolory prostokątów odpowiadają kolejnym etapom cyklu: pomarańczowy to etap dociekania, zielony projektowania, różowy testowania, a niebieski to etap oceny badań.

* Etapy dociekania i projektowania powinny zostać przeprowadzone przed zgłoszeniem tematu pracy badawczej na Olimpiadę.



Jak dokonać wyboru tematu pracy badawczej?

Tematyka pracy badawczej musi być zgodna przepisami prawa, z zapisami regulaminu Olimpiady Biologicznej oraz z zainteresowaniami Uczestnika. Powinna odznaczać się oryginalnością, a więc odróżniać się od typowych eksperymentów szkolnych lub przykładów z podręczników. Doskonale, jeśli dotyczy niepodjętego lub nierozwiązanego dotąd problemu biologicznego, proponuje nowe rozwiązania lub zastosowania aplikacyjne. Najważniejsze jednak, by metodyka pracy była poprawna naukowo, a tematyka pozwalała na samodzielne wykonanie badań, w założonym czasie, przy użyciu narzędzi dostępnych w szkole lub domu.

Dokonując wyboru tematyki pracy badawczej zastanów się i rozważ:

- Która dziedzina biologii interesuje Cię szczególnie?
- Jak dużo wiesz na temat interesującego Cię obszaru wiedzy? Jeśli nie czujesz się w miarę swobodnie w wybranej tematyce lub nie interesuje Cię ona – nie wybieraj jej! Inaczej będzie Ci bardzo trudno postawić interesujący problem badawczy.
- Jakim organizmem lub jakimi organizmami chcesz się zajmować i jakie ograniczenia wprowadza regulamin Olimpiady Biologicznej?
- Czy wolisz przeprowadzić prace w terenie, czy w laboratorium i czy będą one miały charakter obserwacji czy eksperymentu?
- Ile czasu chcesz i możesz poświęcić na wykonanie pracy badawczej?³
- Czy dysponujesz niezbędnymi zasobami i zapleczem – np. pomieszczenie do prowadzenia badań, zaplecze szkolne (w tym odpowiednie wyposażenie pracowni szkolnej), logistyczna dostępność terenu badań, materiały i odczynniki, sprzęt i apa-

³ Od roku 2017 rejestracja będzie otwierana 1 czerwca, a więc można będzie wykonać pracę w okresie wakacji.

ratura, możliwość konsultacji z nauczycielem i/lub specjalistą?

Konsekwencją wyboru tematyki pracy badawczej jest sformułowanie jej **tematu**, który zostaje formalnie zgłoszony podczas rejestracji Uczestnika w systemie elektronicznym i jest sprawdzany przez właściwy komitet okręgowy przed przystąpieniem Uczestnika do egzaminu pisemnego w szkole. Zgłoszony i zaakceptowany temat pracy badawczej obowiązuje w danej edycji OB i nie ma możliwości jego zmiany w trakcie trwania Olimpiady, dlatego powinien być dobrze przemyślany. Zgłoszony i zaakceptowany temat pracy badawczej musi

być tym samym tematem, który umieszczony zostanie na plakacie naukowym, deponowanym w systemie przed kwalifikacją do II etapu Olimpiady (etapu okręgowego). Dlatego przed zgłoszeniem tematu pracy na Olimpiadę, należy skrupulatnie wykonać czynności związane z dociekaniami i projektowaniem badania (patrz ryc. 1 i 2). Badanie powinno być więc przemyślane pod względem: celu, obiektu badań, projektu układu badawczego i możliwych narzędzi pomiarowych. Pozwoli to uniknąć niezgodności tematu pracy z ostatecznym przebiegiem badania przedstawianym na plakacie naukowym.

Pamiętaj, co mówi regulamin Olimpiady Biologicznej:

Praca badawcza musi być zgodna z obowiązującym **prawem**.

Praca badawcza może dotyczyć **dowolnego problemu biologicznego**.

Prace dotyczące jedynie zagadnień o charakterze chemicznym, fizycznym lub geograficznym będą dyskwalifikowane.

Praca może mieć charakter **obserwacyjny lub doświadczalny**. Wysoko oceniane są prace twórcze, prezentujące oryginalne podejście autora do badanego zagadnienia¹. W wyjątkowych wypadkach mogą być dopuszczane (za zgodą Komitetu Głównego Olimpiady Biologicznej) prace polegające na konstrukcji modeli matematyczno-informatycznych opisujących zjawiska i procesy biologiczne.

Zabronione jest wykonywanie prac badawczych w ośrodkach naukowych i innych instytucjach prowadzących badania naukowe. W pracy badawczej **niedopuszczalne są** doświadczenia z użyciem:

1. zwierząt kręgowych lub człowieka (także hodowli komórek w warunkach *in vitro*, utrwalonych preparatów oraz wydzielin, włosów, zębów, krwi itp.);
2. organizmów pasożytniczych, chorobotwórczych dla człowieka (także potencjalnie groźnych dla człowieka)²;
3. organizmów objętych ochroną gatunkową;
4. organizmów zawierających związki halucynogenne i odurzające;
5. antybiotyków i innych leków dostępnych na receptę;

a także prace prowadzące do uszkodzenia, bezsensownego cierpienia lub śmierci badanego osobnika.

Wybór tematyki, choćby częściowo niezgodnej z zasadami lub na granicy zakazanych zagadnień może doprowadzić do **dyskwalifikacji** pracy badawczej. Zalecane jest konsultowanie zarówno tematu jak i zakresu zaplanowanej pracy badawczej z Komitetem Okręgowym Olimpiady Biologicznej przed deklaracją tematu. W przypadku ponownego startu w zawodach Olimpiady Biologicznej Uczestnik zobowiązany jest wykonać każdorazowo **NOWĄ** pracę badawczą³.

Temat pracy badawczej powinien spełniać następujące kryteria (rycina 3):

- jest sformułowany jasno i precyzyjnie, jest zwięzły i odnosi się dokładnie do treści przygotowywanej pracy,
- zawiera jednoznaczną nazwę badanego taksonu lub jednoznaczną nazwę obiektu/ów badań, a w przypadku prac prowadzonych w terenie również lokalizację miejsca prowadzenia badań,
- określa zmienną niezależną, jeśli wskazanie jej jest możliwe,
- określa parametr mierzony (zmienną zależną) lub cechę obserwowaną w badaniu,
- nie odnosi się do kierunku spodziewanych zmian zmiennej zależnej.

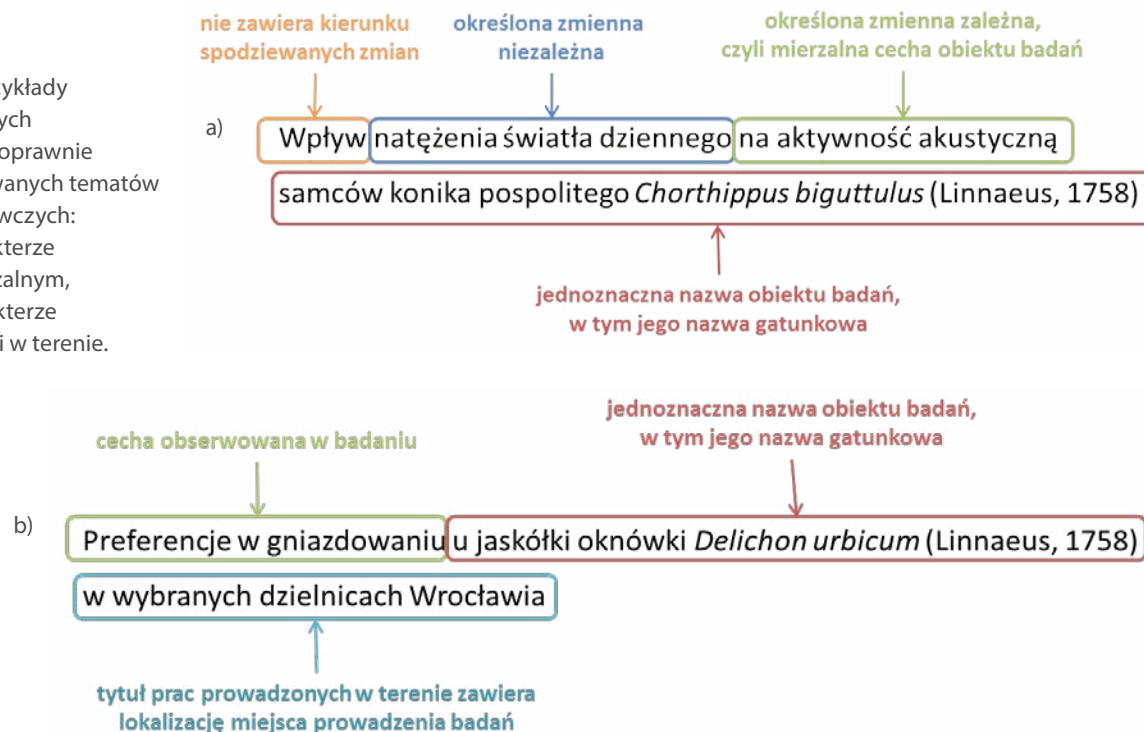
0 nazewnictwie organizmów

W przypadku większość prac badawczych zgłaszanych na Olimpiadę Biologiczną badania prowadzone są na poziomie organizmu lub niższym, co generuje potrzebę podania w temacie pracy jednoznacznej nazwy taksonu, którego dotyczy eksperyment lub obserwacja. W takim przypadku, pełna nazwa gatunku powinna zostać umieszczona również w rozdziale „Materiał i metody”, gdzie dokonywana jest charakterystyka badanego taksonu. Ze względu na usankcjonowanie łacińskiego nazewnictwa binominalnego Kodeksami Nomenklatury Botanicznej i Zoologicznej, nazwy łacińskie jednoznacznie definiują dany takson i należy je stosować w pracach naukowych.

Zasady nazewnictwa łacińskiego

W przypadku nazw gatunków obowiązuje nazewnictwo dwuczłonowe, tzn. pełna nazwa składa się z nazwy rodzajowej i epitetu gatunkowego. W druku należy

Ryc. 3. Przykłady spełniających kryteria, poprawnie sformułowanych tematów prac badawczych: a) o charakterze doświadczalnym, b) o charakterze obserwacji w terenie.



Przykłady tematów poprawnie sformułowanych
Wpływ natężenia światła dziennego na aktywność akustyczną samców konika pospolitego <i>Chorthippus biguttulus</i> (Linnaeus, 1758)
Wpływ barwy podłoża i temperatury wody na intensywność ubarwienia krewetek <i>Neocardina davidi</i> (Bouvier, 1904)
Wpływ mechanicznego uszkodzenia liści ziemniaka (<i>Solanum tuberosum</i> L.) odmiany 'Amerykana' na aktywność jego mechanizmów obronnych
Zależność intensywności procesu fermentacji alkoholowej od temperatury reakcji oraz odczynu pH na przykładzie drożdży piekarniczych (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Meyen ex E.C. Hansen)
Zdolność tłumienia hałasu komunikacyjnego przez liście wybranych gatunków drzew używanych w kształtowaniu zielonych ekranów akustycznych: dębu czerwonego (<i>Quercus rubra</i> L.), klonu srebrzystego (<i>Acer saccharinum</i> L.), lipy srebrzystej (<i>Tilia tomentosa</i> Moench), topoli osiki (<i>Populus tremula</i> L.)
Wpływ zawartości jonów sodu i potasu oraz pH pożywki na siłę kiełkowania nasion sałaty siewnej <i>Lactuca sativa</i> L.
Wpływ kwasu askorbinowego i pirogalolu na ukorzenianie się w kulturach wodnych pędów ligustru pospolitego (<i>Ligustrum vulgare</i> L.)
Walory florystyczne Starego Cmentarza Ewangelickiego przy ul. A. Frycza-Modrzewskiego w Bielsku Białej
Preferencje w gniazdowaniu u jaskółki oknówki <i>Delichon urbicum</i> (Linnaeus, 1758) w wybranych dzielnicach Wrocławia

zapisywać obydwie człony kursywą⁴. Nazwę rodzajową piszemy wielką literą, a epitet gatunkowy małą, np.: *Anthriscus sylvestris* lub *Helix pomatia*. W przypadku podgatunków stosujemy nazwy trójczłonowe, a nazwę podgatunku oddzielamy od epitetu gatunkowego za pomocą skrótu „subsp.” pisanego czcionką prostą, np.: *Anthriscus sylvestris* subsp. *nemorosa*.

W przypadku roślin, jeżeli mamy do czynienia z odmianami lub formami, a więc taksonami niższego rzędu, nie ma konieczności podawać wszystkich nazw poniżej gatunku. Obowiązuje bowiem zasada, że nazwa trójczłonowa z końcowym epitetem (nazwą taksonu najniższej rangi) musi być jednoznaczna. Na przykład nazwa *Saxifraga aizoon* subf. *surculosa* jest tożsama z *Saxifraga aizoon* var. *Aizoon* subvar. *brevifolia* f. *multicaulis* subf. *surculosa*. W tym przypadku podając podformę nie ma konieczności podawania formy, pododmiany i odmiany. Podobnie jak w przypadku nazw podgatunków taksony niższej rangi piszemy małą literą oraz kursywą, a skróty określające rangę taksonu czcionką prostą.

Poprawnie zapisana nazwa dwu- lub trójczłonowa to jednak nie wszystko. Na koniec należy podać jeszcze autora nazwy.

Autorzy nazw roślin

W przypadku nazw gatunkowych roślin po nazwie łacińskiej wpisujemy skrót nazwiska odkrywcy danego gatunku, np. *Selinum palustre* L. Skróty autorów nazw nie są dowolne – są one opublikowane w postaci specjalnej listy. Tak więc na przykład nazwiska Linnaeus nie można skracać do postaci „Lin.”, ale trzeba używać konsekwentnie przyjętego zapisu „L.”. Nazwiska współ-

⁴ W systemie elektronicznym podczas zgłoszenia tematu pracy badawczej, ze względu na ograniczenia techniczne systemu, nie trzeba stosować kursywy. Natomiast podczas tworzenia plakatu należy o tej zasadzie bezwzględnie pamiętać.

Przykłady tematów <u>niepoprawnie</u> sformułowanych lub zawierających uchybienia	
Temat	Rodzaj błędu
Badania nad wpływem wybranych czynników chemicznych na kiełkowanie roślin	Za mało precyzyjny – brakuje określenia jakie czynniki były zmieniane (zmienne niezależne) i jakie rośliny badano.
Wpływ wybranych czynników abiotycznych na rozwój larwy muchy	Za mało precyzyjny – brakuje określenia jakie czynniki były zmieniane (zmienne niezależne) i nazwy badanego gatunku muchy.
Ścieżka dydaktyczna na Jałowiec (1111 m n.p.m)	Nie wiadomo jaki cel przyświecał autorowi – czy zamierza wytyczyć ścieżkę, czy też analizuje pod jakimś względem ścieżkę już istniejącą? Nieprecyzyjna lokalizacja – gdzie położony jest Jałowiec? Czy Jałowiec jest szczytem, czy może nazwą miejscowości?
Populacja gawrona <i>Corvus frugilegus</i> Linnaeus, 1758 w Kotlinie Zakopiańskiej	Zbyt ogólny – Jakie cechy populacji badano?
Wpływ stałego naświetlenia na rozwój roślin	Zbyt ogólny – brakuje określenia jakie czynniki były zmieniane (zmienne niezależne) i jakie rośliny badano.
Rola owadów w szklarni	Zbyt ogólny.
Obserwacja ptaków w parku narodowym	Zbyt ogólny. Jakich ptaków? W którym parku narodowym? Jakich cech dotyczyła obserwacja? W jakim celu je badano?
Badanie pyłowego zanieczyszczenia powietrza w miejscowości X	Temat niezgodny z Regulaminem OB – nie dotyczy problemu biologicznego.
Badanie przejrzystości wody w jeziorze X na poszczególnych głębokościach	Temat niezgodny z Regulaminem OB – nie dotyczy problemu biologicznego.
Wpływ wysiłku fizycznego na szybkość oddychania, tętna oraz ciśnienie krwi człowieka	Temat niezgodny z Regulaminem OB – w pracy badawczej niedopuszczalne są doświadczenia, których obiektem jest człowiek.

czesnych autorów, jeżeli składają się z maksymalnie trzech sylab, nie są skraccane.

W przypadku przeniesienia gatunku do innego rodzaju, nazwisko autora poprzedniej kombinacji podaje się w nawiasie. Na przykład Moench przeniósł *Selinum palustre* L. do rodzaju *Peucedanum*, a zatem poprawny zapis nowej kombinacji nazwy rodzajowej i epitetu gatunkowego wygląda następująco *Peucedanum palustre* (L.) Moench.

Identyczne nazwy łacińskie (homonimy) dla tego samego gatunku są niedopuszczalne. Jeśli tej samej nazwy gatunkowej (np. *Selinum palustre*) użyło dwóch różnych badaczy dla nazwania dwóch różnych gatunków (*Selinum palustre* L. oraz *Selinum palustre* Thuill.), należy zastosować zasadę priorytetu. Linneusz opublikował tę nazwę jako pierwszy w roku 1753 i tylko ta jest

uważana za ważną. Wszystkie późniejsze homonimy są uznawane za nieważne opublikowane i nie należy ich stosować, a gatunki do których się odnoszą noszą inne nazwy – w tym przypadku obowiązująca nazwa dla *Selinum palustre* Thuill. to *Peucedanum carvifolium* Vill.

Autorzy nazw zwierząt

W przypadku nazw zwierząt nie stosuje się skrótów nazwisk autorów, ale podaje pełne brzmienie nazwiska, np.: *Hirundo urbica* Linnaeus. Opcjonalne jest podanie roku publikacji nazwy po przecinku: *Hirundo urbica* Linnaeus, 1758. W przypadku przeniesienia gatunku do innego rodzaju nie podaje się późniejszego autora, ale dotychczasowego bierze się w nawias: *Delichon urbicum* (Linnaeus, 1758).

Skróty nazw i nazwy zwyczajowe

Jeżeli w tekście raz już pojawi się pełna nazwa dwu- lub trójczłonowa wraz z jej autorem, w dalszej części pracy, najczęściej nie ma już potrzeby powtarzać pełnych nazw gatunkowych i można stosować zapis skrócony, a w wielu przypadkach może wystarczyć zastosowanie nazwy zwyczajowej.

Skrócony zapis nazwy gatunkowej polega na podaniu inicjału nazwy rodzajowej i pominięciu autora nazwy, np. *Anthriscus sylvestris* L. można zapisać jako *A. sylvestris*. Jest tylko jeden warunek – tak skrócona nazwa musi być jednoznaczna w kontekście pracy badawczej. Jeżeli w tej samej pracy badano również *Anemone sylvestris* L., to oczywiście skróconego zapisu nie można zastosować.

W wielu przypadkach powtarzanie w treści pracy raz po raz pełnych polskich i łacińskich nazw gatunkowych wraz z nazwiskiem odkrywcy może być sztuczne i utrudniać percepcję przekazu.

Przykładowo, jeżeli Uczestnik OB scharakteryzował w treści pracy swój obiekt badań – świerk pospolity *Picea abies* (L.) H.Karst, a w dalszej części pracy posługuje się nazwą „świerk”, to jesteśmy uprawnieni zakładać, że wciąż ma on na myśli rodzimy gatunek świerka i nie ma już potrzeby wielokrotnego powtarzania jego pełnej nazwy gatunkowej. W przypadku powszechnie znanych gatunków jak np. ziemniak, wielokrotne powtarzanie pełnej nazwy gatunkowej *Solanum tuberosum* L. może być uznane za pretensjonalne.

Czasami w temacie zgłaszanej pracy nie ma konieczności aby wystąpiła nazwa łacińska, jeżeli polska nazwa jest jednoznaczna ze względu na kontekst lub powszechne zastosowanie. W przypadku pracy o rozmieszczeniu miłorzębu w polskich parkach bezbłędnie podamy odpowiednik łaciński *Ginkgo biloba* L., jako jedyny współcześnie żyjący gatunek z rodzaju *Ginkgo*. Podobnie, kiedy mówimy „muszka owocowa”, to wia-

domo, że mamy na myśli gatunek *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830, a puryzm językowy prowadzący do zastosowania określenia „wywilżna karłowata” jest raczej niewskazany. Niemniej jednak pełna nazwa polska i łacińska powinny się pojawić co najmniej raz w każdej pracy. Najlepszym miejscem do zamieszczenia tej informacji jest rozdział „Materiały i metody”.

Kilka dodatkowych słów należy powiedzieć o bardzo często badanej przez Uczestników Olimpiady Biologicznej roślinie *Lepidium sativum* L. Nazwa potoczna „rzeżucha” jest dla większości osób zrozumiała, mimo że jest to także polskie określenie innego rodzaju *Cardamine*. Zamiast więc używać wielokrotnie w treści pracy mało znanej nazwy „pieprzycia siewna”, lepszym rozwiązaniem wydaje się zapis nazwy potocznej „rzeżucha” (pod warunkiem że wcześniej w pracy znalazło się uściślenie za pomocą nazwy łacińskiej: *Lepidium sativum* L.). W ten sposób przekaz jest jednocześnie zrozumiały dla większości społeczeństwa i jednoznaczny dla systematyków.

Słowniki nazw

Pisownię nazw łacińskich oraz autorów nazw w przypadku roślin można sprawdzić na stronie International Plant Name Index (<http://www.ipni.org/>) lub w serwisie The Plant List (<http://www.theplantlist.org/>). Nie ma natomiast oficjalnych reguł dotyczących nazw roślin w języku polskim. Choć istnieją spisy takich nazw, tzw. *checklisty* gatunków, gdzie praktycznie dla każdej rośliny znajdziemy kilka nazw, to nie ma reguły, którą nazwę traktować jako obowiązującą. W przypadku słownika łacińskich nazw zwierząt dość dobrze sprawdza się anglojęzyczna Wikipedia.

Jak przeprowadzić przegląd literatury?

Po wybraniu zagadnienia pozostaje ustalić, co w tym zakresie zostało już dokonane przez innych badaczy.

Wyrobić w sobie warto zwyczaj zestawiania tego, co się czyta z własnymi wiadomościami i doświadczeniami, doszukiwania się znamiennych analogii, uogólnień. Sukces pracy badawczej zależy w dużej mierze od staranności wstępnych przygotowań.⁵

W.I.B. Beveridge

Sześć godzin spędzonych w bibliotece może oszczędzić sześciu miesięcy pracy w laboratorium.⁶

E.B. Wilson

Przed rozpoczęciem badań warto poświęcić czas na solidny przegląd literatury naukowej. Pozwoli to uzupełnić wiedzę na temat przedmiotu badań, rozpoznać, co już zostało w danej dziedzinie zbadane i doprecyzować tematykę rozważań. Pozwoli także upewnić się, że sformułowany problem badawczy ma cechy naukowości. Podejmując pracę badawczą Uczestnik Olimpiady Biologicznej musi mieć świadomość jaka jest wartość dodana planowanych badań w stosunku do istniejącego stanu wiedzy na dany temat. Zdarzają się sytuacje, gdy prowadząc przegląd literatury odnajdujemy prace innych autorów, z których wynika, że problem będący przedmiotem naszych rozważań został już rozwiązany i trzeba poszukać innego tematu lub zastanowić się, jaki nowy problem badawczy może rozpocząć kolejny cykl badawczy. Istnieją wprawdzie sytuacje, w których ist-

5 W.I.B. Beveridge *Sztuka badań naukowych*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich. Warszawa 1960

6 E.B. Wilson, *Wstęp do badań naukowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1964

nieje potrzeba ponownego podjęcia badań na dany temat, ale muszą za tym iść mocne przesłanki i racjonalne argumenty wskazujące na potrzebę weryfikacji istniejącej wiedzy. Przesłanką taką może być pojawienie się nowych, nieznanych wcześniej okoliczności lub czynników wymagających wyjaśnienia, pomysł na nowe, nie stosowane wcześniej rozwiązanie zadania naukowego, nową użyteczność, itp. Innym aspektem uzasadniającym ponowne podjęcie badań na dany temat może być aplikacyjny charakter nowo zastosowanego podejścia (np. w kontekście możliwości zastosowania wyników badań w przemyśle, rolnictwie, ochronie środowiska, itp.).

Przeszukiwanie źródeł warto rozpocząć od podręczników, w szczególności podręczników akademickich, dotyczących tematyki zbliżonej do planowanego tematu pracy badawczej. Należy zwrócić szczególną uwagę na te pozycje literaturowe, na które powołują się niezależnie autorzy różnych publikacji. Czasem, przydatne bywa przejrzanie słowników, czy encyklopedii – można w nich znaleźć najważniejsze fakty lub teorie i na ich podstawie kontynuować wyszukiwanie.

Cennym i aktualnym źródłem informacji są także czasopisma fachowe (specjalistyczne) wydawane w językach obcych i w języku polskim. Nie zawsze są one jednak ogólnie dostępne, duża część z nich udostępniana jest odpłatnie. Na szczęście powstaje coraz więcej czasopism, które otwierają dostęp do swoich zasobów (tzw. *open access journals*). Wyszukiwanie artykułów publikowanych w periodykach naukowych odbywa się najczęściej przy użyciu tzw. słów kluczowych (np. obiekt i przedmiot badań, nazwa gatunkowa badanego organizmu, lokalizacja geograficzna, nazwa konkretnej metody badawczej, itp.), które służą do indeksowania publikacji w elektronicznych bazach danych.

Adresy internetowe przykładowych czasopism z tzw. otwartym dostępem wylistowano poniżej⁷:

- Edukacja Biologiczna i Środowiskowa – <http://ebis.ibe.edu.pl/>. Warto również zapoznać się z podstroną tego czasopisma, przeznaczoną dla uczestników Olimpiady Biologicznej: Olimpijski trening z artykułami z EBiŚ, <http://ebis.ibe.edu.pl/index.php?typ=nius&id=50>
- Kosmos – problemy nauk biologicznych, <http://kosmos.icm.edu.pl/>
- Ochrona Środowiska, <http://www.os.not.pl/>
- Folia Biologica, <http://www.isez.pan.krakow.pl/en/fovia-biologica.html>
- Acta Biologica, <http://www.wb.usz.edu.pl/archive>
- Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica, <http://www2.ib.uj.edu.pl/abc/>
- Acta Biologica Cracoviensia Series Zoologia, <http://abcsz.czasopisma.pan.pl/>
- Acta Biochemica Polonica, http://www.actabp.pl/#Current_Issue
- Inżynieria i Ochrona Środowiska, <https://ios.is.pcz.pl/>
- Ecological Processes, <http://ecologicalprocesses.springeropen.com/>
- BMC Biology, <http://bmcbiol.biomedcentral.com/>
- BMC Ecology, <http://bmcecol.biomedcentral.com/>
- eLife, <https://elifesciences.org/>
- Public Library of Science PLoS, <https://www.plos.org/>

Warto także korzystać ze specjalistycznych narzędzi wyszukiwania – wyszukiwarek i portali tematycznych⁸:

- 7 Obszerna lista 144 wybranych polskich czasopism naukowych z wolnym dostępem, wraz z linkami do ich stron internetowych znajduje się na stronie: <http://www.bibl.up.wroc.pl/wolndost.html>
- 8 Zalecane jest korzystanie z kilku różnych źródeł danych – część wyszukanych publikacji będzie taka sama, ale z pewnością poja-

- Arianta - wyszukiwarka naukowych i branżowych Polskich Czasopism Elektronicznych, w tym czasopism z wolnym dostępem, możliwość wyszukiwania wg konkretnej dziedziny, <http://www.ariantapl/>
- National Academies Press – ogromna baza bezpłatnych publikacji i książek dostępnych w formie PDF, <http://www.nap.edu/>
- Federacja Bibliotek Cyfrowych. Zbiory polskich instytucji kultury i nauki on-line, <http://fbc.pionier.net.pl/>
- ResearchGate - serwis społecznościowy, skierowany do naukowców wszystkich dyscyplin. Na stronie <https://www.researchgate.net/> dostępne są publikacje, wykłady i prezentacje naukowców reprezentujących wszystkie dziedziny nauki,
- PubMed - angielskojęzyczna wyszukiwarka baz danych literaturowych z dziedzin medycyny i nauk biologicznych (wyszukuje bibliograficzne informacje dla artykułów publikowanych w czasopismach naukowych z medycyny, farmacji, weterynarii, biologii, biochemii czy ewolucji molekularnej itp.) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- ACADEMIA – portal społecznościowy poświęcony głównie udostępnianiu prac naukowych, <https://www.academia.edu/>
- Główny Urząd Statystyczny – portal informacyjny, <http://stat.gov.pl/>
- Google Scholar – wyszukiwarka, przeznaczona do przeszukiwania baz danych zawierających publikacje naukowe z różnych dziedzin, <https://scholar.google.pl/>
- Google Books - indeks książek pełno tekstowych, <https://books.google.pl/>

wią się również unikatowe rekordy, dostępne tylko w wybranych wyszukiwarkach.

- Science Research – wyszukiwarka głębokiego (ukrytego) Internetu, <http://scienceresearch.com/scienceresearch/>.
- FreeFullPDF – wyszukiwarka publikacji naukowych spośród około 80mln dostępnych rekordów, <http://www.freefullpdf.com/#gsc.tab=0>.
- OpenDOAR – przeszukiwarka akademickich otwartych repozytoriów, <http://opendoar.org/search.php>.
- Lista innych zasobów z otwartym dostępem: <http://www.biblioteka.gumed.edu.pl/?strona=184#idea>

Aby właściwie przygotować się do pracy metodą obserwacyjną lub doświadczalną trzeba dokładnie sprecyzować tematykę badań i ustalić problem badawczy, a także postawić pytania, na które można odpowiedzieć prowadząc obserwacje lub eksperyment. Etap dociekania prowadzi więc do sformułowania **pytań badawczych i hipotez**.

Jak postawić pytanie badawcze? Czym jest hipoteza i czy zawsze jest niezbędna?

Hipoteza – przypuszczenie dotyczące zachodzenia pewnych zjawisk lub zależności między nimi, które pozwalają wyjaśnić jakiś niewytłumaczalny dotąd zespół faktów będących problemem.

T. Kotarbiński⁹

Pytania, na które nie znajdujemy odpowiedzi, mimo rozpoznania dotychczasowego stanu wiedzy, stanowią podstawę do sformułowania problemu badawczego. Pytania badawcze muszą być aktualne i jednoznacznie postawione. Dobre pytanie badawcze umożliwia ukie-

⁹ T.Kotarbiński. Dzieła wszystkie. *Elementy teorii poznania, logiki formalnej i metodologii nauk*. Ossolineum 1990

niczenia wynikające z dostępnych metod i narzędzi badawczych oraz możliwości czasowych.

Formułując pytania badawcze warto zastanowić się, jakie prawdopodobne układy wyników można przewidywać bazując na dotychczas obowiązujących prawach i teoriach oraz dotychczasowym stanie wiedzy na dany temat. Stąd już tylko krok do sformułowania hipotezy!

Hipoteza¹⁰ jest naukowym przypuszczeniem, prawdopodobnym wyjaśnieniem badanego zjawiska lub zdefiniowaniem zależności, które należy przetestować prowadząc badanie. Można powiedzieć, że hipoteza jest propozycją odpowiedzi na pytanie badawcze – odpowiedzi, która wymaga sprawdzenia i jest sprawdzalna empirycznie. Na podstawie hipotez możliwe jest formułowanie przewidywań – np. można przewidzieć efekty, jakie spowoduje zmiana pojedynczego czynnika wpływającego na badane zjawisko.

Przewidywania zwykle dotyczą spodziewanych efektów testu dla wariantu, gdy hipoteza jest prawdziwa oraz dla przeciwnego wariantu, gdyby okazała się fałszywa. Należy przy tym zaznaczyć, że dla konkretnego badania nie trzeba formułować dwóch hipotez, z których jedna jest logicznym zaprzeczeniem drugiej. Wystarczy zweryfikowanie lub sfalsyfikowanie (sprawdzenie pozytywne lub negatywne) jednej z nich.

Cechy prawidłowej hipotezy naukowej można ująć następująco:

- Jest precyzyjnie sformułowana i spójna wewnętrznie.
- Dotyczy nierozpoznanych dotąd aspektów danej dziedziny wiedzy.

¹⁰ Dla objaśnienia cech hipotezy korzystano z następujących źródeł: J. Majkut. *O teorii i praktyce badań naukowych (z myślą o nauczycielu akademickim)*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Rakietowych i Artylerii im. Gen. J. Bema. Toruń 1992; B. Poskrobko (red.). *Metody badań naukowych z przykładami ich zastosowania*. Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. Białystok 2012.

- Jest **testowalna** (czyli istnieje metoda i kryteria, które można zastosować celem sprawdzenia hipotezy).
- Może być użyta do formułowania przewidywań.
- Jest zdaniem twierdzącym, zwykle zawiera informację o związku lub jego braku między zmienną niezależną i zależną.

Przykład na podstawie badania prowadzonego przez Uczestnika OB.

Pytanie badawcze: *Czy natężenie światła wpływa na aktywność akustyczną samców konika pospolitego Chorthippus biguttulus (Linnaeus, 1758)?*

Hipoteza zerowa: *Natężenie światła słonecznego nie wpływa na aktywność akustyczną samców koników.*

Tak sformułowana hipoteza mówi o braku różnic pod kątem akustycznym między grupami koników hodowanymi przy różnym oświetleniu. Dla badacza bardziej prawdopodobna wydaje się **hipoteza alternatywna:** *Natężenie światła słonecznego wpływa na aktywność akustyczną samców koników.* Nie sposób jej jednak potwierdzić za pomocą testów statystycznych. Pozwalają one jednak odrzucić hipotezę zerową i na tej zasadzie przyjąć hipotezę alternatywną. Z tego powodu formalnie testuje się zwykle hipotezy stawiane nieco „na opak” – w taki sposób, aby nie było ich żał odrzucić.

Przewidywanie: *Jeśli hipoteza zerowa jest prawdziwa, to sztuczne obniżenie natężenia światła nie powinno mieć wpływu na aktywność akustyczną samców koników.*

Postawiona hipoteza jest falsyfikowalna. Jeżeli jest ona prawdziwa, to spodziewamy się, że różnice między badanymi grupami w średniej liczbie wydawanych fraz będą wynikały jedynie ze zjawisk czysto losowych: błędów pomiarowych lub ograniczonej liczebności próby, a więc będą niewielkie. Jeżeli wykazemy, że faktycznie te różnice są duże, to możemy odrzucić hipotezę zerową i przyjąć hipotezę alternatywną. Mówi się wtedy o hipotezie zerowej, że została sfalsyfikowana. Określenie, jak duże muszą być różnice między grupami, aby odrzucić hipotezę zerową odbywa się podczas wykonywania odpowiednich testów statystycznych. Należy jednak bezwzględnie pamiętać, że jeżeli na podstawie testu statystycznego nie mamy podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, to nie oznacza to, że jest ona prawdziwa. Może być prawdziwa, ale nie musi (np. liczebność prób mogła być za mała, by wykazać różnice między grupami).

Sformułowanie hipotezy wymaga zgłębienia dotychczasowej wiedzy i stanu badań na temat danego zjawiska. Na etapie formułowania hipotezy potrzeba często intuicji, kreatywności, a także podejmowania prób. Na tym etapie nie należy się obawiać popełnienia błędu!

Hipoteza jest nieodłącznym elementem badań o charakterze eksperymentalnym. Badania obserwacyjne również mogą zajmować się testowaniem hipotez (np. wykrywanie związków lub korelacji między zjawiskami – choćby poszukiwanie prawidłowości dotyczących współwystępowania gatunków), ale nie we wszystkich typach badań obserwacyjnych jest ona formułowana. Metoda obserwacyjna może bowiem w niektórych badaniach ograniczyć się do zbierania i gromadzenia danych. Tak dzieje się w przypadku inwentaryzacji przyrodniczej. **Inwentaryzacja przyrodnicza** może dotyczyć przyrody ożywionej (np. spisy florystyczne, spisy faunistyczne, zdjęcia fitosocjologiczne) lub nieożywionej¹¹ (np. typy siedlisk przyrodniczych, formy rzeźby terenu, typy gleb, etc.). Praca badawcza ma w takim przypadku charakter opisowy, a badacz nie zajmuje się w niej testowaniem hipotez. Dopiero w następnym kroku zgromadzone dane mogą posłużyć do sformułowania hipotezy, która podlega testowaniu w badaniach empirycznych. Inwentaryzacja przyrodnicza może i powinna stać się także punktem wyjścia do waloryzacji przyrodniczej terenu, planowania różnych form ochrony przyrody, konstruowania planów ochrony i planów zadań ochronnych, a także planów zagospodarowania przestrzennego, czy planowania i organizacji edukacji przyrodniczej (np. wytyczanie przyrodniczych ścieżek edukacyjnych).

¹¹ Należy mieć na uwadze zapis regulaminu OB mówiący, że prace dotyczące jedynie zagadnień o charakterze (...) geograficznym będą dyskwalifikowane.

Dobór zmiennych lub cech podlegających badaniu

Określenie obiektu i przedmiotu badań, postawienie pytań badawczych i sformułowanie hipotez umożliwia przejście do stworzenia **planu badań**, czyli sposobu

postępowania mającego na celu odpowiedź na pytania badawcze i sprawdzenie postawionych hipotez. Składowe planu badania uzależnione są od typu prowadzonych badań, a więc czy będą to badania o charakterze

Pamiętaj, co mówi regulamin OB:

Niezależnie od tematyki, wysoko oceniane są prace, w których część praktyczna (doświadczalna lub obserwacyjna) została prawidłowo zaplanowana, rzetelnie wykonana i jasno zanalizowana.

Praca badawcza musi być wykonana z wykorzystaniem materiałów i środków dostępnych w domu, pracowni szkolnej lub bezpośrednio w terenie.

A. Zasady prowadzenia doświadczeń.

Punktem wyjścia dla pracy doświadczalnej jest postawienie hipotezy roboczej, wymagającej przetestowania. W pierwszym etapie należy stwierdzić zachodzenie badanego zjawiska, następnie dokonać jego charakterystyki ilościowej, a w końcowym etapie – poznać i opisać jego mechanizmy.

Należy pamiętać, że podstawowe warunki wiarygodności uzyskanych wyników to:

- dostateczna liczba powtórzeń doświadczenia, pozwalająca na statystyczne opracowanie uzyskanych wyników;
- prawidłowe dobranie warunków doświadczalnych i kontrolnych;
- zachowanie powtarzalnych warunków przez cały czas prowadzenia doświadczeń lub obserwacji.

B. Prowadzenie obserwacji

W pracach o charakterze obserwacyjnym istotne jest, by prowadzone przez ucznia badania nie prowadziły do zniszczenia środowiska naturalnego, wypłoszenia zwierząt czy zakłócenia spokoju obserwowanych organizmów. Również w takich pracach ważne jest zgromadzenie wystarczającego materiału badawczego, a liczba powtórzeń i warunki obserwacji muszą być dobrane w zależności od problemu badawczego. Obserwacje mogą mieć charakter inwentaryzacyjny (np. opis fauny lub flory jakiegoś środowiska) lub prowadzić do uogólnień dzięki wykryciu korelacji pomiędzy zjawiskami (np. współwystępowanie pewnych gatunków).

Badania muszą być wykonywane przez ucznia osobiście i samodzielnie⁴ w terenie, w domu lub w pracowni szkolnej.

Prace będące opracowaniem lub kompilacją danych uzyskanych przez inne osoby lub fragmentem cudzego projektu badawczego nie mogą być przyjęte do udziału w Olimpiadzie. Ograniczenie to odnosi się także do analiz dokonywanych przez uprawniony personel w trakcie procesów produkcyjnych, hodowlanych, technologicznych i innych, a także pomiarów wykonywanych przez pracowników jednostek naukowo-badawczych, stacji sanitarno-epidemiologicznych, leśników i innych specjalistów.

eksperymentalnym, obserwacyjnym prowadzącym do wykrywania korelacji, czy też inwentaryzacja terenowa.

Dobór zmiennych w pracy badawczej o charakterze doświadczenia

Projektowanie doświadczenia należy rozpocząć od określenia tzw. **zmiennych**. Zmiennymi nazywamy parametry, które mierzymy lub kontrolujemy w trakcie badań. Zatem w trakcie planowania doświadczenia sprawdzającego hipotezę kluczowe jest określenie wszystkich zmiennych istniejących w danym układzie badawczym. Wyróżniamy trzy typy zmiennych:

- **Zmienna niezależna** – czynnik, którym w sposób świadomy manipulujemy w doświadczeniu. Grupa badana i grupa kontrolna różnią się między sobą właśnie wartością zmiennej niezależnej.
- **Zmienna zależna** – parametr, który zmienia się pod wpływem badanego czynnika, inaczej mówiąc ta zmienna zależy od zmiennej niezależnej, dlatego jest nazywana *zależną*. Różnica wartości zmiennej zależnej między grupą kontrolną, a badawczą stanowi miarę efektu jaki wywołuje badany w doświadczeniu czynnik.
- **Zmienne kontrolowane** – wszystkie pozostałe parametry i warunki, w których przebiega badanie, a które nie powinny ulec zmianie podczas jego trwania. Parametry zmiennych kontrolowanych powinny być monitorowane podczas trwania badania, żeby mieć pewność, że notowane zmiany zmiennych zależnych są efektem wpływu badanego czynnika (zmiennej niezależnej), a nie zmiany innych czynników. Grupa badana i grupa kontrolna w doświadczeniu powinny mieć zachowane takie same warunki – wartości zmiennych kontrolowanych.

Wszystkie rodzaje zmiennych mogą mieć charakter ilościowy (np. wzrost, temperatura, itp.) lub jakościowy o dwóch lub więcej poziomach (np. obecność lub nie drapieżnika w akwarium, kolor filtra świetlnego, itp.).

Zwykle wśród wielu wartości zmiennej niezależnej, będzie uwzględniona także referencyjna wartość tej zmiennej – stanowiąca punkt odniesienia dla pozostałych badanych wariantów. Nazywamy ją **próbą kontrolną**. Umożliwia ona wyciągnięcie wniosków poprzez porównanie wyników uzyskanych w próbie badawczej. W przypadku układu doświadczalnego z dwoma lub więcej poziomami zmiennej niezależnej zwykle tylko jedna z prób jest traktowana jako punkt odniesienia dla pozostałych – jest próbą kontrolną.

Jeżeli chcielibyśmy odpowiedzieć na pytanie: „Czy nawożenie pola zwiększy plonowanie?”, to naturalną grupą kontrolną stanowiłaby uprawa bez nawozu. Jeżeli odwrócimy pytanie badawcze: „Czy zaprzestanie nawożenia spowoduje spadek plonów?”, to próbę kontrolną będzie stanowić w tym samym układzie doświadczalnym uprawa z nawozem. Ten przykład pokazuje, że wskazanie próby kontrolnej i badawczej jest niemożliwe bez precyzyjnego postawienia pytania badawczego oraz, że nie można próby kontrolnej definiować po prostu jako tej, gdzie nie działa badany czynnik – w tym przypadku nawożenie.

Niekiedy próby kontrolne wprowadza się z innego powodu: aby sprawdzić, czy eksperyment przebiegał prawidłowo pod kątem technicznym. Na przykład:

- wykonując test na obecność wirusa HIV u nieznanego pacjenta możemy wziąć też próbkę od osoby na pewno zakażonej, aby w przypadku wyniku negatywnego w pierwszej próbce mieć pewność, że odczynniki działały prawidłowo – w drugiej próbce powinien wyjść wynik dodatni, a jeżeli tak się nie stało, to wykazany został błąd techniczny i wyniki z pierwszej próby należy traktować jako niewiarygodne¹²;

¹² Należy pamiętać, że zgodnie z regulaminem Olimpiady Biologicznej w pracy badawczej niedopuszczalne są doświadczenia z użyciem zwierząt kręgowych lub człowieka (także z użyciem

- wykonując rozdział chromatograficzny lub elektroforetyczny mieszanin należy oprócz badanych próbek, nanieść także próbę wzorca, której wynik pozytywny wykaże, że proces przebiegł prawidłowo oraz będzie umożliwiał odczytanie wyników we właściwych próbach;
- wykonując badanie aktywności enzymu pochodzącego z materiału badawczego (np. po ekstrakcji z tkanek roślinnych) należy przeprowadzić też reakcję referencyjną z próbą enzymu o znanej, przetestowanej aktywności – wynik dodatni, zgodny z przewidywaniami dla tej próby, będzie świadczył o prawidłowym działaniu zastosowanej procedury, odczynników i techniki pomiarowej.

Eksperymentalny układ badawczy powinien zawierać **przynajmniej jedną zmienną niezależną** (może być ich więcej, ale należy pamiętać, że każda dodatkowa zmienna niezależna zwiększa jego złożoność i może komplikować analizę danych). Zmienną niezależną może być np. stopień nasłonecznienia, nawodnienie, temperatura, różne gatunki badanych organizmów, obecność/brak szkodliwych lub korzystnych czynników, rodzaj gleby lub dodatki do gleby, typ środowiska itp.

Schemat tego typu układów badawczych przedstawia rycina 4.

Większość prac przesyłanych na Olimpiadę Biologiczną zawiera jedną, dwie lub trzy zmienne niezależne. Najmniej błędów logicznych mają prace, które zawierają jedną zmienną niezależną. Natomiast badania uwzględniające trzy i więcej zmiennych zwykle gromadzą tak dużo danych, że trudno wyciągnąć z nich spójne wnioski bez zastosowania skomplikowanych testów statystycznych. Młody badacz, który dopiero uczy się zasad rządzących pracą naukową, powinien stworzyć

hodowli komórek w warunkach in vitro, utrwalonych preparatów oraz wydzielin, włosów, zębów, krwi itp.).

Przykład 1.

znane z podręczników badanie wpływu wybranego czynnika na proces kiełkowania nasion

Zmienną niezależną niech będzie dostępność wody. Zmienna ta przybierać będzie dwa możliwe warianty: brak wody oraz obecność wody w podłożu.

Zmienną zależną jest liczba wykiełkowanych nasion w określonym czasie.

Zmiennymi kontrolowanymi, które pozostają identyczne we wszystkich próbach doświadczalnych będą warunki, w których kiełkują nasiona – podłoże, naświetlenie, powierzchnia/zagęszczenie, dostęp powietrza, wilgotność powietrza (nie mylić z obecnością/brakiem wody w podłożu, która jest zmienną niezależną), temperatura otoczenia, liczba i jakość badanych nasion, czas trwania doświadczenia oraz sposób pomiaru zmiennej zależnej.

możliwie prosty układ badawczy z jedną zmienną niezależną, co nie wyklucza oczywiście oryginalnego tematu i twórczego podejścia do badań.

Przykładem badania, w którym Uczestnik wybrał trzy zmienne niezależne, a każdą z nich cechuje po kilka wariantów, może być praca dotycząca wpływu różnych czynników na aktywność proteolityczną enzymu. W tym przypadku, zmiennymi niezależnymi były: źródło enzymu (warianty: aktinidia, ananas, woda jako kontrola), temperatura inkubacji (warianty: 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C) oraz czas inkubacji w dwóch wariantach (2,5 i 5 minut). W sumie przytoczony przykład zawiera minimum 36 różnych wariantów prób doświadczalnych wraz z wariantem kontrolnym, dla których należy zebrać i przeanalizować dane. W tak rozbudowanych układach badawczych (por. rycina 5) trudno ustrzec się pomyłki, trudno też przebadać wystarczającą liczbę prób i powtórzeń, aby otrzymać wiarygodne wyniki. Rozbudowane układy badawcze, nawet jeśli są przygotowane poprawnie i logicznie, są trudne do analizy i wyciągnięcia spójnych wniosków, a przygotowując plakat naukowy na Olimpiadę Bio-

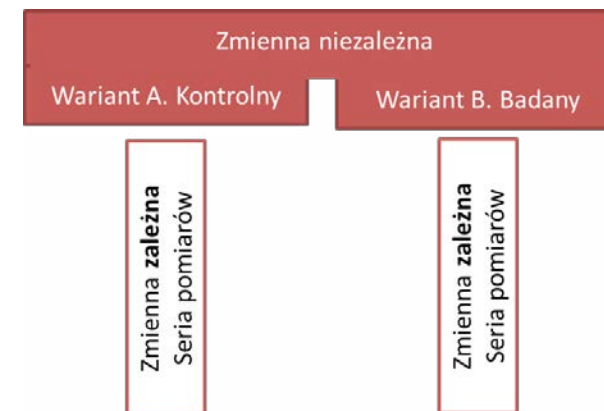
Przykład 2.

praca badawcza Uczestnika Olimpiady Biologicznej, dotycząca wpływu natężenia światła na aktywność akustyczną samców konika pospolitego *Chorthippus biguttulus* (Linnaeus, 1758)

Zmienną niezależną jest natężenie światła. Zmienna niezależna ma cztery różne poziomy: trzy stopnie sztucznego zacienienia oraz brak zacienienia (warunki naturalne). Próby wykonane bez sztucznego zacienienia, czyli w kontrolowanych warunkach naturalnego oświetlenia bezpośrednim światłem słonecznym, stanowiły punkt odniesienia dla każdej próby badanej, a zatem stanowiły próby kontrolne.

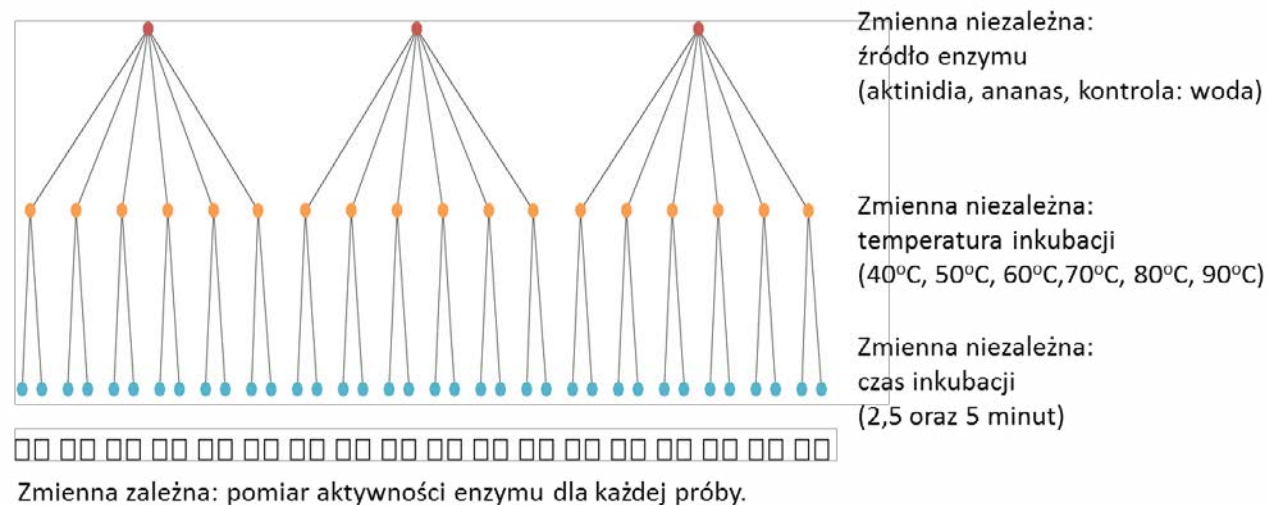
Zmienną zależną jest liczba fraz wydawanych przez konika w ciągu pół godziny.

Zmiennymi kontrolowanymi – określonymi i monitorowanymi przez badacza były m.in.: warunki hodowli badanych osobników, obecność samic, godziny i sposób pomiaru aktywności akustycznej, czas aklimatyzacji, temperatura powietrza, zachmurzenie, opady.



Ryc. 4. Schemat prostego układu badawczego, w którym wybrano tylko jedną zmienną niezależną mającą dwa warianty – kontrolny i badany

Określono także zmienną zależną, czyli rodzaj pomiaru. Po wykonaniu takiego doświadczenia badacz otrzyma dwie serie danych z wykonanych pomiarów. Na schemacie nie pokazano liczby badanych osobników, liczby prób ani powtórzeń doświadczenia.



Ryc. 5. Schemat przykładowego złożonego układu badawczego, w którym wybrano trzy różne zmienne niezależne

Pierwsza zmienna niezależna ma trzy różne poziomy (w tym jeden kontrolny), druga sześć poziomów, a trzecia dwa poziomy. Dla każdego wariantu zaplanowano pomiary zmiennej zależnej.

logiczną może być trudno zmieścić na nim wszystkie istotne wyniki i wnioski.

Eksperymentalny układ badawczy musi zawierać jedną zmienną zależną, czyli parametr, który będzie mierzony lub obserwowany w trakcie prowadzenia badania. Można też uwzględnić pomiar kilku różnych parametrów wskazujących na zmiany zachodzące pod wpływem zmiennej niezależnej (kilka zmiennych zależnych), ale podczas analizy statystycznej takich wyników należy zastosować bardziej zaawansowane testy z analizą wielowymiarową. Dla uczniów startujących w Olimpiadzie polecane są układy najprostsze dla których wystarczy analiza statystyczna oparta na testach t (dla par i prób niezależnych), regresji liniowej, czy prostej analizie ANOVA.

Aby określić zmienną zależną trzeba się zastanowić, co badacz będzie obserwował, jakiego efektu się spodziewa. Jakich oczekuje się zmian parametrów jako efektu działania zmiennej niezależnej? Dla każdej zmiennej niezależnej może istnieć kilka jakościowych i/lub ilościowych zmiennych zależnych. W przykładowej pracy dotyczącej wpływu rodzaju pokarmu na rozwój motyli, mierzono długość larw oraz liczbę żywych osobników w kilku określonych momentach rozwojowych. W innej pracy dotyczącej wpływu terminu wysiewu na rozwój i wysokość plonu pszenicy zwyczajnej i jęczmienia zwyczajnego zmiennymi zależnymi były zmiany wysokości pędów w stałych wyznaczonych okresach oraz świeża masa powstałych ziarniaków.

W planie badania należy wypisać wszystkie **zmienne kontrolowane**, które podczas doświadczenia trzeba będzie utrzymać na stałym, niezmiennym poziomie oraz sposób, w jaki można je monitorować. Tu warto także pomyśleć o dostępnych urządzeniach pomiarowych (np. termometr, wilgotnościomierz, światłomierz itp.), które umożliwią monitorowanie parametrów eksperymentu.

Dobór zmiennych w pracy obserwacyjnej

Określanie zmiennych niezależnych i zmiennych zależnych ma zastosowanie głównie w badaniach o charakterze eksperymentalnym, gdzie badacz aktywnie manipuluje parametrami zmiennych niezależnych. Jednak w badaniach obserwacyjnych czasem także używa się tych dwóch kategorii zmiennych. Przykładowo, jeśli celem jest zbadanie zależności między zróżnicowaniem roślinności w zależności od podłoża glebowego, to zmienną niezależną w takim badaniu będzie typ gleby (w kilku wariantach), a zmienną zależną wybrany wskaźnik różnorodności biologicznej. Badacz w tym przypadku jedynie wybiera powierzchnię badawczą, ale nie wpływa w żaden sposób na skład gleby. Jest to więc obserwacja, a nie eksperyment. Jednakże możemy spodziewać się, że typ gleby ma bezpośredni związek z typem zbiorowiska roślinnego.

Czasami celem badań obserwacyjnych jest wykrycie korelacji między zmiennymi nie będącymi w bezpośrednim związku przyczynowo skutkowym. Na przykład można zadać pytanie, czy obecność włosków wydzielniczych na łodydze rośliny ma związek z obecnością włosków parzących na liściach. Jeżeli nic nie wiemy o mechanizmach genetycznych rozwoju tych dwóch cech, to nie sposób założyć, że jedna z nich determinuje drugą. Można jedynie badać ich współwystępowanie traktując je na równi bez wskazania zmiennej zależnej i niezależnej. Może się okazać, że włoski łodygowe są przykładem zmienności niedziedzicznej i rozwijają się w odpowiedzi na gradację owadów roślinożernych, a włoski na liściach pojawiają się w wyniku presji makrofauny. Korelacja między występowaniem dwóch rodzajów włosków będzie więc wynikała z faktu, że roślina przyciąga zarówno owady jak i większe gatunki zwierząt, które żywią się nią, jednak obecność jednych włosków nie implikuje bezpośrednio obecności drugich.

Przykłady

1. Praca badawcza Uczestnika Olimpiady Biologicznej, w której analizowano wybrane cechy fenologiczne oraz strukturę wielkości osobników zawilca gajowego (*Anemone nemorosa* L.) w zależności od nasłonecznienia i warunków wilgotnościowych, na dwóch stanowiskach w okolicach Chęcín.

Zmienne niezależne: nasłonecznienie i wilgotność. Zmienne niezależne mają dwa różne warianty – dobry dostęp do światła słonecznego oraz zacienienie; mała wilgotność podłoża oraz wysoka wilgotność podłoża.

Zmienne zależne: np. zagęszczenie pędów nadziemnych, liczba pędów generatywnych, liczba pędów w danej fazie generatywnej, długość pędu.

Zmienne kontrolowane: np. typ gleby, konkurencyjne oddziaływanie międzygatunkowe, żerowanie określonych gatunków zwierząt (to sprawia, że wyniki z dwóch stanowisk mogą być włączone do wspólnej analizy, tzn. wyniki na nich zebrane są porównywalne, pozbawione wpływu dodatkowych czynników).

2. Praca badawcza Uczestnika Olimpiady Biologicznej, w której analizowano obfitość występowania jemioli pospolitej (*Viscum album* L.) w zależności od wybranych cech żywiciela.

Zmienne niezależne: gatunek żywiciela oraz wiek żywiciela.

Zmienne zależne: obfitość występowania (liczba okazów) jemioli pospolitej; lokalizacja (umiejscowienie) osobnika jemioli w koronie żywiciela.

Zmienne kontrolowane: np. cechy topoklimatyczne, typ otoczenia, w którym rośnie żywiciel.

W badaniach inwentaryzacyjnych, których celem jest na przykład dokonanie spisu fauny lub flory jakiegoś środowiska, nie stosuje się pojęcia zmiennych. Tutaj, badacz skupia się na gruntownym rozpoznaniu terenu podlegającemu inwentaryzacji. Odbywa się to najczęściej poprzez wstępny rekonesans oraz przegląd materiałów kartograficznych i publikacji na temat danego terenu. Kluczowe na tym etapie staje się zgromadzenie i analiza adekwatnych map (ortofotomap, map topograficznych i tematycznych poszczególnych komponentów środowiska), dokumentów planistycznych (planów miejscowych, operatów urządzeniowych, planów ochrony, etc.) oraz przygotowanie podkładów kartograficznych w odpowiedniej skali (zazwyczaj 1:2000 do

1:25000). Podkład do inwentaryzacji bazuje najczęściej na mapie topograficznej lub ortofotomapie. Skala inwentaryzacji terenowej jest zazwyczaj większa niż skala mapy docelowej, gdyż na etapie analizy dane podlegają generalizacji.

W badaniach obserwacyjnych wskazane jest również określenie zmiennych kontrolowanych. W warunkach naturalnych nie sposób oczywiście kontrolować wszystkich parametrów, ale w dobrze zaprojektowanym badaniu należy mieć świadomość występowania czynników zewnętrznych i monitorować je w miarę możliwości.

Ustalenie metod badawczych

Ważnym etapem tworzenia planu badań jest wybór metod badawczych. Na ustalenie metod badawczych składają się takie zagadnienia jak: dobór próby, ustalenie zasad próbkowania, dobór narzędzi pomiarowych oraz technik statystycznych. Na tym etapie projektowania badania przydaje się przegląd literaturowy, aby zapoznać się z metodami i technikami stosowanymi przez innych badaczy w podobnych układach badawczych.

Dane przyrodnicze mogą być zbierane za pomocą narzędzi pomiarowych i czujników, które dają wiarygodne i dokładne informacje, często będące poza zasięgiem naszej bezpośredniej percepcji. Dobrze dobrane narzędzia ułatwiają zbieranie informacji niezbędnych, by odpowiedzieć na postawione pytania badawcze. Znając zmienne niezależne i zależne, należy ustalić jaki sprzęt pomiarowy lub obserwacyjny będzie potrzebny i jaka powinna być jego czułość. Przykładowo, gdy wartość pH stanowi jedną ze zmiennych zależnych, należy zdecydować, czy jego pomiar będzie prowadzony metodą kolorymetryczną w roztworze, papierkiem lakmusowym, czy może elektronicznym pH-metrem.

Jeśli w badaniu będą stosowane urządzenia pomiarowe lub testy biochemiczne, warto uwzględnić testo-

wanie prawidłowego działania urządzenia (patrz też opis prób kontrolnych str. 1718). Pozytywna kontrola wykaże, czy urządzenie/test jest wystarczająco czułe i reaguje w obecności wykrywanego czynnika. Kontrola negatywna wskaże, czy urządzenie/test jest swoiste, czyli czy daje pozytywny wynik wyłącznie w obecności czynnika mającego wywołać efekt. Aby można było zbierać dane ilościowe trzeba też przeprowadzić kalibrację sprzętu i sprawdzić jego wyskalowanie, np. korzystając z próbki referencyjnej.

Obserwacje i eksperymenty muszą być prowadzone systematycznie, zgodnie z ustaloną procedurą odpowiadającą celowi obserwacji. Nie mogą odbywać się w sposób przypadkowy, bądź jednorazowy.

Kryteria doboru próby, liczba powtórzeń i sposób zliczania osobników powinny być dobrane w zależności od problemu badawczego. W każdym przypadku zachowana musi być reprezentatywność danych. Próba jest reprezentatywna, jeśli umożliwia uogólnienie wyników badań z próby na populację. Aby wyciągać wnioski na temat danego zjawiska, trzeba mieć pewność, że przeanalizowany materiał odzwierciedla tendencje charakterystyczne lub typowe dla obiektu lub obszaru objętego badaniami. Jeśli więc Uczestnik OB prowadzi badania nad sezonowymi preferencjami żywieniowymi określonego gatunku ptaka drapieżnego i na podstawie danych literaturowych wskazuje, że na danym terenie występuje kilka tysięcy par tego gatunku, a następnie w każdym miesiącu prowadzi analizę składu jedynie kilku wypluwów, to rodzi się pytanie, czy dobór wielkości próby jest uzasadniony statystycznie i czy wyniki będą reprezentatywne dla populacji objętej badaniami (a jeśli nie, to jaki inny cel poznawczy przyświeca prowadzonemu badaniu).

Sposób próbkowania musi zapewniać porównywalność wyników i pozwalać na ocenę wyników przez innego badacza. Niektóre prace zgłaszane do Olimpiady

Biologicznej nie spełniających wymogów. Przykładem może być praca, której Uczestnik postawił sobie za cel analizę występowania, liczebności oraz lokalizacji miejsc noclegowych ptaków bytujących na określonym obszarze, nie uwzględnił jednak wymogu reprezentatywności i porównywalności wyników („W każdym miesiącu wykonano od 2 do 6 kontroli w odstępach jedno- lub dwutygodniowych. Badania prowadzono w różnych porach doby, jednak najczęściej w godzinach dziennych. W trakcie obserwacji, które trwały od kilku minut do nawet 10 godzin.”).

Błędem jest również wyciąganie wniosków uogólniających na podstawie fragmentarycznych, niepełnych danych, które nie odzwierciedlają przestrzennego zróżnicowania terenu badań lub pochodzą jedynie z niewielkiej części sezonu. Tego typu błędy pojawiają się dość często w pracach badawczych zgłaszanych do Olimpiady Biologicznej. Przykładowo, w pracy mającej na celu zbadanie sezonowej zmienności preferencji pokarmowych określonego gatunku ptaka drapieżnego, Uczestnik wykonał analizę jedynie dla dwóch następujących po sobie miesięcy w roku, co nie może być uznane za reprezentatywne dla całego sezonu.

Niedopuszczalne jest także „ręczne” sterowanie doborem próby, bez uzasadnienia statystycznego. Przykładem może być praca badawcza Uczestnika OB, w której zgodnie z założeniem metodycznym, w każdym miesiącu pobierano z danej lokalizacji i poddawano analizie serię 20 prób. W przypadku jednej serii, Uczestnik doszedł jednak do błędnego przekonania, że w sytuacji gdy 10 kolejno przeanalizowanych prób dało zbliżone wyniki, uzasadniona staje się rezygnacja z analizy pozostałych 10 prób.

Badania muszą być możliwe do zrealizowania w założonym czasie. Jeśli jest taka możliwość, każdy eksperyment należy powtórzyć przynajmniej dwa razy. Jeśli nie ma na to czasu i doświadczenie jest prowadzone

jednorazowo, należy zadbać o kilkukrotne powtórzenia prób. Należy przy tym pamiętać, by próby były niezależne. Przykładowo rozlanie jednego roztworu do pięciu probówek i zbadanie w każdej z nich stężenia badanej substancji może służyć jedynie do wyciągnięcia średniej i zredukowania w ten sposób błędu pomiarowego stosowanej techniki. W żadnym wypadku nie można jednak traktować takich pięciu probówek w analizach jako pięciu niezależnych pomiarów.

Do wykonania inwentaryzacji przyrody ożywionej potrzebny jest zazwyczaj sezon wegetacyjny lub jego część. Badania nastawione na aspekty dynamiczne (np. analiza rozprzestrzeniania określonych gatunków roślin) mogą być trudne do podsumowania i niemięrodajne, gdyż w wielu przypadkach wymagają prowadzenia wieloletnich badań, a prowadząc pracę badawczą na Olimpiadę Biologiczną dysponuje się zazwyczaj tylko jednym sezonem wegetacyjnym lub jego częścią. Można jednak porównać wyniki własnej inwentaryzacji z danymi zebranymi wcześniej przez innych badaczy, pamiętając o konieczności zachowania spójności metodycznej w takiej pracy porównawczej.

Bardzo ważnym elementem w badaniach obserwacyjnych jest wybór miejsca obserwacji tak, by umożliwiała analizę stawianych problemów, a jednocześnie było dostępne logistycznie. Należy precyzyjnie wyznaczyć teren objęty badaniami oraz miejsca poboru prób. Konieczne może okazać się trwałe oznaczenie danych miejsc w terenie, np. palikami, aby móc do nich powrócić. Jeśli stosowane są powierzchnie badawcze należy określić ich liczbę, powierzchnię, lokalizację oraz kryteria ich wyboru. Szczegółowa metodyka kartowania terenowego uzależniona jest od badanego obiektu lub grupy gatunków. Liczba i lokalizacja prób powinna być jednak dobrana tak, by odzwierciedlić zróżnicowanie przestrzenne terenu badań. Istotne jest też, by prowadzone prace terenowe nie prowadziły do zniszczenia

lub zaburzenia elementów środowiska przyrodniczego, w tym do rozprzestrzeniania gatunków inwazyjnych. Planując zbieranie w terenie okazów zielnikowych trzeba mieć na względzie, że nie mogą znajdować się wśród nich organizmy objęte ochroną gatunkową.

Jak przeprowadzić doświadczenie lub obserwację?

Istotną cechą każdego dobrego doświadczenia jest jego powtarzalność¹³

E.B. Wilson

Po zaplanowaniu badania i zgromadzeniu wszystkich niezbędnych zasobów badacz przystępuje do fazy **testowania**, czyli prowadzi doświadczenie lub celową obserwację.

Na początku warto wykonać serię krótszych wstępnych doświadczeń testowych (prób pilotażowych) na mniejszych grupach badawczych, pozwalających właściwie dobrać warunki dla badania głównego. Pilotaż pozwala na sprawdzenie skuteczności dobranych narzędzi badawczych, pozwoli też wychwycić ewentualne problemy techniczne i organizacyjne. W badaniach inwentaryzacyjnych funkcję próby pilotażowej spełniają zwykle czynności wykonywane podczas wstępnego rekonesansu terenowego.

Podczas prowadzenia badań należy nieustannie dbać o rzetelność i uczciwość badawczą. Badania nie mogą być obciążone intencją badacza (myśleniem życzeniowym) lub być prowadzone, tak aby za wszelką cenę dowieść prawdziwości postawionej hipotezy. Badania, w których hipoteza została odrzucona są tak samo istotne dla rozwoju nauki, co badania potwierdzające jej słuszność!

13 E.B. Wilson, *Wstęp do badań naukowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1964

Prowadzone pomiary muszą być obiektywne i precyzyjne. Jeśli wyniki w kolejnych powtórzeniach prób lub powtórzeniach badania nie są do siebie podobne (powtarzalne), należy zweryfikować stosowane metody i sposób pomiaru (czy są one wiarygodne? Czy wszystkie zmienne kontrolowane są stabilne? Czy nie ma dodatkowych czynników zewnętrznych wpływających na wyniki pomiaru?). *Jeśli wyniki doświadczenia wahają się mimo tego, że badany czynnik nie został zmieniony, może znaczyć to, że na wynik mają wpływ jakieś czynniki nieznane, a poszukiwanie takich nieznanymi czynników może doprowadzić do interesujących odkryć¹⁴.*

Zaplanowane procedury należy sumiennie wykonywać. W przykładowej pracy napisano: *Sprawdzono na wadze kuchennej, że 5ml płynu ma wagę około 5mg.* Chwila zastanowienia nad tym sformułowaniem pozwala zauważyć, że prawdopodobnie pomiar taki nie został przeprowadzony: po pierwsze – dokładność pomiaru wagi kuchennej to typowo 1g, a po drugie wartość taka oznaczałaby, że 5 litrów tego płynu ma masę 5 gramów!¹⁵

Niektóre wyniki cząstkowe obserwacji można weryfikować na bieżąco za pomocą łatwo dostępnych technik, np. jeśli w danym cieku, na podstawie składu gatunkowego, stwierdzono licznie występujące gatunki glonów będących indykatorami kwaśnego odczynu wody, można i należy zweryfikować wynik takiej obserwacji poprzez pomiar pH wody za pomocą pH-metru.

Obowiązkiem Uczestnika Olimpiady Biologicznej jest gromadzenie wszystkich dokonanych i uzyskiwanych w badaniu danych oraz dokumentowanie obserwacji. Stanowisko pracy badacza wymaga więc, by było w nim przewidziane stałe miejsce na **zeszyt laboratoryjny** lub **dziennik obserwacji**. Może on mieć formę

14 E.B. Wilson, *Wstęp do badań naukowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1964

15 Niestety Uczestnik wykorzystywał tak określone dane w dalszych obliczeniach.

papierową lub elektroniczną, w obu przypadkach należy go opisać danymi osobowymi badacza. Dane należy notować systematycznie w trakcie trwania badania, by nie dopuścić do powstawania luk i przeinaczeń. Podczas prowadzenia doświadczeń należy kierować się podstawową zasadą: *zmieniaj każdorazowo tylko jedną rzecz i notuj wszystko co robisz. Przy wykonywaniu doświadczeń największą uwagę należy zwracać na podstawowe szczegóły techniczne. Dokładne notowanie wszystkich szczegółów toku pracy jest regułą podstawową.*¹⁶

Obserwacje terenowe powinny być zapisywane w zeszycie obserwacji na bieżąco. Notatki mogą mieć charakter hasłowy, ale po powrocie z obserwacji, jeszcze tego samego dnia trzeba uzupełnić je o szczegóły. Pamięć jest ulotna i może się zdarzyć, że decydując się na późniejsze zapisanie wyników obserwacji utracimy istotne szczegóły. W trakcie obserwacji i sporządzania notatek dokonuj selekcji spostrzeżeń kierując się celem pracy, lecz pamiętaj, że nadrzędnym wymogiem jest obiektywizm i rzetelność badawcza. Czasami z pozoru mało istotne dane przy opracowywaniu wyników okazują się bardzo przydatne. Cennym sposobem dokumentowania mogą być także fotografie układu pomiarowego, materiału badawczego, czy terenu, w którym wykonywano obserwacje.

Każdy zbiór danych wymaga opatrzenia datą prowadzenia obserwacji. Dane należy notować w pierwotnej postaci, bez przekształceń matematycznych. O ile wynika to ze specyfiki zbieranych danych, należy pamiętać o zapisywaniu jednostek, w których prowadzony jest pomiar. Jeżeli wykorzystywane jest urządzenie pomiarowe, należy zanotować typ urządzenia, markę i dokładność pomiarową. Szczególną uwagę warto zwrócić na notowanie parametrów kontrolowanych (np. temperatura pomieszczenia, w której odbywa się pomiar, czy

16 W.I.B. Beveridge, *Sztuka badań naukowych*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1960

Ryc. 6.
Przykładowa tabela wyników surowych wraz z opisem jej elementów składowych

Tabela 1. Wartości pomiarów długości pędów i korzeni dla grochu zwyczajnego w uprawie hydroponicznej.
Dane z dnia 01.07.2016. Godzina pomiaru: 10:00
Stałe warunki kontrolowane: temp. 26°C, nasłonecznienie.
Objaśnienie symboli:
† siewka obumarła;
* liście na pędzie zaczęły przyjmować rdzawy kolor.

Opis tabeli znajduje się zawsze nad tabelą. Zawiera numer wg. kolejności tabel, opis próbki, jakiej dotyczy pomiar, dane szczegółowe na temat warunków pomiaru

Nazwy zmiennych zależnych, których pomiary są wykonywane. Informacja o jednostce pomiarowej podana w nawiasie kwadratowym.

Pola do zapisu zaobserwowanych wartości zmiennych zależnych.

Oznaczenie porządkowe identyfikujące każdą próbkę, obiekt lub osobnika w badaniu.

Numer siewki	Groch zwyczajny. Dzień: 01.07.2016	
	Długość pędu [mm]	Długość korzenia [mm]
1.		
2.		
3.		

wartość ciśnienia atmosferycznego). Jeżeli używane są odczynniki chemiczne, należy zapisać ich pochodzenie, stężenie i sposób ich oczyszczania (np. czysty, cz., cz.d.a.). W notatniku mogą znaleźć się ponadto szkice i rysunki, np. aparatury pomiarowej, obrazu mikroskopowego lub orientacyjne, „robocze” wykresy.

Zgromadzony materiał badawczy porządkuje się przygotowując tabelę wyników surowych. Cechy przykładowej poprawnie przygotowanej tabeli przedstawiono na rycinie 6.

Pierwsza kolumna tabeli wyników surowych zawiera oznaczenie porządkowe, czyli unikatowy identyfikator każdej badanej próbki, obiektu lub osobnika. W kolejnych kolumnach zapisywane będą dane pomiarowe w podziale na konkretne zmienne zależne. Nagłówki tych kolumn powinny zawierać: nazwę zmiennej zależnej (np. długość pędu) oraz informację o jednostkach pomiarowych (np. mm).

W każdym wierszu tabeli wpisuje się te wartości danych, które dotyczą jednego przypadku (próbki lub osobnika) oznaczonej identyfikatorem w pierwszej kolumnie tabeli. Przykładowo, jeżeli dany wiersz tabeli został przyporządkowany pomiarom dotyczącym konkretnej siewki, to wpisujemy w ten wiersz wszystkie wartości parametrów dla tej siewki w jednej serii pomiarów. Jeśli plan badania zakłada wykonywanie pomiarów zmiennych zależnych dla tych samych obiektów w kolejnych punktach czasowych (np. co 10 minut albo raz dziennie przez 10 kolejnych dni), to serie wyników dla danego obiektu można zapisywać w tej samej tabeli w kolejnych kolumnach. Należy zachować przy tym kolejność badanych obiektów i dane dotyczące tego samego obiektu wpisywać w określony dla niego wiersz tabeli. A kolejne kolumny należy odpowiednio opisać tak, żeby można było zidentyfikować każdą serię pomiarów.

Jeśli podczas prowadzenia pomiarów lub obserwacji badacz ma do dyspozycji komputer, może tabelę wyników surowych sporządzić od razu w arkuszu kalkulacyjnym, i tam wpisywać dane z pomiarów oraz obserwacji. Często, urządzenia pomiarowe mają możliwość zapisania wyników kolejnych pomiarów w pamięci urządzenia i wyeksportowania serii zapisanych danych do formatu odczytywanego przez arkusz kalkulacyjny.

Zgromadzone dane należy poddać analizie statystycznej. Dla ułatwienia interpretacji danych warto na wielu etapach pracy z danymi tworzyć graficzne wizualizacje i zestawienia danych, wykresy i schematy. Informacje dotyczące statystycznej obróbki danych można znaleźć w publikacji: *Olimpiada Biologiczna – Informator, część statystyczna i filogenetyczna* opracowanej przez dra Łukasza Banasiaka¹⁷. Warto wykonywać obliczenia samodzielnie za pomocą kalkulatora, ponieważ w ten sposób można lepiej zrozumieć testowaną hipotezę. Aby uniknąć jednak pomyłek rachunkowych zalecane jest wykorzystanie do obliczeń arkuszy kalkulacyjnych lub pakietów do analizy statystycznej danych. Darmowym programem dedykowanym do takich zastosowań jest na przykład „R” dostępny pod adresem: <https://www.r-project.org/>

Jak opracować wyniki?

Po analizie danych przychodzi moment na opracowanie wyników. Na proces **oceny badań** składa się interpretacja wyników oraz odniesienie otrzymanych wyników do danych literaturowych. Wyniki doświadczeń i obserwacji wymagają interpretacji w świetle informacji uzyskanych po analizie statystycznej, analizie

logicznej i w świetle danych uzyskiwanych przez innych badaczy. Etap oceny badań jest najbardziej wymagającym etapem pracy badawczej – rozumienie istoty otrzymanych wyników i nadanie im znaczenia zależy od zdolności intelektualnych badacza i logiki jego rozumowania. Należy szczególnie bacznie zwracać uwagę na rozróżnienie pomiędzy zaistniałą korelacją (współwystępowaniem) zdarzeń, a faktycznym związkiem przyczynowo skutkowym.

Zdarza się, że uzyskane wyniki i ich interpretacja nie dają odpowiedzi na pytanie badawcze. W takim wypadku należy przeanalizować wszystkie przeprowadzone etapy pracy badawczej i znaleźć popełnione błędy (patrz: rycina 1 oraz 3). Błędy te mogą pojawić się na każdym etapie, a od etapu, w którym popełniono błąd, należy powtórzyć cykl badawczy. Błędy mogą tkwić w niedokładnie lub wadliwie przeprowadzonym doświadczeniu/obserwacji – wtedy należy powtórzyć tylko etap testowania. Może się okazać, że całe badanie zostało wadliwie zaprojektowane – wtedy należy stworzyć nowy plan badania i powtórnie je przeprowadzić. Wyniki mogą również dowieść, że postawiona hipoteza była nieścisła.

Jeśli natomiast badanie zostało prawidłowo zaplanowane i zaprojektowane, a mimo to dało wynik negatywny, to warto pamiętać, że w procesie poznawczym negatywne wyniki badań są równie wartościowe, co wyniki pozytywne, bowiem powiększają zasób zweryfikowanej wiedzy naukowej na temat danego zjawiska i dają podstawę do dalszych badań. *„Należy pamiętać o tym, że badanie naukowe ma wartość poznawczą nie tylko wtedy, gdy daje wynik pozytywny (np. ustalenie istotnej korelacji, potwierdzenie przewidywań, zaobserwowanie spodziewanego zjawiska lub wykrycie spodziewanego obiektu), lecz również wtedy, gdy daje wynik*

*negatywny.”*¹⁸ Historia nauki pokazuje, że najbardziej interesujące są badania, które przynoszą nieoczekiwane wyniki. Stanowią one motor dla prowadzenia dalszych pogłębionych dociekań i obierania ich nowych kierunków badawczych.

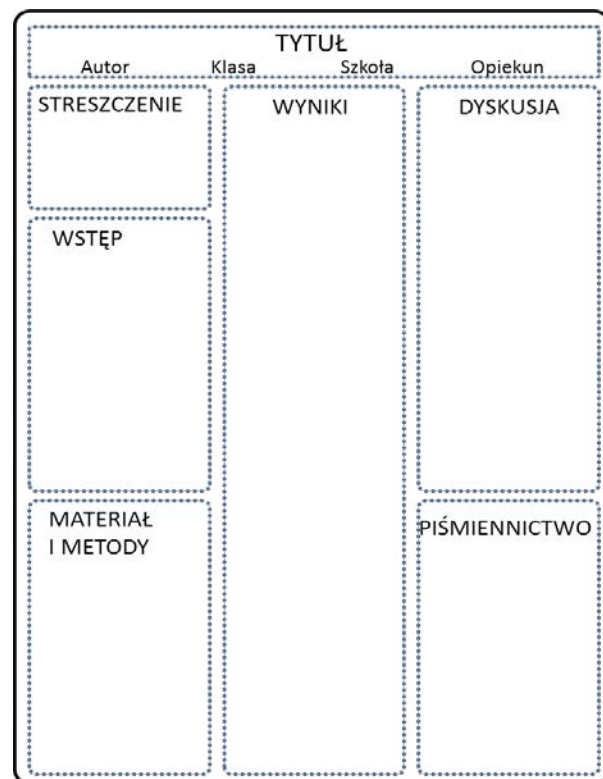
Jak przygotować plakat naukowy na Olimpiadę Biologiczną?

Wyniki pracy badawczej przygotowanej w toku Olimpiady Biologicznej należy przedstawić w formie **plakatu naukowego**, który jest syntetycznym i graficznym sposobem zaprezentowania wyników i wniosków z przeprowadzonego badania.

Sformułowanie treści plakatu musi być precyzyjne i jednoznaczne. Należy unikać przeładowania plakatu tekstem i wybrać do przedstawienia jedynie informacje najbardziej istotne. W części nagłówkowej należy umieścić: temat, imię i nazwisko autora, klasę, nazwę szkoły oraz imię i nazwisko opiekuna pracy badawczej. Główne elementy plakatu to: temat, streszczenie, wstęp, materiał i metody, wyniki, dyskusja, spis literatury. Plakat powinien zostać wykonany w formacie A0 i zapisany w pliku PDF. Stosowana wielkość czcionki nie może być mniejsza niż 24pkt poza spisem literatury, gdzie dopuszcza się czcionkę 18 pkt. Plakat można wykonać w dowolnym programie graficznym do grafiki wektorowej np. InkScape (darmowy), CorelDraw, Adobe Illustrator itp. lub innym umożliwiającym pracę z elementami graficznymi z pakietów programów biurowych np. OpenOffice Impress/Draw (Rysunek/Prezentacja), LibreOffice Rysunek/Prezentacja, Microsoft PowerPoint itp. lub też za pomocą internetowych kreatorów plakatów. Niezależnie od tego w jakim programie zo-

18 „Rzetelność w badaniach naukowych oraz poszanowanie własności intelektualnej”, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Warszawa 2012. http://www.uwm.edu.pl/wnz/sitefiles/file/badania/20120806_rzetelnosc_broszura_fin.pdf (dostęp: 12.2016)

17 Warto również zajrzeć do następujących publikacji: Statystyka. Przewodnik MOCNO ilustrowany, Larry Gonick, Woollcott Smith, Wydawnictwa Wolters Kluwer SA; Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników, Adam Łomnicki, Wydawnictwo Naukowe PWN; Statystyka dla bystrzaków, Deborah J. Rumsey, Wydawnictwo Septem



Ryc. 7. Przykładowa kompozycja plakatu z podziałem na trzy kolumny

Więcej przykładów poprawnych kompozycji plakatów naukowych można znaleźć np. w publikacji J. Weinera *Technika pisanie i prezentowania przyrodniczych prac naukowych*. PWN 2016 (tam również wiele cennych wskazówek na temat elementów treści pracy badawczej).

stał stworzony plakat, należy go zapisać / wyeksportować do formatu PDF. Przykładową kompozycję plakatu z podziałem na trzy kolumny przedstawia rycina 7.

Temat

Musi być zgodny z tematem zgłoszonym do systemu elektronicznego podczas rejestracji. Szczegółowe

informacje dotyczące sformułowania tematu pracy badawczej znajdują się w punkcie 2A. *Jak dokonać wyboru tematu pracy badawczej?* str. 5-9).

Streszczenie (abstrakt)

Abstrakt stanowi syntetyczną informację o przeprowadzonych badaniach, która pozwala zorientować się w zawartości pracy. Objętość typowego abstraktu to 100-200 słów. Abstrakt powinien zawierać jasno sformułowany cel pracy, informację o obiekcie badań, zwięzły opis zastosowanych metod badawczych, zwięzłą informację o wynikach badań oraz wnioski. Może zawierać także postawione hipotezy. W abstrakcie nie powinno się natomiast umieszczać odwołań do konkretnych rycin, czy tabel ani odnośników literaturowych.

Wstęp

Wstęp to inaczej krótkie wprowadzenie w tematykę badań, wraz ze wskazaniem celu badania, problemu badawczego lub pytania badawczego, podaniem hipotez (jeśli jest to możliwe) oraz uzasadnieniem decyzji o podjęciu badań na dany temat. We wstępie powinny znaleźć się informacje o dotychczasowym stanie wiedzy na temat będący przedmiotem badań (potwierdzone powołaniami literaturowymi) oraz o ewentualnych poprzednich próbach rozwiązania przedstawionego problemu badawczego. Logiczne uzasadnienie konieczności podjęcia wybranej tematyki badań stanowi istotne kryterium przy ocenianiu pracy przez recenzentów – warto wykazać, co stanowi o kreatywności i nowatorskim podejściu badawczym oraz czy lub na ile plan badania różni się od znanych i typowych eksperymentów szkolnych i podręcznikowych. We wstępie należy także sprecyzować cel podjęcia badań. Jeśli wykonana praca obwarowana jest określonymi założeniami lub ograniczeniami, to również należy wyraźnie wskazać je we wstępie. Pre-

czyzyjne pytania badawcze i/lub hipoteza badawcza zazwyczaj umiejscowione są w ostatnich liniach wstępu.

Przykładem poprawnej argumentacji zastosowanej we wstępie może być następujący cytat z pracy Uczestnika olimpiady Biologicznej: *„Wiele artykułów na temat aktywności akustycznej owadów zwraca uwagę na wpływ warunków pogodowych na intensywność strydulacji, jednak badacze zazwyczaj nie poświęcają dużej uwagi tym zależnościom. Celem pracy było więc doświadczalne zbadanie wpływu intensywności światła słonecznego na aktywność akustyczną osobników gatunku konika pospolitego *Chorthippus biguttulus* (Linnaeus, 1758).”*

W innej pracy badano wpływ substancji allelopacyjnych wydzielanych przez mięętę pieprzową (*Mentha piperita* L.) na wzrost i rozwój m.in. perzu właściwego (*Elymus repens* L.), ogórka siewnego (*Cucumis sativus* L.) i kapusty głowiastej białej (*Brassica oleracea* L.). We wstępie podano prawidłowe uzasadnienie podjęcia takiego badania: *„Postanowiłam sprawdzić, czy mięta pieprzowa posiada potencjał allelopacyjny, który mógłby być wykorzystany w regulacji zachwaszczenia, a jednocześnie nie powodowałby zahamowania rozwoju roślin uprawnych.”* Choć tematyka pracy nie jest bardzo oryginalna, to podane uzasadnienie i dobór gatunków testowych stanowi ciekawe i kompleksowe ujęcie. Dobrane gatunki testowe reprezentują zarówno pospolite chwasty (perz właściwy), jak i gatunki uprawiane (m.in. ogórek i kapusta), a więc testowany jest środek mający mieć działanie herbicydu w stosunku do chwastów, a jednocześnie nie działający negatywnie na gatunki hodowlane. We wnioskach odniesiono się do tych założeń badania w następujący sposób: *„Substancje zawarte w mięcie pieprzowej nie mogłyby znaleźć zastosowania w hodowli ogórka siewnego, ze względu na hamowanie [jego] wzrostu. Natomiast zaobserwowane przeze mnie właściwości naparu i olejku miętowego, stymulujące wzrost kapusty głowiastej białej, w połączeniu z hamowaniem rozwoju*

chwastów, takich jak perz, mogłyby zostać wykorzystane w rolnictwie.”

Przykładem niewłaściwych założeń i wniosków podobnego badania może być praca, w której porównano skuteczność różnych wywarów (np. chrzanu pospolitego *Armoracia rusticana* P. Gaertn., B. Mey. & Scherb, kasztanowca zwyczajnego *Aesculus hippocastanum* L.) w zwalczaniu chabry bławatka (*Centaurea cyanus* L.) i rumianku pospolitego (*Matricaria chamomilla* L.)¹⁹, scharakteryzowanych jako chwasty w rolnictwie. Na podstawie wyników sformułowano wniosek: „Zastosowanie naturalnych wywarów w walce z chwastami w rolnictwie umożliwia ich skuteczne niszczenie i nie wykazuje negatywnego wpływu na środowisko. Chaber bławatek wykazuje większą wrażliwość na te [badane] wywary niż rumianek pospolity.” Wniosek jest niestety zbyt ogólny, gdyż w pracy nie podjęto badania oddziaływania wywarów na jakąkolwiek roślinę uprawną, ani nie badano wpływu wywarów na środowisko.

Innym ciekawym i poprawnym przykładem właściwego doboru uzasadnienia podjęcia pracy badawczej jest praca, w której badano *Wpływ stymulacji mechanicznej na wzrost i rozwój fasoli zwykłej* (*Phaseolus vulgaris* L.). Uczestnik OB dokonał wyczerpującego przeglądu źródeł literaturowych i zauważył, że w opublikowanych dotąd pracach nikt nie skupił się na wpływie częstotliwości stymulacji mechanicznej międzywęźli fasoli zwykłej na proces tigmomorfogenezy. Jak pisze sam autor pracy: *Nie wykazano istotnej różnicy w długościach międzywęźli pomiędzy próbami badawczymi. Brak wpływu częstotliwości dziennej stymulacji na długość międzywęźli stanowi oryginalną obserwację, nie znajdującą swojego odniesienia w literaturze naukowej.*

19 Warto również pamiętać, że wiele gatunków chwastów segetalnych, m.in. w wyniku zwalczania przy użyciu chemicznych środków ochrony roślin, staje się gatunkami rzadkimi i zagrożonymi wyginięciem.

Materiał i metody badań

Ten fragment plakatu zawiera informacje o obiekcie badań, zwięzły opis planu badania (z uwzględnieniem zastosowanych metod badawczych i wykorzystywanej aparatury oraz liczby i charakterystyki prób badawczych i kontrolnych) oraz informacje o miejscu prowadzenia badań i czasie ich trwania. Tu także powinna znaleźć się informacja o stosowanych testach statystycznych. Pomocne jest zamieszczenie odpowiednio podpisanego schematu obrazującego układ badawczy. Informacja o obiekcie badań powinna obejmować pełną nazwę gatunkową badanego taksonu (polską i łacińską wraz z nazwiskiem odkrywcy), charakterystykę badanych taksonów w zakresie istotnym z punktu widzenia celów pracy oraz informację o liczbie osobników (okazów) objętych procedurą badawczą. W przypadku prac prowadzonych w warunkach laboratoryjnych należy podać informację o pochodzeniu badanych organizmów oraz informację o sposobie i datach poboru materiału do badań. W przypadku prac prowadzonych w terenie należy podać dokładną lokalizację i powierzchnię terenu badań, a także omówić sposób pobierania materiału do badań, a więc na przykład: kryteria doboru poletek testowych, zasady wytyczania transektów, sposób wyznaczania miejsc poboru prób, daty ich poboru etc. Warto dołączyć czytelną mapę lokalizacyjną terenu badań, pamiętając, że mapa taka powinna mieć zorientowany kierunek północy oraz zostać zaopatrzona w podziałkę. Opis zastosowanej procedury badawczej musi być na tyle dokładny, aby inny badacz był w stanie ją powtórzyć, zweryfikować, poddać krytycznej analizie. Jeżeli zastosowana metoda lub aparatura zostały już opisane w dostępnych powszechnie źródłach i są ogólnie stosowane, wystarczy zacytować te źródła ograniczając się do zwięzłego opisu metody lub prezentacji schematu procedury badawczej. Jeżeli natomiast zastosowano nową procedurę lub jakąś modyfikację procedur już

istniejących, to należy je scharakteryzować. Istotnym elementem opisu układu badawczego jest informacja o liczbie prób badawczych, prób kontrolnych oraz wykonywanych powtórzeń, a także o czasie trwania badania. Dla wszystkich mierzonych wartości należy podać precyzję pomiarową. Cennym sposobem przedstawienia metodyki badań jest schemat lub fotografia, jednak muszą one być czytelne i odpowiedniej jakości.

Wyniki

W tej części plakatu znajdują się dane opracowane przez autora, uzyskane podczas prowadzenia doświadczenia lub obserwacji. Tu również powinny znaleźć się wyniki testów statystycznych. Należy podawać miary tendencji centralnej jak średnia czy mediana oraz miary zmienności jak np. odchylenie standardowe. Otrzymane wyniki muszą być przedstawione w zwięzłej i przejrzystej formie. Dane ilościowe najlepiej zaprezentować w tabelach lub na wykresach, pamiętając że te same dane nie powinny być powtarzane w różnych częściach plakatu. Tabele i wykresy muszą być czytelne, odpowiednio opisane i spełniać kryterium samoobjaśnialności, tzn. dać się zrozumieć bez czytania głównego tekstu. Rozbudowana oprawa graficzna nie powinna ograniczać czytelności, np. wykresy z efektami trójwymiarowymi zwykle tylko utrudniają dokładne odczytanie danych. Nie należy umieszczać w treści plakatu surowych danych szczegółowych obliczeń, całych serii zdjęć ani zbiorów, kolekcji czy zielników. Tego typu dokumentacja wraz z zeszytem laboratoryjnym lub dziennikiem obserwacji może być przedstawiona podczas obrony pracy. Tabelaryczną i graficzną wizualizację danych należy uzupełnić opisem słownym, zawierającym podsumowanie najistotniejszych i najciekawszych wyników. W tej części plakatu jednak nie należy zajmować się interpretacją wyników. Dlatego też nie stosujemy w tej części cytatów literaturowych.

Dyskusja

Ten fragment plakatu obejmuje: interpretację uzyskanych wyników, sformułowanie wniosków oraz analizę ich wiarygodności i zasadności. Nie powtarza się tu wyników, lecz poddaje je krytycznej analizie, prowadzącej do potwierdzenia ich wiarygodności oraz adekwatności zastosowanych metod badawczych. Wskazane jest przeprowadzenie porównań i polemik z wynikami innych autorów. W przypadku cytowania wyników badań innych autorów należy opatrzyć je informacją bibliograficzną. We wszelkich analizach porównawczych warto upewnić się, czy metodyka badań innych autorów pozwala na dokonywanie porównań. Ostateczne wnioski powinny mieć zwięzły charakter i być poprzedzone klarownym, logicznym wywodem wiążącym je bezpośrednio z wynikami eksperymentu lub obserwacji. Jeżeli wyprowadzony wniosek jest uogólnieniem, poszerzeniem lub ekstrapolacją wyników dotychczasowych obserwacji lub opiera się na pomocniczych założeniach, to należy to wyraźnie opisać w dyskusji. Jeżeli treść wniosku nie jest nowa w stosunku do istniejących badań, ale nowa jest droga dochodzenia do tego wniosku, również należy o tym napisać²⁰. Częstym błędem popełnianym przez Uczestników Olimpiady jest formułowanie zbyt ogólnych wniosków w stosunku do pozyskanych w badaniu danych. Zdarza się, że wnioski są nieuprawnione ze względu na błędne założenia badania.

Za przykład formułowania nieuprawnionych i zbyt ogólnych wniosków może posłużyć jedna z prac, której celem było „porównanie odporności na temperatury mrozowe ośmiu gatunków roślin zimozielonych różnego pochodzenia.” Wybrano dwie temperatury mrozowe -7 °C i -20 °C. Badanie prowadzono latem, z rosnących w ogrodzie roślin badanych gatunków zrywano repre-

zentatywne próby liści i liście te poddawano działaniu niskich temperatur. Zmienną zależną był stopień uszkodzenia błon komórkowych liści, mierzony przewodnością roztworu. Po przeprowadzonej analizie wyników sformułowano następujący wniosek: „Najmniejsze uszkodzenie błon komórkowych stwierdzono u różanecz-nika Smirnowa co sugeruje, że ten gatunek charakteryzuje się największą odpornością na temperatury mrozowe.” Wniosek jest zbyt ogólny, brakuje informacji, że mowa o największej odporności tylko spośród badanych roślin. Z tak zaprojektowanego układu doświadczalnego wnioski można formułować tylko w stosunku do liści tych roślin, a nie całego gatunku. Ponadto badane liście pochodziły z roślin nie zahartowanych do niskich temperatur(badanie prowadzono latem), o czym należałoby wspomnieć zarówno w założeniach pracy, jak i formułując ostateczne konkluzje z badania.

Na zakończenie działu „Dyskusja” wskazane jest podanie kierunków dalszych badań, wskazówek tematycznych i metodycznych dla przyszłych dociekań naukowych.

Piśmiennictwo (spis literatury)

Spis ten zawiera ponumerowaną listę wszystkich pozycji literatury cytowanej w pracy, zamieszczonych w porządku alfabetycznym według nazwisk pierwszych autorów. Nie mogą znajdować się tu żadne pozycje, które nie były cytowane w treści pracy. Jednocześnie, fragmenty pracy, których treść nie jest własnym wkładem autora, lecz pochodzą ze źródeł zewnętrznych, powinny być opatrzone informacją bibliograficzną. Dane bibliograficzne muszą być podane w znormalizowanej formie. W pracach badawczych przygotowywanych na Olimpiadę Biologiczną przyjęty został standard cytowań określony przez czasopismo Edukacja Biologiczna i Środowiskowa (www.ebis.ibe.edu.pl). W spisie litera-

tury, znajdującym się na końcu pracy, należy stosować zapisy wg następującego wzoru:

- cytowanie książki:

Okuda M, Okuda D (1993). *Star Trek Chronology: The History of the Future*. New York: Pocket Books.

- cytowanie rozdziału w książce:

James NE (1988). Two sides of paradise: the Eden myth according to Kirk and Spock. In: Palumbo D, ed. *Spectrum of the Fantastic*. Westport, Conn: Greenwood; 219-223.

- cytowanie artykułu:

Wilcox RV (1991). Shifting roles and synthetic women in Star trek: the next generation. *Stud Pop Culture*. 13:53-65.

- cytowanie strony internetowej:

McCoy LH (1999). Respiratory changes in Vulcans during ponfarr. *J ExtrMed* [serial online]. 47:237-247. Dostępny na: http://infotrac.galegroup.com/itweb/nysl_li_liu. Dostęp 7.04.1999.

Jakie prace mogą być źródłem cytowań oraz gdzie w tekście plakatu powinny znaleźć się odnośniki do literatury?

Materiały źródłowe w pracach badawczych odgrywają bardzo istotną rolę. Odwołania do literatury przedmiotu pokazują sprawdzającemu/recenzentowi, na ile autor pracy orientuje się w temacie, czy zapoznał się z wynikami badań innych naukowców. Z jednej strony chodzi o to, aby nie powtarzać dokładnie takich samych badań jak już opublikowane, a z drugiej – o to, by Uczestnik jak najlepiej zapoznał się z metodami pracy naukowców będącymi ekspertami w danej dziedzinie.

Odnosniki do danych literaturowych powinno się umieszczać w następujących działach plakatu: „Wstęp”, „Dyskusja”, ewentualnie „Materiał i metody” (o ile Uczestnik wykorzystuje i powołuje się na konkretną, szczególną metodę wykorzystaną i opisaną w innej pracy). Natomiast odwołań literaturowych nie powinno się umieszczać w dziale „Wyniki”. Aby przywołać kon-

20 Patrz również: E.B. Wilson. *Wstęp do badań naukowych*. PWN Warszawa 1964

kretną pozycję bibliograficzną, należy w tekście plakatu podać w nawiasie: nazwisko/-a autora/-ów publikacji, rok wydania i w razie potrzeby numer strony, np.: (Okuda, 2011), (Okuda i wsp., 2010), (Okuda i James, 1999), (Okuda, James i McCoy, 1999, 34-36). Odwołania te odsyłają do pełnych danych bibliograficznych podanych w wykazie cytowanej literatury. Do cytowania nie należy używać przypisów dolnych.

Cytując literaturę we wstępie do pracy warto pokrótce wskazać dlaczego podejmowana tematyka jest ważna i kto się nią do tej pory zajmował. Być może w badaniach innych autorów są luki lub warto z jakiegoś powodu powtórzyć badania, poszerzyć lub wykonać na innej grupie organizmów. Odwołania literaturowe przywoływane w dziale „Dyskusja” mają z kolei na celu interpretację uzyskanych wyników oraz odniesienie wyników badań autora do wyników badań i wniosków innych badaczy. Warto pokazać co nowego wniosła praca do dotychczasowego stanu wiedzy w danej dziedzinie.

Wskazówki do cytowania w pracy dzieł innych autorów:

- Każda z pozycji wymieniona w dziale „Piśmiennictwo”, musi mieć odwołanie w konkretnym fragmencie plakatu – cytowanie musi być spójne z tekstem plakatu.
- Dopuszczalne jest cytowanie wprost – wtedy należy cytowany tekst opatrzyć cudzysłowami lub oznaczyć pochyłym krojem czcionki. Lepiej jest jednak streścić lub krótko omówić myśli, czy spostrzeżenia innego autora i wskazać pozycję bibliograficzną.
- Plakat nie może stanowić wyłącznie zbioru cytatów zaczerpniętych z literatury przedmiotu. Plakat powinien dotyczyć oryginalnych badań autora.
- Cytaty nie są ozdobnikami, ani przerywnikami tekstu – stanowią podstawę do wprowadzenia w tematykę pracy oraz element dyskusji.

- Odwołanie literaturowe powinno być jednoznaczne, aby umożliwiło dotarcie do cytowanej pozycji.
- Należy cytować jedynie źródła, które faktycznie się przeczytało i z których zaczerpnięto informacje.
- Cytując strony internetowe należy podać adres strony (URL, *Uniform Resource Locator*), oraz konieczną datę dostępu (informację na temat dnia, którego pobrano dane).
- Zasadniczo nie cytuje się słowników czy encyklopedii internetowych, np. Wikipedii, ani informacji z forów internetowych, które nie udzielają gwarancji wiarygodności występujących na nich haseł.

Materiały przydatne na etapie obrony pracy

Jeśli jest to uzasadnione, można przygotować dodatkową dokumentację w postaci zdjęć, tabel danych surowych, schematów, szczegółowych obliczeń, zbiorów zielnikowych itp. i wraz z dziennikiem obserwacji lub zeszytem laboratoryjnym przedstawić podczas obrony pracy.

Literatura pomocna przy przygotowywaniu pracy badawczej na Olimpiadę Biologiczną

- L. Gonick, W. Smith, *Statystyka – przewodnik mocno ilustrowany*, Oficyna Wolters Kluwer, Warszawa 2011
- J. Weiner, *Technika pisania i prezentowania przyrodniczych prac naukowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016
- A. Łomnicki, *Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014
- P. P. Grzybowski, K. Sawicki, *Pisanie prac i sztuka ich prezentacji*, Oficyna Wydawnicza „Impuls”, Kraków 2010

- A. Komosa, J. Musiałkiewicz, *Statystyka*, Wydawnictwo Ekonomik, Warszawa 2010
- P. Biecek, *Odkrywać! Ujawniać! Objaśniać! Zbiór esejów o sztuce prezentowania danych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2016
- J. Woyke, H. Woyke *Jak nie należy pisać prac naukowych*, http://jerzy_woyke.users.sggw.pl/jaknie-pisac.html#PrzeGLit (dostęp 12.2016)

Lista sprawdzająca przed oddaniem plakatu do oceny

Przed oddaniem plakatu do oceny należy sprawdzić, czy praca spełnia poniższe kryteria:

TEMAT – przedstawia tematykę Twojej pracy badawczej

- Jest zgodny z tematem zgłoszonym do systemu elektronicznego podczas rejestracji.

STRESZCZENIE (ABSTRAKT) – stanowi zwięzły opis badania, po jego przeczytaniu można zorientować się w zawartości Twojej pracy

- Zawiera cel badania z uwzględnieniem obiektu badań, zmiennych niezależnych (jeśli wskazanie ich jest możliwe) oraz parametrów mierzonych (zmiennych zależnych) lub cech obserwowanych w badaniu.
- Może zawierać pytanie badawcze i/lub postawione hipotezy.
- Zawiera zwięzłą informację o zastosowanych metodach badawczych.
- Zawiera zwięzłą informację o wynikach badań.
- Zawiera wniosek/-ski wynikający/-ce wprost z otrzymanych wyników, będący/-ce odpowiedzią na problem badawczy.

- Nie powtarza tematu pracy.
- Nie zawiera odwołań do tabel i rycin, ani odwołań literaturowych.
- Jeśli praca powstała, w jakimkolwiek stopniu, na podstawie wyników prezentowanych podczas innych konkursów, turniejów lub olimpiad (w tym podczas poprzednich edycji Olimpiady Biologicznej), to informacja ta powinna być zaznaczona w ostatnim zdaniu streszczenia (wyróżnionym pochyloną czcionką – *kursywą*).

WSTĘP – krótkie wprowadzenie w tematykę badań i wskazanie problemu badawczego

- Zawiera uzasadnienie podjęcia badań.
- Zawiera informację o dotychczasowym stanie wiedzy na temat będący przedmiotem badań, wraz z odniesieniami do danych literaturowych.
- Zawiera cel/-e badania z uwzględnieniem obiektu badań, zmiennych niezależnych (jeśli wskazanie ich jest możliwe) oraz parametrów mierzonych (zmiennych zależnych) lub cech obserwowanych w badaniu.
- Zawiera pytania badawcze lub/i hipotezy postawione przed przystąpieniem do badania.

MATERIAŁY I METODY – opis obiektów i metod badawczych oraz miejsca prowadzenia badań

- Zawiera pełną polską i łacińską nazwę gatunkową badanych taksonów.
- Przynależność systematyczna i krótka charakterystyka badanych taksonów powinna ograniczać się do informacji niezbędnych z punktu widzenia prowadzonych badań.
- Zawiera informacje o miejscu wykonywania badania lub opis terenu badań z uwzględnieniem dokładnej lokalizacji oraz informacje o sposobie pozyskania materiału badawczego.

- Zawiera opis metod badawczych, z odniesieniami literaturowymi do zastosowanych metod, jeśli takie istnieją. Jeżeli metoda jest standardowa to wystarczy ją zacytować – niewskazane jest jej szczegółowe opisywanie.
- Zawiera informacje o rodzaju i specyfice wykorzystanej aparatury, sprzętu, narzędzi i technik badawczych.
- Zawiera informację o czasie trwania badania.
- Zawiera opis lub schemat układu badawczego, z uwzględnieniem informacji o doborze prób i sposobie próbkowania.
- Zawiera liczbę prób badawczych i kontrolnych oraz wykonanych powtórzeń, jeśli wskazanie ich jest zasadne.
- Zawiera informację o zastosowanych metodach obliczeniowych i testach statystycznych, jeśli zebrane dane wymagają ich wykorzystania.
- Może zawierać czytelne i opisane zdjęcie materiału badawczego i/lub aparatury.
- Opis przeprowadzonego badania musi być na tyle dokładny, aby inny badacz był w stanie je zweryfikować i poddać krytycznej analizie.

WYNIKI – czytelne przedstawienie najważniejszych danych uzyskanych z badania

- Zawiera opis uzyskanych wyników bez prób ich interpretacji i bez odwołań do literatury.
- Zawiera rezultaty analizy statystycznej (jeśli temat wymaga jej zastosowania).
- Może zawierać tabele przetworzonych danych i/lub czytelne wykresy, spełniające kryterium samoobjaśnialności.
- Nie zawiera różnych form przedstawienia tych samych danych np. raz w formie tabeli, a raz w formie wykresu lub w głównym tekście.

- Tabele i ryciny są oddzielnie ponumerowane i czytelnie podpisane – tabele mają tytuły umieszczone nad tabelą, a ryciny mają podpisy umieszczone pod ryciną.
- Nie zawiera surowych (nieuporządkowanych) danych, szczegółowych obliczeń, zbiorów, kolekcji ani zliczeń.

DYSKUSJA – podsumowanie i interpretacja wyników oraz wnioski

- Zawiera interpretację uzyskanych wyników.
- Zawiera odniesienia do literatury przedmiotu wskazujące na zasadność interpretacji wyników.
- Opisuje przyczyny zaobserwowanych zjawisk, poparte danymi literaturowymi.
- Zawiera precyzyjnie sformułowany/-ne wniosek/-ki z przeprowadzonych badań.
- Wniosek wynika z otrzymanych wyników, jest odpowiedzią na pytanie badawcze i/lub sprawdzeniem hipotezy.
- Może zawierać wskazówki tematyczne i metodyczne do przyszłych badań.

LITERATURA/PIŚMIENICTWO – alfabetyczna lista cytowanych w treści plakatu źródeł literaturowych

- Zawiera ponumerowaną, alfabetyczną listę wszystkich źródeł literaturowych i internetowych, do których odwoływano się w treści plakatu.
- Zawiera kompletne notki bibliograficzne, zgodnie z przyjętym standardem cytowań.
- Może zawierać literaturę obcojęzyczną.

PONADTO:

- Sprawdź czy w części nagłówkowej oprócz tematu pracy znajduje się także **imię i nazwisko autora, klasa, nazwa szkoły oraz imię i nazwisko nauczyciela**, będącego Twoim opiekunem

podczas przygotowywania pracy oraz w czasie uczestnictwa w zawodach Olimpiady Biologicznej.

- Sprawdź, czy plakat ma format A0, jest czytelny i estetyczny i spełnia wszystkie wymogi edytorskie (np. rozmiar czcionki nie mniejszy niż 24 pkt, interlinię itp.).
- Sprawdź poprawność językową, ortograficzną i interpunkcyjną tekstu.
- Sprawdź, czy wszystkie tabele i ryciny (zdjęcia, schematy, mapy, wykresy) są czytelne, odpowiednio ponumerowane i podpisane.
- Daj plakat do przeczytania osobie niezorientowanej w prowadzonej przez Ciebie pracy badawczej, np. koleżance lub koledze, rodzicowi lub nauczycielowi innego przedmiotu.
- Gotowy plakat należy zapisać jako plik w formacie PDF, który nie przekracza wielkości 25MB.

Etap recenzji plakatu zgłoszonego do Olimpiady Biologicznej

Zgodnie z regulaminem OB, recenzji merytorycznej podlegają tylko prace uczniów zakwalifikowanych do zawodów III stopnia. W wyniku procesu oceny merytorycznej pracy, zawodnicy dostaną uzgodnioną na spotkaniu Komisji Oceniającej treść recenzji uwzględniającą m.in. opis mocnych i słabych stron zgłoszonej pracy badawczej. Recenzja służy uczniowi do właściwego przygotowania się do obrony pracy badawczej podczas zawodów III stopnia. Recenzje te nie mają wpływu na ostateczną punktację otrzymaną przez ucznia na obronie pracy. Należy pamiętać, że lista rankingowa finalistów i laureatów Olimpiady Biologicznej oparta jest wyłącznie na sumie punktów otrzymanych przez Uczestników w zawodach centralnych, na które składa się także ustna obrona pracy badawczej przed Komisją.

Każdy z recenzentów oraz Komisja Oceniająca będą oceniać prace merytorycznie według kryteriów przedstawionych poniżej. Praca jest oceniana pod względem poprawności merytorycznej i wizualnej oraz pod względem szczególnych walorów, którymi praca może się wyróżniać.

I. Poprawność pracy

Recenzenci sprawdzają merytoryczną i wizualną poprawność przedstawionej pracy w pięciu działach:

1. Tematyka pracy
 - Zgodność treści plakatu z tematem.
 - Poprawność streszczenia.
 - Prawidłowe uzasadnienie podjęcia badań.
 - Właściwie sformułowany cel badań/problem badawczy.
2. Materiały i metody pracy
 - Prawidłowy dobór i opis materiału badawczego (obiektu, terenu badań).
 - Właściwy dobór parametrów mierzonych lub cech obserwowanych w badaniu.
 - Prawidłowy plan badania umożliwiający wnioskowanie na podstawie zebranych danych (np. dobór prób, sposób próbkowania, reprezentatywność próby, odpowiedni czas trwania badania).
 - Prawidłowy sposób rejestracji danych, w tym dobór sprzętu, narzędzi i technik pomiarowych i obserwacyjnych.
 - Opis materiałów i metod pracy umożliwiający ocenę wyników.
3. Wyniki
 - Właściwy opis i opracowanie wyników.
 - Właściwe przedstawienie danych – dobór i poprawność merytoryczna tabel, schematów i wykresów (w tym ich samoobjaśnialność).

Pamiętaj, co mówi regulamin OB.

4.2.3. Zawody III stopnia (centralne) (...)

Zawody centralne są poprzedzone recenzjami prac badawczych.

i. Recenzji pracy badawczej każdego Uczestnika zawodów III stopnia dokonuje co najmniej dwóch niezależnych recenzentów (zwykle nauczycieli akademickich lub biologów specjalizujących się w danej dziedzinie będących członkami KG lub KO) do dnia 31 marca.

Na początku kwietnia odbywa się kilkudniowe posiedzenie Komisji Oceniającej, podczas którego omawiane są prace badawcze. Treść recenzji razem z liczbą uzyskanych punktów najpóźniej na tydzień przed zawodami centralnymi jest udostępniana Dyrektorowi Szkoły.

ii. Uczestnikowi zawodów centralnych nie przysługuje prawo odwołania się od recenzji pracy badawczej. Jeżeli uczeń nie zgadza się z oceną, powinien swoje argumenty przedstawić podczas obrony pracy w czasie trwania zawodów centralnych.

(...)

v. Po egzaminie pisemnym odbywa się część ustna zawodów polegająca na obronie pracy badawczej przed Komisją ds. prac badawczych złożoną z członków KG i KO.

Po przeprowadzeniu zawodów III stopnia, KG ustala listę rankingową Uczestników i ogłasza listę finalistów oraz laureatów. Lista rankingowa oparta jest na sumie punktów otrzymanych przez Uczestników we wszystkich trzech częściach zawodów centralnych, czyli z zadań praktycznych, egzaminu pisemnego i obrony pracy badawczej.

Załącznik 2 do REGULAMINU OGÓLNOPOLSKIEJ OLIMPIADY BIOLOGICZNEJ. Prace badawcze

Praca badawcza podlega ocenie formalnej na etapie szkolnym. Przed zawodami centralnymi wykonywane są dwie niezależne recenzje każdej pracy.

- 1) Zgłoszenie tematu pracy badawczej (w systemie elektronicznym) jest warunkiem niezbędnym do przystąpienia Uczestnika do zawodów I stopnia (szkolnych).
- 2) Zgodność tematyki pracy badawczej z regulaminem OB i obowiązującym prawem w Polsce oraz zdeponowanie pracy w formacie PDF (w systemie elektronicznym) jest warunkiem niezbędnym, aby Uczestnik posiadający odpowiednią liczbę punktów z testu na etapie szkolnym uzyskał kwalifikację do etapu II (okręgowego).
- 3) Praca badawcza Uczestników zakwalifikowanych do III etapu (centralnego) zawodów podlega pełnej ocenie merytorycznej. Każda praca recenzowana jest przez co najmniej dwóch niezależnych recenzentów i dyskutowana na panelu eksperckim odbywającym się przed zawodami centralnymi. W czasie zawodów centralnych Uczestnik broni swoją pracę przed Komisją Oceniającą.

- Poprawność podstawowej analizy statystycznej wyników uwzględniająca przynajmniej obliczenia średnich lub median oraz odchyłeń standardowych lub miar zmienności²¹.
- 4. Prowadzenie dyskusji i wnioskowanie
 - Poprawność interpretacji uzyskanych wyników
 - Poprawność dyskusji prowadzonej w odniesieniu do wyników własnych i danych literaturowych
 - Wnioski prawidłowo sformułowane i uprawnione
- 5. Spójność i forma pracy
 - Właściwie cytowana literatura oraz prawidłowe merytorycznie odniesienia literaturowe w tekście
 - Poprawny układ pracy
 - Poprawny język i słownictwo naukowe
- Wyniki pracy niosą wartość dla środowiska lokalnego i/lub społeczności lokalnej.

II. Szczegółne walory pracy

W tej części recenzenci docenić mogą takie walory pracy, jak np.:

- Praca twórcza, prezentująca oryginalne podejście autora/ki do badanego zagadnienia.
- Praca o szczególnej wartości badawczej – np. dotyczy nierozwiązanego do tej pory problemu badawczego, wnosi wkład w rozwój badań podstawowych lub aplikacyjnych.
- Praca zawiera pogłębioną analizę statystyczną z uwzględnieniem poprawnych testów statystycznych.
- Praca przedstawia szczególne zaangażowanie autora/ki.

²¹ To kryterium jest brane pod uwagę wyłącznie dla prac, w których charakter zebranych danych wymaga analizy statystycznej (m.in. prace o charakterze doświadczenia). Niektóre prace o charakterze obserwacyjnym nie będą podlegały ocenie pod względem tego kryterium.

Zajęcia terenowe – ekscytująca przygoda z przyrodą

Elżbieta Roland

do pobrania: załączniki – karty zadań:

w DOC: <http://ebis.ibe.edu.pl/docs/ebis-2017-2/ebis-2017-2-zajecia-terenowe-zal.doc>

lub w PDF: <http://ebis.ibe.edu.pl/docs/ebis-2017-2/ebis-2017-2-zajecia-terenowe-zal.pdf>



dr Elżbieta Roland: adiunkt w Katedrze Zoologii, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Zielonogórski

Wprowadzenie

W nowoczesnym nauczaniu przedmiotów przyrodniczych dąży się do stworzenia sytuacji dydaktycznych, które umożliwią całościowe poznanie świata oraz procesów zachodzących w środowisku naturalnym a także takich które, sprzyjają rozwojowi osobowości ucznia przygotowując go do twórczego i samodzielnego życia w ciągle zmieniającym się świecie

Jednym z ważniejszych elementów pozwalający realizować to holistyczne podejście do nauczania są zajęcia terenowe (Szyszko-Bohusz 1989). Stwarzają one uczniom dogodne warunki samodzielnego poszukiwania, prowadzących do zdobycia nowych wiadomości w sposób aktywny i twórczy (Okoń 2007, Kowalczyk). Umożliwiają wykorzystanie najbliższego środowiska jako źródła wiedzy przyrodniczej. Odpowiednio ukształtowane uczą umiejętności obserwacji środowiska i dokonywania ich opisu, prowadzą do zdobywania umiejętności praktycznych: posługiwania się mapą, kompasem przewodnikami, atlasami roślin i zwierząt oraz prostym sprzętem badawczym (Stawiński 2000), kształcą wyobraźnię przestrzenną. Kształtują więzi emocjonalne i kulturę obcowania z przyrodą, integrują zespół uczniowski, zbliżają do siebie nauczyciela i uczniów. Są okazją do rozmów, otwarcia się na innych, budowania zaufania. Uczą zachowania się w różnych sytuacjach lub miejscach, często nowych lub nietypowych.

Rola zajęć terenowych została doceniona w podstawie programowej kształcenia ogólnego, gdzie zapisano konieczność realizacji takich zajęć na poszczególnych etapach kształcenia. Tak więc przed nauczycielami stoi zadanie jakim jest przygotowanie zajęć w terenie uwzględniając fakt, że w nowoczesnej edukacji nie chodzi jedynie o to, by młodzież przyswoiła więcej wiedzy, lecz przede wszystkim, by sprzyjać jej rozwojowi.

Okres szkolny, w przypadku młodzieży w wieku 13-15 lat, przypada na czas przejściowy między dzieciństwem a dorosłością zwanym wczesną fazą dorastania. Jest to bardzo szczególny okres w rozwoju psychologicznym i fizycznym młodzieży. Dochodzi wówczas do odkrywania własnych potencjałów i kierunków rozwoju, kształtowania własnego ego, systemu wartości i światopoglądu wraz z nieodpartą potrzebą osiągnięcia subiektywnie rozumianej wolności i autonomii (Kliś i Nieciński 2011). W tym wieku młodzież jest szczególnie podatna na przeżycie przygody (Palamer-Kabacińska 2014). Dzięki uczestnictwu w przygodach, które stanowią wyzwanie, jest ona w stanie sprawdzić się i rozwijać w dziedzinach wykraczających poza codzienną rutynę. Warto więc stworzyć w realiach szkoły możliwość przeżycia przygody. Jest ona możliwa w różnych przestrzeniach, których wspólną cechą jest niestandardowość. Taką przestrzenią dla wielu młodych ludzi jest środowisko przyrodnicze. Dla wielu z nich niestandardowość tej przestrzeni wynika z bardzo ograniczonego lub zupełnego braku kontaktu z przyrodą, który jest opisywany w literaturze jako przyczyna większości dysfunkcji rozwojowych w sferze psychosomatycznej określanymi mianem „Zespołu braku kontaktu z przyrodą” (Louv 2014).

Dla wielu uczniów środowisko miasta tworzy pewnego rodzaju strefę komfortu. W strefie tej znajdując się pośród osób, aktywności, przedmiotów, które zna, czuje się bezpiecznie. Jednak pozostając w tej strefie, niewiele się uczy, zna dokładnie swoje możliwości w ramach tej strefy, wiele czynności wykonuje rutynowo (Leśny 2014).

Dlatego zgodnie z metodyką adventure education nauczyciel powinien proponować uczniom działania wspierające w przekraczaniu ich strefy komfortu poprzez kreowanie nowych wyzwań związanych z przełamaniem się, wysiłkiem, doświadczaniem. W tej strefie

człowiek uczy się nowych rzeczy skuteczniej (Leśny 2014).

Wychodząc naprzeciw potrzebom sprzyjających rozwojowi uczniów i edukacyjnym szkół nauczyciele powinni poszukać nowych rozwiązań edukacyjnych. Zwłaszcza, że obserwacje i wyniki badań prowadzonych wśród uczniów z grupy wiekowej 13-15 lat, wskazują na to, że oczekują oni ciekawie prowadzonych lekcji, o nietypowym przebiegu (Kacperczyk i in. 2010).

W pracy przedstawiono propozycję takiego rozwiązania. Proponowane działanie to zajęcia terenowe zrealizowane w formie edukacyjnej gry dającej szansę przeżycia przygody w przyrodzie.

Zajęcia terenowe

Realizacja zajęć terenowych ma swoją charakterystyczną, złożoną strukturę. Pierwszy etap – obejmuje: przygotowanie do pracy w terenie; wyznaczenie celu zajęć, odpowiedni dobór treści, opracowanie przebiegu trasy, dobór właściwych metod nauczania i odpowiednich środków dydaktycznych, opracowanie scenariusza zajęć z propozycjami zadań do wykonania przez uczniów, opracowanie zasad dokumentowania wyników, sprawdzania osiągnięć. Drugi etap – praca w terenie; wykonanie zaprojektowanych działań, udokumentowanie przebiegu i wyników obserwacji (szkice, rysunki, wywiady, notatki, pomiary, wykresy, sprawozdania itp.). Trzeci etap – podsumowanie; omówienie wyników obserwacji, wymiana spostrzeżeń, weryfikacja rozwiązań. Czwarty etap – wykorzystanie zebranych materiałów (okazy naturalne, wyniki pomiarów) w dalszej pracy dydaktycznej w szkole. Piąty etap – sprawdzenie osiągnięć uczniów (Stawiński 2000).

Jedną z form realizacji zajęć terenowych może być zaprezentowana poniżej gra terenowa. Jest ona porównywana do happeningu, podchodów lub harcerskiego

biegu na orientację. Ponieważ łączy ona wszystkie te elementy, jest niezwykle atrakcyjnym, cenionym za skuteczność narzędziem dydaktycznym. Edukacyjne gry rozgrywane są w terenie odpowiednio dobranym ze względu na realizowane cele.

Gra terenowa oparta jest o zasady opracowane w taki sposób, aby służyły poszerzeniu zasobów wiedzy i doskonaleniu umiejętności graczy. Gra pozwala poznać teren i jego zasoby, odkryć nieznane dotąd szczegóły otaczającej nas rzeczywistości, wyzwolić ducha współzawodnictwa, ale także działania zespołowego w celu osiągnięcia konkretnego celu. Poza tym motywuje uczestników do współpracy oraz podejmowania wspólnych, szybkich decyzji. Zadania jakie mają wykonać gracze wymagają zwykle kreatywności, stawiają w nietypowych sytuacjach, wymagających podjęcia wyzwań. Poprzez działanie i przeżywanie, syntezę nowych doświadczeń, refleksję uczestnicy mają szansę na sprawdzenie i wzbogacenie swojej wiedzy i umiejętności, a także kształtowanie systemu wartości.

W procesie nauczania gra może służyć jako utrwalenie wiadomości lub ich powtórzenie.

Terenowa gra edukacyjna „przyrodnicza eskapada”

Projekt, realizowany jesienią 2013 roku wspierany był organizacyjnie i finansowo przez PGE Gubin, przy dużym zaangażowaniu Zespołu Szkół w Grabicach. W projekcie udział brali uczniowie gimnazjów publicznych z Gminy Gubin i Brody oraz ich nauczyciele biologii i geografii. Celami skierowanymi na uczniów było: zdobywanie i poszerzenie wiedzy o przyrodzie, propagowanie zachowań korzystnych dla środowiska naturalnego, kształtowanie umiejętności: działania zespołowego w celu osiągnięcia zamierzonego celu, kształtowanie umiejętności komunikowania się, krea-

tywności, wyzwolenie ducha rywalizacji. Cele skierowane na nauczycieli to prezentacja interesującej formy edukacyjnej, którą można wykorzystać w realiach szkoły.

Gra odbyła się w lesie, w pobliżu miejscowości Grabice. Wyznaczono tam pięciokilometrową trasę o różnicowanym ukształtowaniu terenu sprawiającym, że pokonanie jej stanowiło dla uczestników wyzwanie. Trasę uczestnicy mieli pokonać w określonym czasie. Na trasie wyznaczono punkty gdzie uczestnicy wykonywali zadania zgodnie z wskazówkami. Przygotowane zadania sprzyjają poznaniu przyrody ekosystemu lasu i problemów, które pojawiają się w lasach w związku z bliskością terenów zurbanizowanych. Nazwy przypisane kolejnym punktom na trasie to „Znajdź ścieżkę do lasu”, „Poszukiwacze przyrodniczych skarbów”, „Co rośnie w naszych lasach?”, „Kartoteka drzewa”, „Na tropach zwierząt”, „Detektywi gleby - co żyje w glebie?”, „Daj śmieciom drugie życie”, „Odśwież las”, „W harmonii z przyrodą”. W trakcie wykonywania zadań uczestnicy gry wykazują się różnorodną aktywnością wyzwalającą w nich konieczność współpracy, podejmowania decyzji.

Scenariusz gry edukacyjnej „Przyrodnicza eskapada”

Cele:

- poznanie walorów przyrodniczych najbliższej okolicy,
- zdobywanie i poszerzenie wiedzy o przyrodzie,
- propagowanie zachowań korzystnych dla środowiska naturalnego
- kształtowanie umiejętności: współpracy, komunikowania się,

Zakres treści: rośliny i zwierzęta lasu, ochrona środowiska przed odpadami, idea zrównoważonego rozwoju.

Miejsce realizacji: teren leśny

Uczestnicy: młodzież szkolna w wieku 13-14 lat

Czas trwania: 2,5 godziny

Zasady gry

1. Gra polega na:
 - przebyciu wyznaczonej trasy, w wyznaczonym czasie,
 - rozwiązywaniu zadań o tematyce ekologiczno-przyrodniczej.
2. W grze uczestniczą uczniowie w zespołach czteroosobowych.
3. Grupy wybierają lidera.
4. Drużyny z punktu startowego udają się (korzystając urządzeń GPS i mapy) do kolejnych punktów na trasie, zgodnie z wytycznymi otrzymanymi w materiałach.
Ogólna liczba punktów na trasie gry – 9.
Uczestnicy mają za zadanie odnalezienie poszczególnych punktów w terenie i wykonanie, na każdym z nich, przygotowanych zadań. Zadania są punktowane.
Grupy muszą dotrzeć do punktu końcowego – w ciągu 1,5 godziny od startu.
5. W punkcie końcowym oddają swoje karty zadań, które zostają sprawdzone.
6. Grę uznaje się za zaliczoną, gdy zespół dotrze w wyznaczonym czasie do punktu końcowego i poświadczy kartami zadań stopień wykonania wszystkich zadań.
7. Zwycięża ten zespół, który dotrze w wyznaczonym czasie do punktu końcowego, wykona wszystkie zadania i zdobędzie najwięcej punktów. W przypadku gdy więcej grup uzyska ten sam wynik o zwycięzcy decyduje dogrywka (dodatkowe zadanie).
8. W punkcie końcowym podsumowanie gry, ogłoszenie zwycięzców.

Realizacja

I. Rozpoczęcie

1. Powitanie uczestników.
2. Zapoznanie z celami i zasadami gry.
3. Poszczególne grupy wybierają nazwę dla swojej grupy i wpisują ją na kartkach przyklejonych do odzieży.
4. Grupy wybierają lidera.
5. Grupy otrzymają niezbędne materiały
 - mapa obszaru, w której gra będzie się odbywać
 - kartę z zasadami gry
 - karty zadań (załącznik 1-9)
 - przewodniki do oznaczania drzew, zwierząt bezkręgowych, tropów i śladów,
 - długopis, ołówek,
 - urządzenie GPS,
 - łopatką,
 - miarka.

II. Przebieg gry

1. Start
2. Drużyny z punktu startowego udają się (korzystając z mapy i urządzeń GPS) do kolejnych punktów na trasie.
3. Poruszają się po trasie gry zgodnie z wytycznymi otrzymanymi w materiałach i mapą terenu.
4. Na poszczególnych punktach rozwiązują zadanie, wypełniają karty zadań od 1-9.
5. Meta.
6. Grupy oddają nauczycielowi swoje karty zadań.
7. Nauczyciel sprawdza je i wpisuje punktację.
8. Zwycięża ten zespół, który dotrze w wyznaczonym czasie do punktu końcowego i zdobędzie najwięcej punktów. W przypadku gdy więcej grup uzyska ten sam wynik o zwycięzcy decyduje dogrywka (dodatkowe zadanie)

III. Podsumowanie i zakończenie

Podsumowanie

Przedstawiona propozycja nie jest złotym środkiem na rozwiązanie problemów związanych z realizacją zajęć terenowych. Ma być przykładem inspirującym nauczycieli do poszukiwań i wdrażania do praktyki szkolnej interesujących, nowoczesnych rozwiązań edukacyjnych, aby zajęcia terenowe nie były tylko koniecznością wynikającą z podstawy programowej.

Ważne aby dla swoich działań nauczyciele znaleźli wsparcie we władzach oświatowych aby zajęcia terenowe mogły stać się ekscytującą przygodą z przyrodą.

Literatura

- Kacperczyk A. et al. (2010) *Raport końcowy z badań: Kim jest współczesny gimnazjalista?* Uniwersytet Łódzki Instytut Socjologii Katedra Metod i Technik Badań Społecznych; s. 83. dostępny na <http://www.eksoc.uni.lodz.pl/is/doc/gimnazjalista.pdf> (otwarty 04.11.2015).
- Kliś M., Nieciński S. (2011) *Poradnik. Rozwój, problemy i zagrożenia, wybór zawodu.* Wydawnictwo Ministerstwo Edukacji Narodowej, Kraków; s.48-61.
- Kowalczyk M. *Zajęcia terenowe w procesie kształcenia*, dostępny na www.edukacja.edux.pl/p-9786-zajecia-terenowe-w-procesie-ksztalcenia.php (otwarty 04.11.2015).
- Leśny A. (2014) *Pedagogika przygody – konteksty teoretyczne.* [W]: Przygoda w edukacji i edukacja w przygodzie. W: Bąk A., Leśny A., Palamer-Kabacińska E (red.). Fundacja Pracownia Nauki i Przygody, Warszawa; s. 12-49.
- Louv R. (2014) *Ostatnie dziecko lasu. Jak uchronić nasze dzieci przed zespołem deficytu natury.* Wydawnictwo Mamania, Warszawa; s. 1-432.
- Michl W. (2011) *Pedagogika przeżyć.* Wydawnictwo WAM, Kraków, s. 9-93.
- Okoń W. (1996) *Wprowadzenie do dydaktyki ogólnej.* Wydawnictwo „ŻAK”, Warszawa; s. 65-336.
- Palamer-Kabacińska E. (2014) *Edukacja przygodą a harcerstwo – (nie)znane i (czy) zapomniane?.* [W]: Przygoda w edukacji i edukacja w przygodzie. Bąk A. et al. Fundacja Pracownia Nauki i Przygody, Warszawa; s. 78-111.
- Roland E. (2013) *Koncepcja zadania w zakresie edukacji ekologiczno-przyrodniczej młodzieży szkolnej gminy Gubin i gminy Brody.* Na-

rodowy Program Ochrony Środowiska; s.1-12.
Stawiński W. (2000). *Zajęcia terenowe – wycieczki*. [W]: Dydaktyka Biologii i Ochrony Środowiska, Stawiński W. et al. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa - Poznań:166 – 185
Szyszko-Bohusz A. (2005). *Pedagogika holistyczna. Encyklopedia pedagogiczna XXI wieku*. Wydawnictwo Akademickie ŻAK, Warszawa; s.152-156.

pobierz załączniki – karty zadań:

w DOC: <http://ebis.ibe.edu.pl/docs/ebis-2017-2/ebis-2017-2-zajecia-terenowe-zal.doc>

lub w PDF: <http://ebis.ibe.edu.pl/docs/ebis-2017-2/ebis-2017-2-zajecia-terenowe-zal.pdf>

**kliknij na link powyżej
i zapisz lub otwórz**

Przystosowania roślin do środowiska w praktyce – propozycja zajęć

Magdalena Zboińska

Wprowadzenie

Założeniem zajęć jest zapoznanie uczniów z przystosowaniami (adaptacjami) roślin do środowiska oraz wprowadzenie pojęcia formy ekologicznej. Przeprowadzenie lekcji jest możliwe po omówieniu treści programowych związanych z tkankami roślinnymi, budową anatomiczną i morfologiczną organów roślinnych oraz modyfikacjami korzeni, łodyg i liści. Proponowany temat można potraktować również jako podsumowanie wiadomości do sprawdzianu czy kartkówki z tkanek i organów roślinnych. Jeżeli chcemy zagadnienie omówić szerzej, do jego zakresu można również włączyć informacje dotyczące charakterystycznych cech kwiatów owadopylnych i wiatropylnych oraz sposobów rozprzestrzeniania nasion.

Proponowane zajęcia mogą być przeprowadzone w sali lekcyjnej lub w ogrodzie botanicznym. To drugie rozwiązanie jest szczególnie zalecane, ponieważ konieczność wycieczek terenowych, wizyt w muzeach czy ogrodach botanicznych jest podkreślana przy realizacji celu kształcenia „Postawa wobec przyrody i środowiska”. Zajęcia prowadzone wyłącznie w sali lekcyjnej nie są jednak w żadnym wypadku skazane na niepowo-

dzenie. Wystarczy trochę czasu, przejrzanie szkolnych i domowych parapełtów, dostęp do akwarium i ogródka miłośnika roślin oraz... sekator. Wyszukanie roślin o konkretnych przystosowaniach może być też pracą domową dla uczniów. Aby ułatwić przygotowanie do zajęć prowadzonych w szkole, w materiale teoretycznym dla nauczyciela w nawiasach podano przykładowe gatunki, u których dane adaptacje można zaobserwować (Załącznik 1.). Dodatkowa lekcja powinna zostać poświęcona na omówienie charakterystycznych cech budowy anatomicznej hydrofitów, sukulentów czy sklerofitów w oparciu o obserwacje mikroskopowe świeżych lub utrwalonych preparatów przedstawiających przekroje przez organy roślinne. W tej części zajęć proponuję skorzystać z gotowych do podpisania schematów prezentujących budowę wewnętrzną liści różnych form ekologicznych roślin (Załącznik 2.). Pracę domową mogą stanowić zadania maturalne nawiązujące do prezentowanych w czasie lekcji zagadnień (Załącznik 4.). Propozycja tabeli podsumowującej wiedzę uzyskaną przez uczniów znajduje się w Załączniku 3.

Scenariusz

Temat zajęć: Jak rośliny przystosowują się do środowiska?

Charakter zajęć: zajęcia w klasie lub wyjście do ogrodu botanicznego

Proponowane terminy: maj, czerwiec, wrzesień, początek października

Czas trwania zajęć: w zależności od zakresu zajęć od 90 minut (zajęcia prowadzone wyłącznie w sali lekcyjnej) do całego dnia (wyjście do ogrodu botanicznego + obserwacje mikroskopowe w klasie)

Adresaci: uczniowie licem lub technikum (IV etap edukacyjny, biologia, zakres rozszerzony)

Odniesienie do podstawy programowej

Cele kształcenia:

- I. Poznanie świata organizmów na różnych poziomach organizacji życia.
Uczeń (...) przedstawia związki między strukturą a funkcją na różnych poziomach organizacji życia, przedstawia i wyjaśnia zależności między organizmem a środowiskiem, wskazuje źródła różnorodności biologicznej i jej reprezentację na poziomie genetycznym, gatunkowym i ekosystemów; (...).
- III. Poglębianie znajomości metodyki badań biologicznych.
Uczeń rozumie i stosuje terminologię biologiczną; planuje, przeprowadza i dokumentuje obserwacje (...), formułuje wnioski z przeprowadzonych obserwacji i doświadczeń.
- IV. Poszukiwanie, wykorzystanie i tworzenie informacji.
Uczeń odczytuje, selekcjonuje, porównuje i przetwarza informacje pozyskane z różnorodnych źródeł (...).
- V. Rozumowanie i argumentacja.
Uczeń objaśnia i komentuje informacje, wyjaśnia zależności przyczynowo-skutkowe, formułuje wnioski (...).
- VI. Postawa wobec przyrody i środowiska.
Uczeń (...) prezentuje postawę szacunku wobec siebie i wszystkich istot żywych, środowiska (...).

Treści nauczania:

- IV. Przegląd różnorodności organizmów
5. Rośliny lądowe. Uczeń:
 - 2) (...) opisuje zróżnicowanie budowy ich ciała, wskazując poszczególne organy i określając ich funkcje



mgr Magdalena Zboińska: Zakład Fizjologii Molekularnej Roślin, Instytut Biologii Eksperymentalnej, Wydział Nauk Biologicznych, Uniwersytet Wrocławski

6. Rośliny – budowa i funkcje tkanek i organów. Uczeń:
- 4) opisuje modyfikacje organów roślin (korzeni, liści, łodygi) jako adaptacje do bytowania w określonych warunkach środowiska;
- 5) wyróżnia formy ekologiczne roślin w zależności od dostępności wody i światła w środowisku.

Typ zajęć: wprowadzenie nowego materiału, podsumowanie materiału

Metody nauczania: słowne, obserwacyjne

Środki dydaktyczne: żywe egzemplarze roślin lub ich fragmentów, utrwalone i świeże preparaty mikroskopowe, rysunki, zdjęcia

Proponowany przebieg zajęć:

I. Wprowadzenie uczniów do tematu.

- Wprowadzenie uczniów w zagadnienie przystosowań roślin do środowiska i zapoznanie z pojęciem formy ekologicznej poprzez zadanie odpowiednich pytań np.
- Czego rośliny potrzebują do życia?
- Czy dostęp do wody, światła, soli mineralnych jest w każdym środowisku jednakowy?
- Czy rośliny mogą aktywnie się przemieszczać, czyli uciec w przypadku niekorzystnych warunków środowiska, czy też muszą być do niego dobrane przystosowane?

- Gdzie występują rośliny przystosowane do dużej wilgotności środowiska, a gdzie znoszące suchę i duże nasłonecznienie?
 - Gdzie występują rośliny światłolubne, a gdzie ceniolubne?
 - W jaki sposób rośliny lasów, zwłaszcza lasów tropikalnych, starają się uzyskać dostęp do światła?
 - Czy niespokrewnione rośliny żyjące w tym samym środowisku będą do siebie podobne?
- II. Obserwacje żywych roślin lub ich fragmentów. Uczniowie prowadząc obserwacje roślin w ogrodzie botanicznym lub w sali lekcyjnej zastanawiają się jakimi przystosowaniami do środowiska się charakteryzują, jakie organy zostały zmodyfikowane i na podstawie obserwacji wnioskuje do jakiej grupy ekologicznej (rośliny wodne, pnącza itp.) zaliczyć dany gatunek. Ze swoich obserwacji sporządzają notatki i rysunki. Mogą pracować w grupach lub indywidualnie.
- III. Omówienie budowy anatomicznej wybranych organów na podstawie rysunków lub preparatów mikroskopowych. Jeżeli szkoła posiada mikroskopy uczniowie mogą sporządzić preparaty mikroskopowe z przyniesionych do klasy fragmentów roślin i postarać się zaobserwować np. miękisz wodonośny (w liściach aloesu), miękisz powietrzny (w ogonkach liściowych zabiścieku pływającego lub liściach lino-

bium) lub aparaty szparkowe (np. w skórce liścia pelargonii). Nieodzowną pomocą mogą okazać się gotowe, utrwalone preparaty umożliwiające porównanie np. przekroju przez igłę sosny i liść mezofitu. Uczniowie powinni sporządzić odpowiednie rysunki i je podpisać. Jeżeli w szkole nie ma mikroskopów, niektórych obserwacji można dokonać przy pomocy lupy lub też wesprzeć się odpowiednimi schematami (Załącznik 2.) czy zdjęciami spod mikroskopu, których wiele dostępnych jest w Internecie. Podczas obserwacji uczniowie zastanawiają się jakie cechy budowy anatomicznej świadczą o przynależności rośliny do danej grupy ekologicznej.

IV. Podsumowanie zajęć.

Pod koniec zajęć uczniowie powinni przedstawić, jakie adaptacje u jakich gatunków udało im się zaobserwować i do jakiej grupy zaliczyli dane rośliny. Rolą nauczyciela jest weryfikacja i/lub uzupełnienie tych informacji oraz wprowadzenie pojęć: hydrofity, higrofit, mezofity, kserofity, sklerofity, sukulent, pnącza/liany, epifity. Informacje można podsumować w tabeli narysowanej na kartce formatu A4 lub A3 lub też w zeszycie (przykład tabeli w Załączniku 3.).

V. Praca domowa – zadania maturalne

Zadanie domowe mogą stanowić zadania maturalne dotyczące przystosowań roślin do środowiska (Załącznik 4.).

Załącznik 1. Informacje teoretyczne dla nauczyciela

Rośliny, ponieważ nie są w stanie aktywnie przemieszczać się, muszą plastycznie przystosowywać się (adaptować) do niekorzystnych i często bardzo zmieniających warunków środowiska: dużych wahań temperatury, niedostatku lub nadmiaru wody, braku światła lub zbyt dużego nasłonecznienia, niedoboru soli mineralnych, tlenu itp. Organizmy zaadaptowane do danych warunków środowiska, mimo iż nie zawsze są ze sobą spokrewnione, charakteryzują się zestawem podobnych cech (fizjologicznych, anatomicznych, morfologicznych) umożliwiającym im przetrwanie. Takie grupy organizmów nazywamy formami ekologicznymi.

Ze względu na dostępność wody w środowisku wyróżniamy następujące formy ekologiczne roślin:

- **Hydrofity** – rośliny wodne, narażone na niedobór światła, tlenu i niekiedy dwutlenku węgla; muszą przeciwstawiać się prądom wody.
- **Higrofity** – rośliny stanowisk wilgotnych, często zacienionych np. runa leśnego.
- **Mezofity** – rośliny środowisk o umiarkowanej wilgotności (najbardziej popularne w naszym klimacie np. lipa, stokrotka).
- **Kserofity** – rośliny stanowisk suchych (pustyń, półpustyń, stepów, obszaru śródziemnomorskiego) narażone także na duże nasłonecznienie i wysokie temperatury, a nawet duże wahania temperatur (rośliny pustynne).

Hydrofity

Do hydrofitów zaliczmy rośliny całkowicie zanurzone (np. moczarka kanadyjska), rośliny o liściach pływających na powierzchni wody (np. rzęsa drobna, grążel żółty, żabiściek pływający) lub ziemno-wodne (część rośliny w wodzie, część ponad powierzchnią wody

np. strzałka wodna – przykład heterofilii). Rośliny wodne charakteryzują się kilkoma cechami:

Niekiedy nie posiadają korzeni (np. salwinia pływająca, rogatek sztywny) lub są one słabo wykształcone – rośliny nie potrzebują korzeni, aby pobierać wodę i sole mineralne – mogą robić to całą powierzchnią ciała.

Jeżeli korzenie są obecne mogą służyć pobieraniu wody i soli mineralnych, kotwicznemu w dnie zbiornika lub pełnić funkcje stateczników utrzymujących równowagę roślin pływających po powierzchni wody (np. u rzęsy drobnej lub spirodeli wielokorzeniowej).

Pędy liściowe hydrofitów, zwłaszcza całkowicie zanurzonych, są giętkie i odporne na zerwanie, ponieważ muszą przeciwstawiać się prądom wody. Jest to możliwe dzięki położeniu tkanek wzmacniających w centralnej części łodyg i ogonków oraz wzdłuż głównego nerwu liścia, a nie na obrzeżach organów.

Liście podwodne są zwykle drobne, nitkowate, wstęgowate, cienkie. Jest ich dużo, mają sumarycznie znaczną powierzchnię, by wykorzystać maksymalnie niewielkie ilości światła przenikającego przez wodę (drobne liście występują u wywłóczników, włosieniczników, rogatka, moczarki, a wstęgowate u żabieńca babki wodnej lub strzałki wodnej).

Liście podwodne mają cienką, delikatną skórę, często pozbawioną kutikuli, aby mogły pobierać wodę i sole mineralne całą powierzchnią liścia. Niekiedy rośliny podwodne mają też zredukowany system tkanek przewodzących.

Liście pływające po powierzchni wody wykształciły adaptacje, które chronią je przez zatonięciem:

- góra liścia pokryta woskiem – liść nie nasiąka wodą, woda z niego łatwo spływa (grążel żółty, grzybień biały, grzybieńczyk wodny, żabiściek pływający)
- włoski na powierzchni liści, między którymi gromadzi się powietrze – roślina nie tonie, powietrze

wypycha liść do góry (salwinie pływająca, pistia rozetkowa)

- podwinięty brzeg blaszki liściowej – woda nie wlewa się na liść (wiktorja królewska)
- otworki w dużych, pływających liściach – woda deszczowa nie gromadzi się na liściu, ale wypływa przez otworki (wiktorja królewska, którą można obejrzeć np. w szklarni w Poznaniu)

Mają silnie rozwinięty miękisz powietrzny, który tworzy system przewietrzający. W tkance tej gromadzą się zapasy gazów, które ułatwiają roślinom unoszenie się w wodzie lub na jej powierzchni oraz stanowią magazyn tlenu niezbędnego do oddychania. Miękisz powietrzny widać świetnie gołym okiem w ogonkach liściowych eichornii gruboogonkowej (hiacynta wodnego), w liściach linobium rozłogowego, linobium gąbczastego lub u pistii rozetkowej.

Mogą wytwarzać kwiaty zapylane przez prąd wody i nasiona rozprzestrzeniane przez wodę.

Niektóre drzewa rosnące na podmokłym terenie wykształcają zmodyfikowane korzenie: korzenie oddechowe, które wystają ponad powierzchnię wody i ułatwiają wymianę gazową (np. cyprysnik błotny) lub korzenie podporowe/szkarpowe stabilizujące je w grząskim podłożu (u namorzynów).

Higrofity

Higrofity takie jak szczawik zajęczy czy zawilec gajowy są roślinami wrażliwymi na niedobór wody, zerwane łatwo więdną. Ich system korzeniowy jest zwykle słabo rozwinięty, a organy nadziemne przystosowane to intensywnej transpiracji (transpiracja jest utrudniona przez dużą wilgotność środowiska, w jakim rosną higrofity). Liście higrofitów są cienkie, delikatne, bez grubej warstwy kutikuli, o dużej powierzchni w stosunku do objętości, niekiedy pokryte żywymi włoskami, które dodatkowo zwiększają powierzchnię parowania. Po-

nieważ w naszym klimacie są to często rośliny runa leśnego, będą przystosowane także do ograniczonego oświetlenia.

Mezofity

Mezofity to rosną w środowisku o umiarkowanej wilgotności i rozwinęły cechy opisywane jako typowe dla roślin. Ich przykładem jest np. stokrotka i klon polny.

Kserofity

Kserofity to rośliny środowisk suchych, które chronią się przed niedoborem wody na dwa sposoby:

- **sukulenty** gromadzą duże ilości wody w zgrubiałych pędach (kaktusy, wilczomlecze) lub liściach (agawy, aloesy, grubosze, rozchodniki).
- **sklerofity (suchorośla)** nie gromadzą wody, ale wykształciły przystosowania silnie ograniczające parowanie wody oraz umożliwiające jej pobieranie z głębszych warstw gleby (np. wrzosey, roślinność śródziemnomorska).

Wybrane adaptacje kserofitów

- Płytki i rozgałęziony system korzeniowy, który pozwala na szybkie pobranie wody w okresie opadów (u sukulentów). Proszę zwrócić uwagę, że często znacznej wielkości kaktusy rosną latami w niewielkich doniczkach.
- System korzeniowy palowy, sięgający głęboko umożliwiający wykorzystanie wody znajdującej się w głębszych warstwach gleby (u suchorośli). Można to zaobserwować np. u szalwii lekarskiej, która rośnie w wielu ogródkach).
- Magazynowanie wody w miękkim wodonośnym w zgrubiałych organach (widać go świetnie u aloesu).

- Żebrowania łodygi u sukulentów pędowych (kaktusów i wilczomleczy - przykład konwergencji) ułatwiające magazynowanie wody.
- Ograniczenie parowania wody dzięki powleczeniu łodyg i liści warstwą kutikuli i wosków.
- Zmniejszenie powierzchni transpiracji dzięki wykształceniu silnie zredukowanych liści – przekształconych w ciernie (kaktusy, wilczomlecze) lub drobnych, sztywnych, skórzastych (sklerofity np. wrzosey, mikołajek nadmorski, bergenia). Kseromorficzne cechy wykazują też szpilki roślin iglastych. Ułożenie tkanek w takich liściach jest bardzo zwarte, co ogranicza parowanie wody.
- Przejęcie funkcji asymilacyjnej liści przez inne organy – liściaki (przekształcone ogonki liściowe np. u akacji) lub gałęziaki (przekształcone łodygi np. u asparagusa).
- Liście części kserofitów (np. mahonii, laurowiśni, ostrokrzewu, zamiokulkas) są silnie błyszczące – ich skórka odbija słońce, co zabezpiecza roślinę przed nadmiernym parowaniem i przegrzaniem.
- Liście i łodygi mogą mieć srebrzystą, szarozieloną lub białą barwę (np. u lawendy, kocanek włoskich, bylicy, starca srebrzystego (tzw. mrozów), santoliny cyprysnikowatej, niektórych rozchodników i kaktusów), są pokryte białawym nalotem lub włoskami - jasny kolor odbija światło, ogranicza przegrzewanie tkanek oraz parowanie wody z rośliny.
- Niektóre kserofity posiadają liście miękkie, ale pokryte kutnerem, czyli gęstą warstwą martwych, często rozgałęzionych włosków. Rozprasza ona światło, ogranicza transpirację i podmuchy wiatru, ochrania przed niskimi temperaturami (u dziewanny, czyścica wełnistego).
- Dobrze rozwinięta tkanka wzmacniająca u sklerofitów chroni przed utratą pokroju w przypadku

niedoboru wody (stąd określenie roślinność twarolistna). Sztywną budowę widać doskonale u mikołajka nadmorskiego lub myszopłochu.

- Fotosynteza typu CAM lub C4.

Dostępność światła

Obok wody, drugim najważniejszym czynnikiem potrzebnym roślinom do wzrostu i rozwoju jest światło. Warunkuje ono rozwój blaszki liściowej i syntezę chlorofilu, a przede wszystkim jest niezbędne do przebiegu fotosyntezy. Rośliny rozwijające się bez dostępu do światła są wydłużone (wyplonione, etiolowane), o słabo rozwiniętych liściach, a z powodu braku chlorofilu bladeżółte (widać karotenoidy, posiadają etioplasty zamiast chloroplastów). Rośliny żyjące w warunkach bardzo silnego oświetlenia to np. kserofity. Ograniczają one szkodliwy wpływ promieni słonecznych m. in. poprzez pokrycie liści grubą warstwą wosku lub kutnerem, co omówiono powyżej. W lasach, gdzie ilość światła docierająca do runa jest bardzo ograniczona, rozwijają się natomiast rośliny ceniolubne. Ich liście są zazwyczaj ciemnozielone z powodu dużej zawartości chlorofilu, a ponadto cienkie. Niewielka grubość liści ułatwia dotarcie światła do wszystkich tkanek. Ponadto w naszym klimacie wiele roślin runa leśnego rozwija się i kwitnie wczesną wiosną, gdy liście drzew nie ograniczają dostępu do słońca, a potem zamiera. W lasach tropikalnych spotkamy natomiast wiele gatunków o kolorowych liściach (begonii, roślin obrazkowatych jak maranta, kalamita – u nas są to rośliny pokojowe). Ta cecha również ułatwia roślinom wzrost w warunkach słabego oświetlenia. Zabarczenie dolnej powierzchni liścia na czerwono/fioletowo umożliwia odbicie części światła, gdy przejdzie ono przez blaszkę liściową, i skierowanie go w górę, aby przeszło przez zieloną część liścia raz jeszcze. Inne gatunki poszukują światła wspinając się po drzewach (**liany, pnącza**) lub rosnąc w gałęziach drzew (**epifity**

np. storczyki, oplątwy i in. gatunki z rodziny ananasowatych). Epifity nie są zakorzenione w glebie, więc musiały wykształcić także dodatkowe przystosowanie umożliwiające im pobieranie wody i soli mineralnych. Pnące gatunki roślin występują też w naszym klimacie (bluszcz, fasola, winorośl), natomiast polskie epifity to zazwyczaj mchy i porosty.

Wybrane adaptacje roślin pnących

- Szybki wzrost.
- Giętkie łodygi, odporne na zerwanie (co dobrze widać u winobluszczu). Cecha ta związana jest ze specyficzną budową drewna, które nie tworzy jednego, zwartego walca, ale składa się z kilku bruzdowatych walców.
- Pędy owijające się wokół podpór (fasola, wilec).
- Wąsy czepne (pochodzenia liściowego u wiciokrzewu, pędowego u winorośli, roślin dyniowatych,

męczennicy), niekiedy zakończone tarczkami czepnymi (u winobluszczu).

- Korzenie czepne (u bluszczu, wanilii).
- Włoski czepne (u chmielu).
- Dobrze rozwinięta tkanka transportująca wodę - transport wody na dużą odległość
- Korzenie powietrzne, które po zetknięciu z ziemią wrastają w nią i podpierają pęd (u filodendrona, monstery).

Wybrane adaptacje epifitów

- Specjalne korzenie (lub inne struktury) przytwierdzające roślinę do gałęzi drzewa
- Brak korzeni, pochłanianie wody całą powierzchnią ciała (oplątwy).
- Korzenie powietrzne pokryte welamenem - specjalną, wielowarstwową skórką, która chłonie wodę jak gąbka (u epifitycznych storczyków; widać

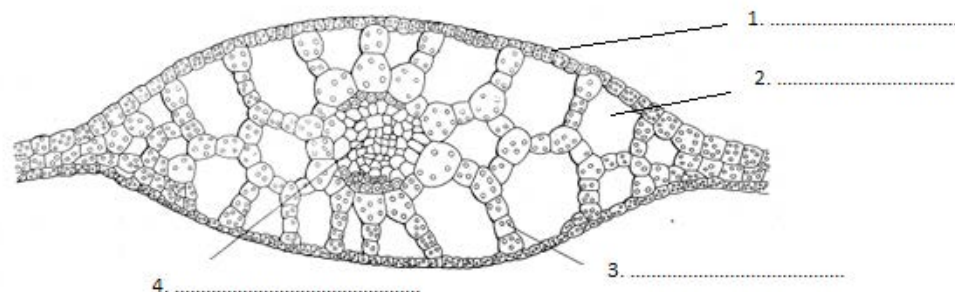
to świetnie u gatunków uprawianych w naszych domach).

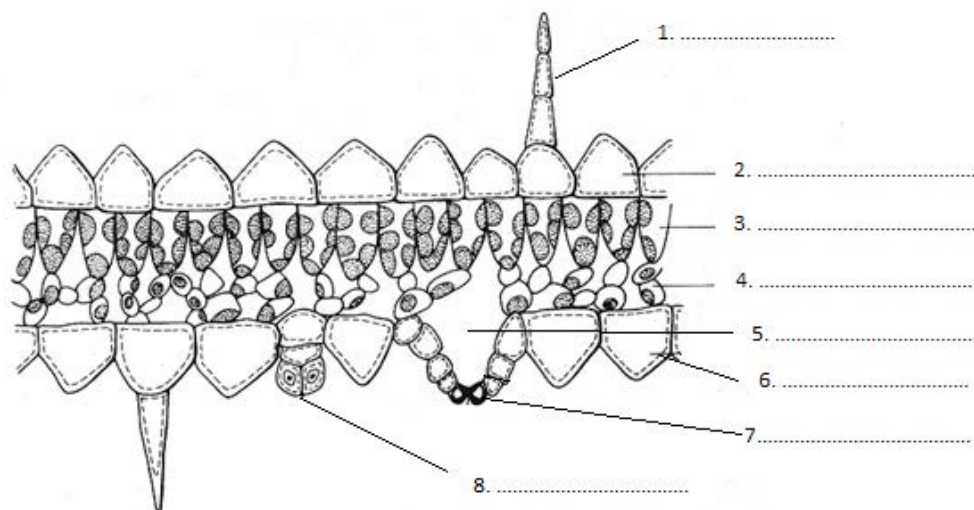
- Magazynowanie wody deszczowej między splecionymi korzeniami lub liśćmi, na powierzchni których znajdują się włoski chłone wodę. Lejki utworzone z liści występują np. u znanokicy gniazdowej oraz ananasowatych uprawianych jako rośliny pokojowe np. echmei, guzmanii, fryzei).
- Pozyskiwanie soli mineralnych ze szczątków organicznych, które gromadzą się między liśćmi lub korzeniami rośliny i ulegają w tym miejscu rozkładowi (np. u bromelii). U platycerium czyli tzw. łosich rogów, rozkładowi ulegają stare liście rośliny, które nie odpadają, ale zasychają na roślinie i powoli rozkładają się.
- Cechy kseromorficzne zabezpieczające przed utratą wody (grube liście pokryte substancją tłuszczową np. u *Phalaenopsis*).

Załącznik 2. Budowa anatomiczne organów roślinnych jako element przystosowania do środowiska

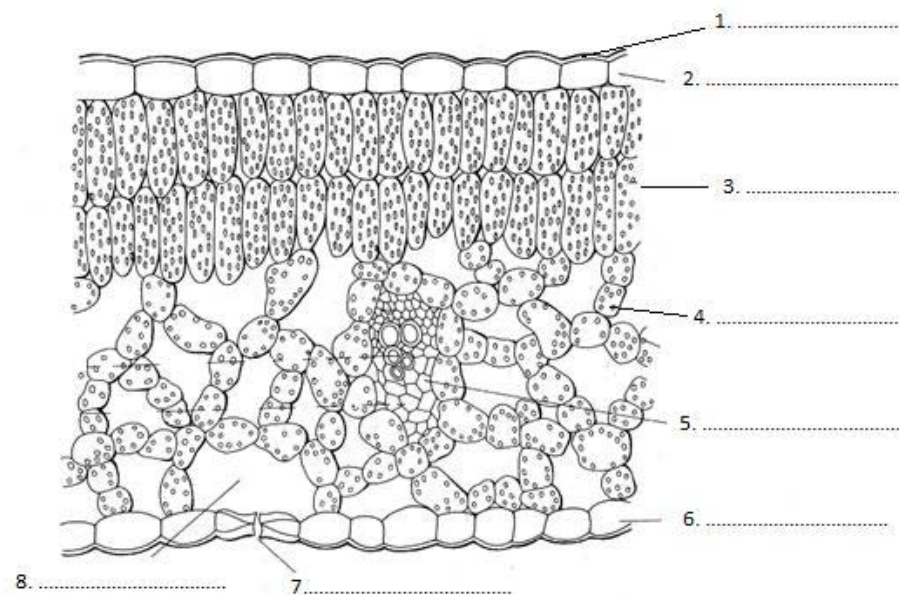
Rysunki przedstawiają przekroje poprzeczne przez liście roślin dostosowanych do różnej wilgotności środowiska. Podpisz elementy budowy liści, zastanów się jaką formę ekologiczną prezentuje rysunek oraz jakie przystosowania w budowie liścia pozwoliły Ci to określić. Rysunki zmienione, na podstawie: Szweykowska i Szweykowski, 2003 oraz http://cdn.biologydiscussion.com/wp-content/uploads/2015/10/clip_image0269.jpg.

Rys. 1. Forma ekologiczna :
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:

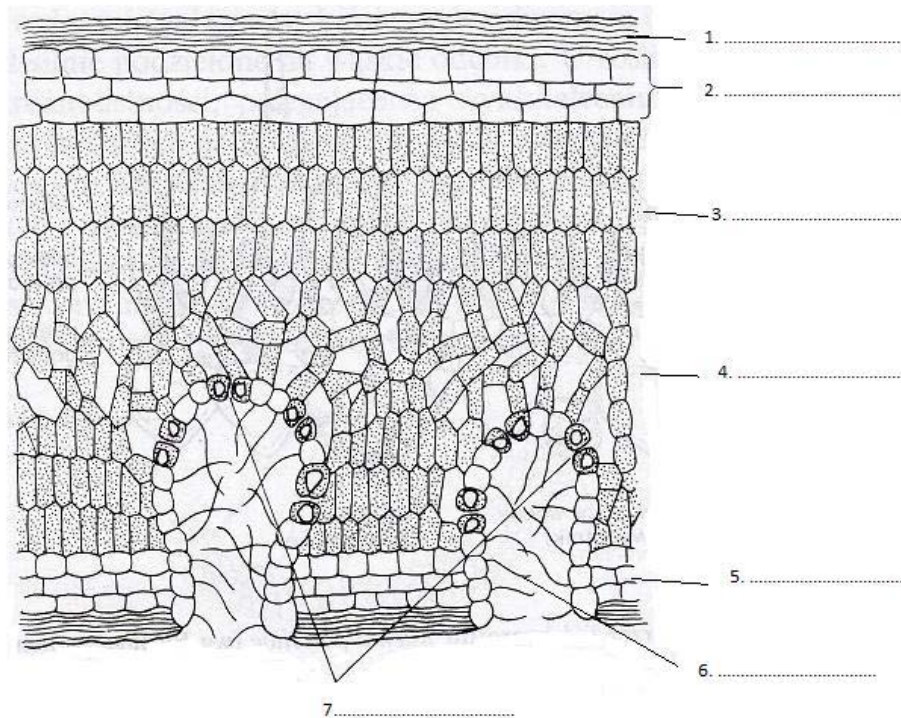




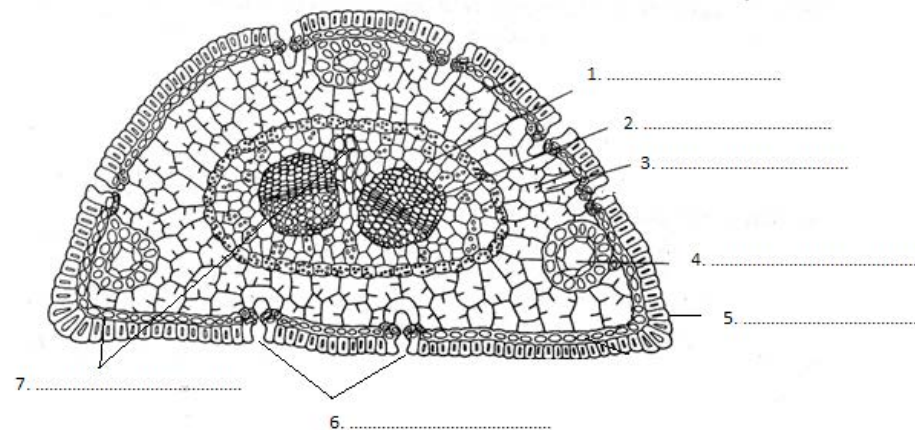
Rys. 2. Forma ekologiczna:
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:



Rys. 3. Forma ekologiczna:
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:

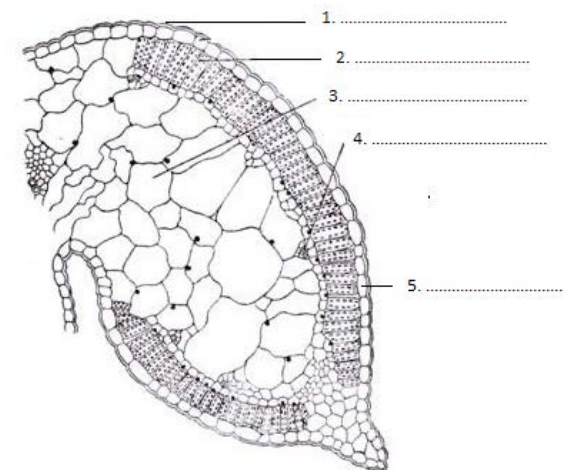


Rys. 4. Forma ekologiczna :
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:



Rys. 5. Forma ekologiczna :
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:

Rys. 6. Forma ekologiczna :
Charakterystyczne cechy adaptujące do środowiska:



Załącznik 3. Przykład tabeli podsumowującej wiedzę uzyskaną w czasie zajęć

Tabelę wg wzoru należy nanieść na kartkę formatu A4 lub A3 lub do zeszytu i uzupełnić w czasie zajęć na podstawie cech zaobserwowanych u żywych okazów roślin. W rubrykach należy opisać charakterystyczne cechy anatomiczne oraz morfologiczne odpowiednich organów oraz wpisać nazwy poszczególnych form ekologicznych.

Forma ekologiczna	DOSTĘPNOŚĆ WODY			DOSTĘPNOŚĆ ŚWIATŁA	
	Rośliny wodne	Rośliny stanowisk suchych silnie ograniczające ucieczkę wody z tkanek	Rośliny stanowisk suchych gromadzące duże ilości wody	Rośliny wspinające się po podporach	Rośliny rosnące na gałęziach drzew, pozbawiane kontaktu z glebą, niebędące pasożytami
Krótki opis formy ekologicznej					
Korzenie					
Łodygi					
Liście					
Charakterystyczne cechy budowy anatomicznej					

Załącznik 4. Zadanie domowe

Lista przykładowych zadań maturalnych dotyczące modyfikacji organów roślinnych oraz adaptacji roślin do środowiska

Wszystkie wymienione tu zadania pochodzą z egzaminów maturalnych, które są udostępnione na stronie internetowej Centralnej Komisji Egzaminacyjnej (<https://cke.edu.pl/>). Zadania wymieniono w kolejności chronologicznej i uzupełniono krótkim opisem.

Zadanie 35. maj 2005, arkusz II, poziom rozszerzony

Opisanie cech budowy skórki liścia podwodnego przetacznika bobownika związanych ze środowiskiem życia rośliny (na podstawie rysunku).

Zadanie 40. maj 2005, arkusz II, poziom rozszerzony

Modyfikacje łodyg i ich funkcje (na podstawie rysunku).

Zadanie 42. grudzień 2005, arkusz II, poziom rozszerzony

Opisanie różnic w budowie skórki korzenia i liścia roślin okrytonasiennych w powiązaniu z pełnionymi przez nie funkcjami.

Zadanie 15. maj 2007, poziom rozszerzony

Rola miękiszu powietrznego w adaptacji roślin wodnych do środowiska.

Zadanie 9. maj 2009, poziom rozszerzony

Przystosowanie budowy miękiszu palisadowego do pełnionej funkcji (zadanie z rysunkiem).

Zadanie 13. maj 2010, poziom rozszerzony

Określenie położenie aparatów szparkowych w liściach roślin wodnych i lądowych.

Zadanie 17. maj 2010, poziom rozszerzony

Zadanie dotyczące przystosowań łuskiewnika do pasożytniczego trybu życia (na podstawie tekstu).

Zadanie 32. maj 2011, poziom rozszerzony

Przystosowania roślin do środowiska lądowego.

Zadanie 7. grudzień 2013, egzamin maturalny od roku szkolnego
2014/2015, przykładowy zestaw zadań (A1), poziom rozszerzony

Opisanie przystosowań higrofitów ułatwiających zachodzenie transpiracji (na podstawie przekroju przez liść) oraz określenie fizjologicznej roli tej adaptacji.

Zadanie 22. maj 2014, poziom rozszerzony

Opisanie przystosowań łądygi moczarki do środowiska wodnego (na podstawie rysunku).

Literatura

- Attenborough D (1996). *Prywatne życie roślin*. Warszawa: Muza.
- Dubert F, Jurgowiak M, Marko-Worłowska M, Zamachowski W (2014). *Biologia na czasie 3*. Warszawa: Nowa Era
- Guzik M, Jastrzębska E, Kozik R, Matuszewska R, Pyłka-Gutowska E, Zamachowski W (2013) *Biologia na czasie 1*. Warszawa: Nowa Era
- http://cdn.biologydiscussion.com/wp-content/uploads/2015/10/clip_image0269.jpg
- <https://cke.edu.pl/>
- Kłosowski S, Kłosowski G (2001). *Rośliny wodne i bagienne*. Warszawa: MULTICO.
- Podbielkowski Z, Podbielkowska M (1992). *Przystosowania roślin do środowiska*. Warszawa: Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne
- Szweykowska A, Szweykowski J (2003). *Botanika. Morfologia*. Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN.

Sukces reprezentantów Polski na Międzynarodowej Olimpiadzie Biologicznej

Redakcja

W dniach 23-30 lipca br. na terenie University of Warwick niedaleko Birmingham w Wielkiej Brytanii odbyła się 28. Międzynarodowa Olimpiada Biologiczna. Reprezentanci Polski odnieśli na niej spory sukces, zdobywając 3 srebrne medale i jeden brązowy. Każdy z czteroosobowej reprezentacji wrócił więc do Polski z własnym medalem. Jest to pierwszy taki sukces od szesnastu lat!

Być może na ten sukces miał wpływ sposób wyłonienia naszej reprezentacji, o którym pisaliśmy w numerze 2017/1 kwartalnika EBiŚ. Dla przypomnienia, po raz pierwszy w historii polskiej Olimpiady Biologicznej na zawodach centralnych wprowadzono egzaminy praktyczne z różnych dziedzin biologii. Dzięki temu tegorocznici reprezentanci mieli nie tylko dużą wiedzę zweryfikowaną egzaminem teoretycznym, ale również umiejętności pozwalające im zmierzyć się z zadaniami praktycznymi na Międzynarodowej Olimpiadzie Biologicznej, które obejmowały zagadnienia z biochemii, botaniki i fizjologii zwierząt.

Niewątpliwym sukcesem jest również osiągnięcie jednego z reprezentantów Polski, które wręcz wydaje się nieprawdopodobne – 77 punktów z pracowni biochemicznej na 78 możliwych! To jest najlepszy wynik spośród wszystkich uczestników Międzynarodowej Olimpiady Biologicznej, zdecydowanie wyprzedzający nawet liczbę punktów reprezentanta Chin, który zdobył pierwsze miejsce w klasyfikacji ogólnej. Ten przykład dobrze ilustruje to, jak bardzo trudną konkurencją jest Międzynarodowa Olimpiada Biologiczna. Zawodnik musi wypaść dużo lepiej na tle średniego wyniku z każdego elementu składającego się na wynik ogólny.



Polska reprezentacja krótko po ogłoszeniu wyników i wręczeniu zasłużonych medali

Z lewej dr Piotr Bernatowicz (opiekun), Paweł Tyrna, Albert Roethel, Paulina Smaruj, Jaromir Hunia (zawodnicy) i dr Takao Ishikawa (opiekun). Wśród opiekunów reprezentacji był także dr Łukasz Banasiak. Zdjęcie ze zbiorów własnych

Nasi reprezentanci spisali się w tym roku znakomicie, wysoko przesuwając poprzeczkę. Po tegorocznej Międzynarodowej Olimpiadzie Biologicznej celem stało się zdobycie złotego medalu przez zawodników z Polski.

Rejestracja na 47. Olimpiadę Biologiczną już się rozpoczęła. Uczniów i nauczycieli zachęcamy do odwie-

dzenia strony www.olimpiol.pl. To spośród uczniów, którzy odnoszą największe sukcesy na Olimpiadzie krajowej zostanie wyłoniona reprezentacja Polski, która pojedzie na Międzynarodową Olimpiadę Biologiczną do Teheranu. Trzymajmy wszyscy kciuki za dalsze sukcesy polskich uczniów!

NAUKA

SZKOŁA

KRÓTKO

Kozioróg dębosz *Cerambyx cerdo* – dumny mieszkaniec parków Wrocławia

Monika Pietraszko

Kozioróg dębosz jest jednym z największych chrząszczy, które możemy spotkać w naszym kraju. Gatunek ten jest przedstawicielem rodziny kózkowatych *Cerambycidae* – chrząszczy o charakterystycznych długich, członowanych, czułkach, przypominających kozie rogi (Hildt, 1917). Ogromnej długości czułki i czasami nawet 6 cm długości ciała, czynią go słabym lotnikiem. W Polsce zamieszkuje on wyłącznie dęby szypułkowe, jednak w innych częściach Europy można go spotkać także na innych gatunkach drzew. Na południu Europy koziorogi dębosze zasiedlają oprócz dębów także orzech włoski *Juglans nigra*, grab pospolity *Carpinus betulus* czy robinie białą *Robinia pseudoacacia* (Mazur, 2011).

Występowanie kozioroga dębosza w Polsce ma charakter wyspowy. Niegdyś był on mieszkańcem pierwotnych lasów dębowych, niestety stracił on wiele ze swoich stanowisk na skutek wycinania roślin żywicielskich larw, jakimi są sędziwe dęby (Gutowski i Przewoźny, 2013). Obecnie zdecydowanie częściej niż w lesie, można go spotkać w przydrożnych alejach, czy miejskich parkach (Fot. 1.). Aktualnie najliczniej występuje w dolinie środkowej Odry oraz w okolicach Rogalina pod Poznaniem. W wielu miejscach w kraju całkowicie wyginął (Strojny, 1974; Szotkowski i Szotkowski, 1981; Starzyk i Strojny, 1985; Kowalski, 1994; Starzyk, 2004; Gutowski, 2004; Stachowiak, 2012). W Rogalinie zamieszkuje największe skupisko starych dębów w Europie, w którym rosną znane wszystkim dęby: „Lech”, „Czech” i „Rus”. Jest także stałym mieszkańcem Wrocławia. Upodobał sobie szczególnie Park Szczytnicki i Nadodrzański, ale także przydrożne aleje w dzielnicy Biskupin i wały przeciwpowodziowe (Strojny, 1974). W Ogrodzie Botanicznym

we Wrocławiu obserwować można pień dębu, który kiedyś zamieszkiwał. Kozioroga dębosza podziwiać można także w innych miastach Polski m.in w Lesie Bielańskim w Warszawie (Górski 2004), czy w Żorach Baranowicach (Kuśka i Szczepański, 2007).

Cały cykl rozwojowy chrząszcza począwszy od jaja aż po imago trwa w Polsce około 4 lat. A dokładna jego długość zależy m.in od czynników mikroklimatycznych takich jak temperatura czy ilość pożywienia dla larw (Gutowski, 2004). Ilość pokarmu dla larw to czynnik który zależy bezpośrednio od wyboru poczynionego przez składającą jaja samicę. To ona po wcześniejszych zalotach samców i kopulacji, wybiera drzewo w korze którego złoży jaja, z których po kilku dniach wylegną się larwy. W trakcie stadium larwalnego larwa żeruje w twardym drewnie dębu, drążąc w nim rozległe, owalne w przekroju korytarze. Przy końcu swojej wędrówki drąży ona specjalną komorę w której dojdzie do przepoczwarczenia i wygryza w korze otwór, którym na światło dzienne wydostanie się dorosły już chrząszcz. Otwory wylotowe imago, mają owalny kształt i są średnicy kciuka. Dorosłe chrząszcze mają ciało cylindryczne, ciemno ubarwione. Zakończenia pokryw skrzydłowych są jaśniejsze i mają brunatno-czerwony kolor. Długość ciała kozioroga wynosi od 2,3 cm do 6,5 cm nie licząc długości czułków, które u samicy są tak długie jak ciało, a u samca nawet o połowę dłuższe. Cechą charakterystyczną pozwalającą odróżnić ten gatunek od innych dużych krajowych kózek jest urzeźbienie przedplecza – na którym występują boczne zęby i poprzeczne bruzdy. Urzeźbienie pokryw jest drobnoporiaste, bez szwów (Gutowski, 2004; Strojny, 1977).



Fot. 1. Aleja dębowa na wrocławskim biskupinie – siedlisko kozioroga dębosza

Fot.: aut.

Występowanie kozioroga dębosza na stanowisku można stwierdzić odnajdując nie tylko dorosłe chrząszcze, ale także ślady żerowania larw. Często z dębów zasiedlonych przez kozioroga odpada kora ukazując rozległe żerowiska płatowe larw (Fot. 2). Każdy chodnik jest owalnego kształtu o wymiarach około 2 x 3 cm, jest zatem na tyle duży by zmieścić nasz kciuk. Inną cechą zdradzającą obecność kozioroga dębosza na stanowisku są otwory wylotowe imago w korze oraz świeże rude



Fot. 3. Siedlisko kozioroga dębosza w Parku w Żorach-Baranowicach

Fotografia zrobiona wiosną. Fot.: aut.



Fot. 2. Żerowiska płatowe

Fot.: aut.

trocinki, wysypujące się z otworów i zbierające u podnóża pnia czy w załamaniach kory (Stachowiak, 2012). Jeśli odnajdziemy na stanowisku wyżej wymienione ślady, warto upewnić się poszukując imago latem od maja do sierpnia, kiedy to mają miejsce pojawy dorosłych chrząszczy i ich rójka. Na terenie Wrocławia rójka odbywa się już w połowie maja (Strojny, 1977, Pietraszko i Warchałowski, 2012). Przy każdorazowych obserwacjach należy pamiętać, że jest to owad chroniony

prawem krajowym i międzynarodowym (Dyrektywa Siedliskowa), znajdujący się na wielu czerwonych listach gatunków zagrożonych, m.in. w „Polskiej Czerwonej Księdze Zwierząt” (Starzyk, 2004) oraz na „Czerwonej Liście Chrząszczy (Coleoptera) Górnego Śląska” (Kubisz i wsp., 1998). Nie można zatem go odławiać, płoszyć czy niszczyć jego siedlisk.

Kozioróg dębosz może być przedmiotem badań przez cały rok. Okres od jesieni do wiosny, to czas gdy

brak liści na drzewach umożliwia poszukiwania otworów wylotowych imago, czy śladów żerowania larw umieszczonych nieco wyżej w koronie drzew. Miejsca te latem są przysłonięte wachlarzem liści. Czas lata, to oprócz poszukiwania otworów wylotowych, czy żerowisk płatowych i drobnych trocin, pora na poszukiwanie dorosłych chrząszczy. Można wtedy sprawdzić, czy odnalezione przez nas zimą stanowiska są czynne i aktualnie zamieszkane przez koziorogi.

Wieczorami po zachodzie słońca, można obserwować rójkę tych pięknych chrząszczy, walki samców, czy składanie przez samicę jaj w splekania kory. Możliwość obserwacji chronionego gatunku w jego naturalnym siedlisku, może być jedną z form stosowanych w edukacji ekologicznej uczniów na każdym etapie kształcenia (Pietraszko, 2015).

Literatura

- Gutowski JM (2004). *Cerambyx cerdo* Linnaeus, 1758. Kozioróg dębosz. In: Adamski P, Bartel R, Bereszyński A, Kepel A, Witkowski Z, ed. Gatunki zwierząt (z wyjątkiem ptaków). Poradniki ochrony siedlisk i gatunków Natura 2000 – podręcznik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 6: 82-87
- Gutowski JM, Przewoźny M, (2013). Program Natura 2000 jako narzędzie ochrony chrząszczy (Coleoptera) w Polsce. Wiadomości Entomologiczne. Supplement, 32: 5-40
- Hildt LF (1917). Owady krajowe Kózkowate. Cerambycidae. Pamiętnik Fizyograficzny, 24,3: 1-141
- Kowalski M (1994). Stanowisko kozioroga dębosza *Cerambyx cerdo* Linnaeus, 1758 [Coleoptera, Cerambycidae] w dolinie środkowej Odry. Przegląd Przyrodniczy, 5,1: 83
- Kubisz D, Kuska A, Pawłowski J (1998). Czerwona lista chrząszczy (Coleoptera) Górnego Śląska. Raporty Opinii Centrum Dziedzictwa Przyrody Górnego Śląska, 3: 8-68
- Kuska A, Szczepański W (2007). Chrząszcze (Coleoptera) z listy „Natura 2000” na Górnym Śląsku i w Beskidzie Zachodnim. In: Lis J A, Mazur M A, ed. Przyrodnicze wartości polsko-czeskiego pogranicza jako wspólne dziedzictwo Unii Europejskiej. Centrum Studiów nad Bioróżnorodnością, Uniwersytet Opolski; 141-151
- Mazur W (2011). Stan i perspektywy ochrony pachnicy dębowej *Osmoderma eremita* (SCOPOLI, 1763), kozioroga dębosza *Ceram-*

- byx cerdo* (LINNAEUS, 1758) i jelonka rogacza *Lucanus cervus* (LINNAEUS, 1758), w lasach Dolnego Śląska w przedziale 20 i 50 lat. Konferencja: „Pachnica dębowa (*Osmoderma eremita*) jako przykład gatunku parasolowego. Martwe drewno a bioróżnorodność biologiczna ekosystemów leśnych”. Puszczykowo 27-28.2011
- Pietraszko M, Warchałowski M (2014). Obserwacje rójki kozioroga dębosza *Cerambyx cerdo* - Linnaeus, 1753 na terenie Wrocławia – badania wstępne. In: Szczęśniak E, ed. Środowisko Dolnego Śląska Oczami Przyrodników, 5: 48-55
- Pietraszko M (2015). Czynna ochrona przyrody w edukacji ekologicznej. Edukacja Biologiczna i Środowiskowa, 3: 89-95
- Stachowiak M (2012). 1088 Kozioróg dębosz *Cerambyx cerdo*. In: Makomaska-Juchiewicz M, Baran P, ed. Monitoring gatunków zwierząt. Przewodnik metodyczny. Część II. GIOŚ, Warszawa, 349-366
- Starzyk J R (2004). *Cerambyx cerdo* Linnaeus 1758 – Kozioróg dębosz – Great Capricorn Beetle. In: Głowaciński Z, ed. Polska Czerwona Księga Zwierząt – Bezkręgowce. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków; 147-148
- Starzyk J R, Strojny W (1985). Zmienność morfologiczna u imagines kozioroga dębosza, *Cerambyx cerdo* L. (Coleoptera, Cerambycidae). Polskie Pismo Entomologiczne, 55: 491-504
- Strojny W (1974). Kozioróg dębosz, *Cerambyx cerdo* L. (Coleoptera, Cerambycidae), na wybranych dębach we Wrocławiu. Przegląd Zoologiczny, XVIII, 3: 373-374
- Strojny W (1977). Badania nad biologią kozioroga dębosza, *Cerambyx cerdo* L. (Coleoptera, Cerambycidae) zasiedlającego dęby szypułkowe – *Quercus robur* L. Na Swojcu i w Wilczycach pod Wrocławiem w latach 1973-1976. Polskie Pismo Entomologiczne, 47,4: 728-733
- Szotkowski E, Szotkowski P (1981). Kozioróg dębosz *Cerambyx cerdo* w Głogówku na Śląsku Opolskim. Chronimy Przyrodę Ojczyznę, 37,1: 47-58