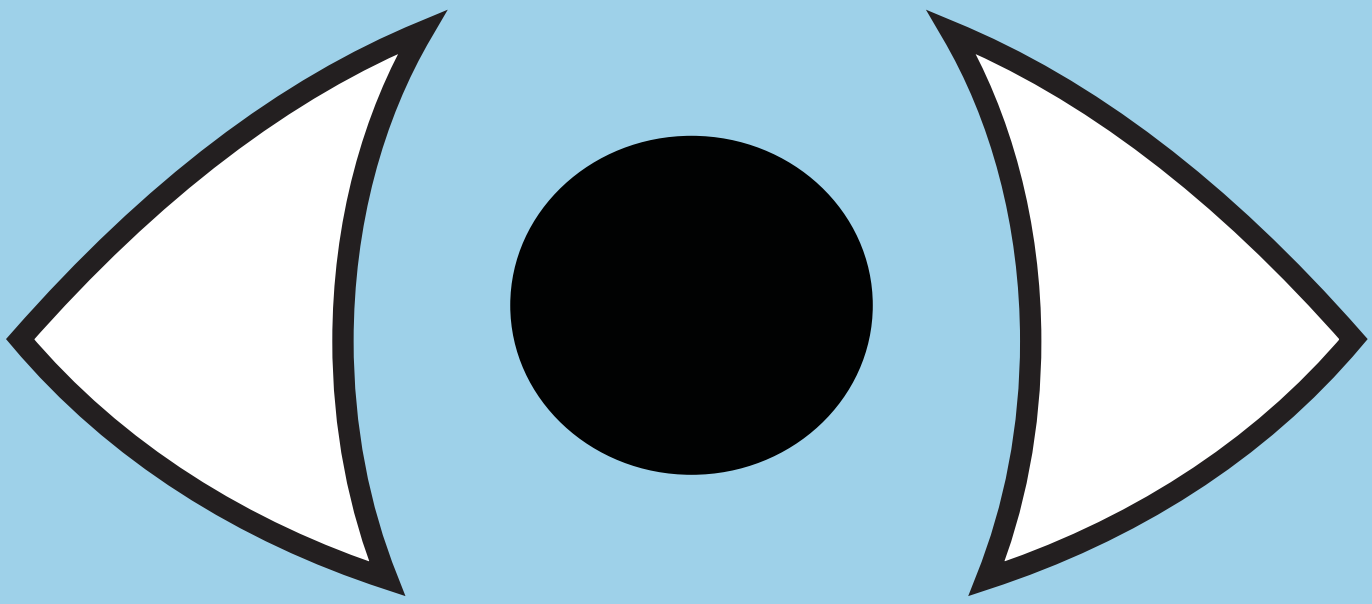
vol. 4(2)/2019

Tutoring Gedanensis

Czasopismo Tutees i Tutorów



Tutoring Gedanensis

ISSN 2451-1862

Tutoring Gedanensis

Czasopismo Tutees i Tutorów

Wydział Oceanografii i Geografii
Uniwersytet Gdański
listopad 2019

Tutoring Gedanensis
Czasopismo Tutess i Tutorów

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny
dr Ewa Szymczak (WOiG)

dr hab. Lucyna Przybylska, profesor Uniwersytetu Gdańskiego. (WOiG)
dr Sylwia Śliwińska-Wilczewska (WOiG)
dr Beata Karpińska-Musiał (WF)
dr Monika Woźniak (WZr)

Projekt okładki i skład numeru
Agata Janas

Recenzenci
dr Agata Błaszczyk
dr hab. Robert Czajkowski, profesor Uniwersytetu Gdańskiego
dr hab. Joanna Fac-Beneda, profesor Uniwersytetu Gdańskiego
dr hab. Urszula Janas, profesor Uniwersytetu Gdańskiego
dr Liliana Kalita
dr Anna Lizińska
dr Mirosława Malinowska
dr Anna Toruńska-Sitarz
dr hab. Małgorzata Witak, profesor Uniwersytetu Gdańskiego
mgr inż. Agnieszka Wochna
dr Ilona Złoch

Kontakt

Wydział Oceanografii i Geografii
al. Marszałka Piłsudskiego 46
81-378 Gdynia
e-mail: tutee@ug.edu.pl
www. tutee.ug.edu.pl

© Copyrights by Wydział Oceanografii i Geografii, Uniwersytet Gdański

Spis treści

Od redakcji **5**

Czy bakteriofagi mogą być skutecznym i bezpiecznym lekiem na zakażenia spowodowane przez bakterie oporne na antybiotyki? *Filip Wojnarski* **7**

Czy immunoterapia punktów kontrolnych jest przyszłością onkomedycyny? Rozważania tutoringowe *Tomasz Modrzyński, Maria Gwit* **12**

Charakterystyka i funkcje ekologiczne organizmów tworzących łąki podwodne *Zostera marina* **Zatoki Puckiej** *Natalia Miernik* **17**

Jak ryby zdobywają pokarm i uważają, aby samemu nie stać się pokarmem *Grzegorz Gorczyński* **21**

Czy ryby to samo zdrowie? *Agata Nowak* **26**

Czy współpraca naprawdę się opłaca? *Michał Gintowt* **30**

Dlaczego endemity są wyjątkowe? *Marcelina Makuch* **34**

Czy bioaerozole mogą być niebezpieczne dla człowieka? *Klaudia Baran* **38**

Barwniki fotosyntetyczne i ich zastosowanie *Marta Kucharska* **41**

Malejące zasoby wodne – problemteraźniejszości czy przyszłości? *Anna Radziszewska* **45**

Mokradła a zmiana klimatu *Czereda Mateusz* **49**

Szare czy zielone Brusy *Joanna Skwierawska* **53**

QGIS versus ArcMap, porównanie narzędzi interpolacji *Kinga Stolarczyk* **55**

Szóste wymieranie *Agata Kowalewska* **58**

System wartości *homo sovieticus***. O** *Czasach secondhand* **Swietłany Aleksijewicz** *Agnieszka Możejko* **64**

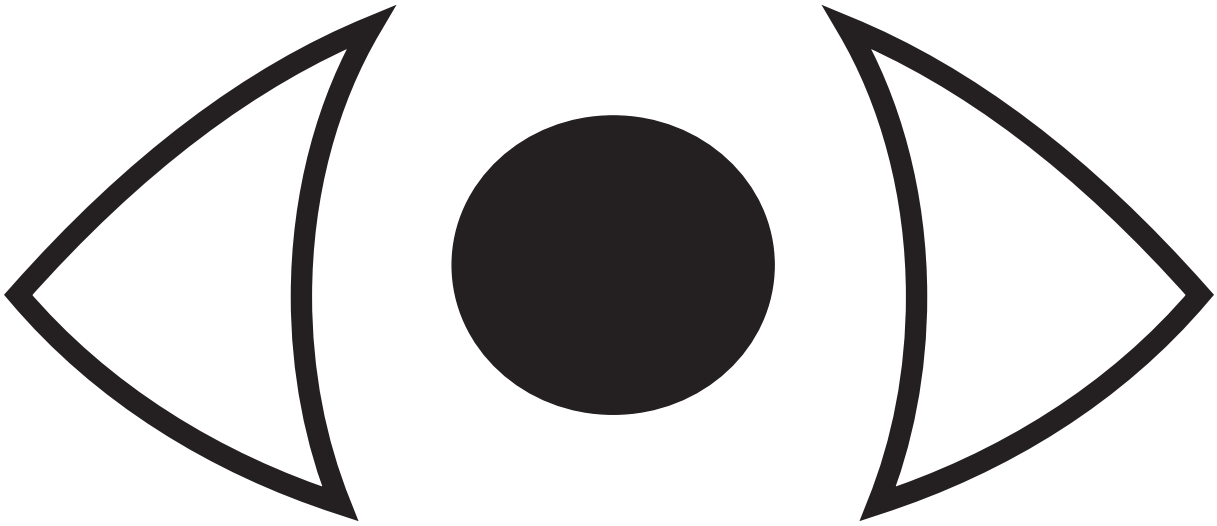
Od redakcji

Szanowny Czytelniku,

Zapraszamy do lektury 15 artykułów kolejnego wydania Tutoring Gedanensis. Czasopismo Tutees i Tutorów. Bieżący numer otwierają teksty studentów biotechnologii z Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Dalej prezentowane prace studentów Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego, skupiają się głównie na problematyce zasobów wodnych i antropopresji. Natomiast rozważania natury aksjologicznej studentki z Wydziału Filologicznego Uniwersytetu Gdańskiego zamykają wydanie.

Mamy nadzieję, że prezentowane prace, wyjątkowo bogato ilustrowane w tym wydaniu, będą inspiracją dla studentów i nauczycieli akademickich do podejmowania wspólnych inicjatyw naukowych podczas tutoringu i dzielenia się nimi na łamach naszego czasopisma.

Redakcja



Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 7-11 ISSN 2451-1862

Czy bakteriofagi mogą być skutecznym i bezpiecznym lekiem na zakażenia spowodowane przez bakterie oporne na antybiotyki?

Filip Wojnarowski

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii

fwojnarowski11@gmail.com

Tutor: dr hab. Robert Nawrot

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Instytut Biologii Eksperymentalnej, Zakład Wirusologii Molekularnej

Słowa kluczowe – *bakteriofagi, wirusy bakteryjne, fagi, antybiotykooporność, terapia fagowa, endolizyny*

Wprowadzenie

Odkrycie penicyliny w 1928 stało się przełomowym momentem w historii leczenia zakażeń bakteryjnych (Lee Ligon, 2004). Upowszechnienie antybiotyków na masową skalę znacznie polepszyło jakość i długość życia przeciętnego człowieka (Adedeji, 2016). Z roku na rok są one używane w coraz większej skali. Od 2000 do 2010 zanotowano 36% wzrost zużycia leków antybiotykowych w porównaniu z latami wcześniejszymi (Van Boeckel i in., 2014). Niestety ich znaczne nadużywanie przyczyniło się do wykształcenia przez bakterie oporności na antybiotyki, co znacząco zmniejszyło efektywność leczenia chorób o podłożu bakteryjnym. Do obecnej sytuacji przyczyniło się również stosowanie substancji antybiotycznych w hodowli zwierząt przeznaczonych na ubój. Antybiotyki są wykorzystywane w przemyśle spożywczym, aby zmniejszyć koszty związane z utrzymaniem zwierząt w odpowiedniej kondycji, w konsekwencji prowadząc do wykształcenia oporności. Dla przykładu w Chinach zaobserwowano obecność bakterii *E. coli* opornych na kolistynę w organizmie świni (Liu i in., 2017). W konsekwencji doprowadziło to do powstania tzw. „superbakterii" odpornych na większość znanych dotychczas antybiotyków. Przykładem takiego mikroorganizmu jest gronkowiec złocisty (*Staphylococcus aureus*), którego niektóre szczepy wykształciły zdolności pozwalające na przeżycie w obecności m.in. metycyliny czy wankomycyny. Oporność na antybiotyki staje się coraz poważniejszym problemem, który przy braku nowych rozwiązań, może być tragiczny w skutkach. Według brytyjskiego ekonomisty Jima O'Neilla w 2050 roku zakażenia bakteryjne mogą przyczynić się do śmierci około 10 milionów ludzi, tym samym znacznie przekraczając liczbę zgonów powodowanych przez nowotwory. Takie dane mogą przerażać, lecz również pobudzają do myślenia nad rozwiązaniem mogącym zapobiec takiej przyszłości.

Potencjalnym lekarstwem na zakażenia bakteryjne, których nie można wyleczyć przy użyciu antybiotyków mogą być bakteriofagi. Są to wirusy atakujące bakterie oraz archeony. Obecnie ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses) wyróżnia 19 rodzin fagów. Bakteriofagi mogą różnić się między sobą strukturą genomu (jedno- lub dwuniciowy), rodzajem kwasu nukelinowego (DNA bądź RNA), obecnością lub brakiem otoczki, budową kapsydu (ogonkowe, polihedralne, nitkowate i pleomorficzne) (Ackerman, 2011). Każdego dnia przyczyniają się one do śmierci 15-40% bakterii obecnych w oceanach (Keen, 2015). Użycie bakteriofagów do leczenia zakażeń bakteryjnych określa się mianem terapii fagowej. Historia badań nad tym tematem sięga 1896 roku, kiedy to Ernest Hankin odkrył obecność czynnika o działaniu przeciwbakteryjnym przeciwko bakteriom Vibrio cholerae obecnym w wodach rzeki Ganges. Nie było natomiast dowodów na to, że czynnikiem tym mogły być wirusy. Dopiero w roku 1915 Frederick Twort oraz 1917 Félix d'Hérelle, niezależnie doszli do wniosku, że czynnikiem zaobserwowanym przez Hankina mogą być właśnie bakteriofagi. Bazując na wcześniejszych badaniach d'Hérelle wykorzystał fagi do leczenia chorych na czerwonkę bakteryjną, lecz odkrycie antybiotyków znacznie zmniejszyło zainteresowanie tym sposobem leczenia (Sandeep, 2006). Jednymi z pierwszych instytutów prowadzących badania związane z terapią fagową były Eliava Phage Therapy Center w Gruzji oraz Ośrodek Terapii Fagowej Centrum Medycznego Instytutu Immunologii i Terapii Doświadczalnej PAN w Polsce. Ten rodzaj terapii jest jednak stosowany jedynie eksperymentalnie, kiedy inne metody leczenia zawodzą. Przykładem takiej sytuacji jest przypadek 76-letniego mężczyzny, którego śródpiersie zostało zakażone przez pałeczkę ropy błękitnej (*Pseudomonas aeruginosa*), bakterię oporną na karbapenemy. Początkowo leczenie pacjenta polegało na podawaniu ceftazydymu, proces ten trwał trzy lata. W 2015 roku uznano, że sposobem na wyleczenie mężczyzny może okazać się terapia fagowa. Strategia leczenia

polegała na wprowadzeniu koktajlu składającego się z fagów OMKO1 oraz ceftadyzymu do przetoki śródpiersia pacjenta. Badania laboratoryjne pokazały bowiem, że bakterie, które wykształciły oporności przeciwko bakteriofagom OMKO1, stały się ponownie podatne na działanie antybiotyku. Dzień po podaniu koktajlu, mężczyzna wykazywał stabilne parametry życiowe. Ustabilizowanie warunków pozwoliło na przeprowadzenie operacji aorty i przetoki śródpiersia. Krótko po zabiegu zaprzestano podawania ceftadyzymu, a pacjent nie wykazywał objawów nawrotu zakażenia (Chan i in., 2018).

Zalety terapii fagowej

Niska toksyczność bakteriofagów

Bakteriofagi są niezwykle powszechne w środowisku. Ich liczba na Ziemi znacznie przekracza liczbę wszystkich organizmów ją zamieszkujących. Co za tym idzie każdy człowiek ma z nimi do czynienia każdego dnia. Gdy dostaną się do organizmu, są z niego wydalane bądź niszczone. Pomimo, że fagi mogą powodować reakcje immunologiczną nie dochodzi do tego często (Navarro i Muniesa, 2017). W 2004 roku przeprowadzono eksperyment, w którym grupie wolontariuszy doustnie podawano bakteriofagi T4. Pod koniec doświadczenia uczestnikom pobrano osocze, w celu ustalenia czy podawanie fagów miało wpływ na skład krwi. W surowicy nie wykryto obecności fagów T4 ani przeciwciał skierowanych przeciwko bakteriofagom (Bruttin i Brüssow, 2005).

Głównymi budulcami bakteriofagów są białka oraz kwasy nukleinowe. Jeżeli fag zostanie rozłożony przez układ pokarmowy to w wyniku rozkładu nie powstaną składniki mogące w znacznym stopniu zaszkodzić organizmowi. Do uwolnienia szkodliwych substancji może dojść natomiast podczas lizy bakterii spowodowanej przez faga, lecz do podobnej sytuacji dochodzi przy antybiotykoterapii (Abedon i Thomas-Abedon, 2010).

Przed podaniem bakteriofagów pacjentowi, są one oczyszczane z endotoksyn, które mogłyby mieć negatywny wpływ na organizm. Poprzez procesy namnażania oraz usuwania szkodliwych substancji powstaje tzw. koktajl, który składa się z co najmniej dwóch szczepów bakteriofagów zdolnych do lizy określonego gatunku bakterii. W 2008 roku przeprowadzono badania mające na celu stworzenie skutecznego koktajlu skierowanego przeciwko *Pseudomonas aeruginosa* i *Staphylococcus aureus* obecnych w ranach pooparzeniowych. W ich wyniku otrzymano koktajl BFC-1 składający się z soli fizjologicznej oraz zawieszonych w niej trzech szczepów bakteriofagów: PNM, 14/1 oraz ISP, które wykazywały największą efektywność w niszczeniu wyżej wymienionych populacji bakterii. Po jego otrzymaniu oraz oczyszczeniu, zbadane zostały cytotoksyczność, pH, pirogeniczność, sterylność, stabilność w 4°C. Próbki zostały również poddane analizie przy pomocy transmisyjnego mikroskopu elektronowego. Badania zostały przeprowadzone w celu ustalenia czy BFC-1 może mieć negatywny wpływ na organizm. Żaden z badanych czynników nie uległ zmianie, która mogłaby mieć negatywny wpływ na organizm (Merabishvili i in., 2009). Otrzymane wyniki dowiodły, że nie ma podstaw, aby bakteriofagi miały negatywny wpływ na organizm człowieka, ponieważ wszystkie otrzymane parametry znajdowały się w granicach normy.

Niskie ryzyko wpływu bakteriofagów na naturalną florę bakteryjną

Bakteriofagi są wyspecjalizowane co oznacza, że atakują jedynie określone gatunki lub szczepy bakterii, więc ryzyko niekorzystnych zmian w składzie naturalnej flory bakteryjnej organizmu jest bardzo niskie. Dla porównania antybiotyki powodują jej wyjałowienie, co ma negatywny wpływ na metabolizm (Węgielska i Sulibursk, 2016). Głównym celem wcześniej wspomnianych badań Anne Bruttin i Haralda Brüssow było ustalenie czy bakteriofagi T4 mają wpływ na pałeczki okrężnicy (*Escherichia coli*) obecne w naturalnej florze jelitowej. Eksperyment polegał na podaniu doustnie grupie 15 dorosłych wolontariuszy roztworów fagów o dwóch różnych stężeniach oraz placebo. Następnie badano próbki kału na obecność bakteriofagów oraz *E. coli*. Podanie bakteriofagów nie miało wpływu na zmianę liczby bakterii w stolcu osób badanych. W trakcie trwania eksperymentu u kilku badanych doszło do problemów gastrycznych, lecz oceniono, że nie były one bezpośrednio powiązane z podaniem fagów. Pomimo tego, że fag T4 ma szeroki zakres gospodarza, w przytoczonych badaniach na 42 szczepach *E.coli* tylko 2 uległy lizie. Zaaplikowanie fagów nie wpłynęło więc negatywnie na stan wolontariuszy (Bruttin i Brüssow , 2005).

Możliwość różnego sposobu podania bakteriofagów

Preparaty zawierające bakteriofagi mogą być podawane rozmaitymi sposobami, dzięki czemu możliwe jest zastosowanie ich bezpośrednio w ognisku zakażenia (Merabishvili i in., 2009). Jedną z form podawania fagów pacjentowi jest bezpośrednie naniesienie na skórę koktajlu zawierającego bakteriofagi w postaci sprayu. Taki sposób został zastosowany we wcześniej wspomnianych badaniach związanych z leczeniem zakażeń bakteryjnych w ranach oparzeniowych. Objętość 3 ml otrzymanego koktajlu BFC-1 została umieszczona w strzykawce, lecz igła została zastąpiona sterylną dyszą rozpylającą. Następnie preparat został rozpylony na zakażoną ranę oparzeniową. BFC-1 został użyty podczas leczenia siedmiu innych pacjentów prowadząc do całkowitego wyleczenia ran, podczas terapii nie zauważono żadnych niekorzystnych zmian (Merabishvili i in., 2009).

W badaniach mających na celu ustalenie wpływu bakteriofagów T4 na bakterie *E. coli* tworzące naturalną florę jelitową, fagi były podawane doustnie w formie roztworów wodnych. Sposób ten mógłby być stosowany w celu leczenia zakażeń układu pokarmowego, ponieważ w trakcie eksperymentu u wolontariuszy przyjmujących fagi zanotowano ich obecność w kale. W związku z tym musiały one przejść przez cały układ pokarmowy, zatem w razie ewentualnego zakażenia, w którymś z jego odcinków mogłyby one zainfekować obecne tam bakterie. Aby zwiększyć efektywność tej metody zalecane jest podawanie fagów wraz ze środkami alkalizującymi, w celu zmniejszenia kwasowości treści żołądkowej, ponieważ niskie pH może źle wpływać na stabilność bakteriofagów. W badaniach ustalono również, że niewielka ilość fagów trafia do układu krwionośnego, lecz są one

z niego szybko usuwane, więc ten sposób podania nie byłby wydajny podczas leczenia zakażeń układu krwionośnego (Bruttin i Brüssow , 2005).

Fagi można również poddać liofilizacji, co daje możliwość łatwego uformowania z nich tabletek je zawierających (Bunting, 1997). Niektóre gatunki bakteriofagów w takiej postaci wykazują stabilność w temperaturze do 55°C oraz mogą być przechowywane do 14 miesięcy. Produkcja preparatów zawierających fagi w takiej formie była aktywna w ZSRR w latach 80. Na terenie obecnej Gruzji wytwarzane były tabletki skierowane przeciwko bakteriom wywołującym czerwonkę, dur brzuszny oraz salmonellę (Bunting, 1997).

Bakteriofagi można również podawać w formie kremów np. przeciw trądzikowi. Aby otrzymać taki preparat, przeprowadzono badania polegające na pobraniu dziesięciu fagów PAC atakujących bakterie *Cutibacterium acnes* (wcześniej znanych pod nazwą *Propionibacterium acnes*) wywołujących trądzik. Otrzymany krem cetomakrogolowy zachowywał właściwości bakteriobójcze do 90 dni przy przechowywaniu w 4°C. Badania genomów fagów wykazały, że nie zawierają one bakteryjnych czynników wirulencji, dzięki czemu mogłyby zostać użyte komercyjnie (Brown i in., 2016).

Przy zakażeniach zewnętrznych koktajle zawierające bakteriofagi mogą być stosowane miejscowo, bezpośrednio na zakażonej ranie. W takim przypadku na zakażony obszar nakłada się specjalną siatkę, a następnie jest ona polewana koktajlem fagowym. Ten sposób leczenia został w Eliava Phage Therapy Center wykorzystany w przypadku pacjenta Marca Guillonneau cierpiącego na zespół Nethertona. Z powodu choroby jego skóra ciągle się złuszczała, przez co był on bardzo podatny na zakażenia bakteryjne mogące prowadzić do sepsy. U pacjenta dochodziło do licznych epizodów sepsy, co jest nietypowym przypadkiem. Niestety antybiotykoterapia okazała się być nieskuteczna, ponieważ antybiotyki w krótkim czasie przestawały działać. Terapią ostatniej szansy dla Marca okazała się być terapia fagowa. Polegała ona na nanoszeniu koktajlu na skórę pacjenta. Po podjęciu leczenia nie dochodziło już do sepsy, a ogólny stan zdrowia mężczyzny znacznie się poprawił (Aaronson i Menglers, 2017).

Możliwość synergistycznego stosowania preparatów zawierających bakteriofagi oraz antybiotyków

Bakterie mają zdolność do wykształcenia oporności zarówno na antybiotyki jak i na bakteriofagi (Chan i in., 2018). Gdy bakteria wykształci mechanizm chroniąc ją przed działaniem ściśle określonego antybiotyku, lek ten staje się bezużyteczny. Natomiast w przypadku oporności na fagi, wirus może przezwyciężyć mechanizm obronny. Jest to związane z tym, że bakteriofagi mutują. Wynikiem mutacji może być zmiana struktury włókien odpowiedzialnych za przytwierdzenie do ściany komórkowej bakterii, tak aby odpowiadały one zmutowanym receptorom lub zmiana materiału genetycznego w taki sposób, aby endonukleazy bakterii nie były w stanie go pociąć. Jeżeli fag okaże się być mało efektywny przeciwko wykształconym przez dany gatunek mechanizmom, możliwe jest znalezienie innego bakteriofaga, który wykazuje większą efektywność (Carlton, 1999).

Wspomniane wcześniej badania nad fagiem OMKO1 pokazały, że w niektórych przypadkach podanie bakteriofagów wraz z antybiotykami może okazać się bardzo korzystne. Okazało się bowiem, że bakterie, które wykształciły odporność na fagi stały się znacznie bardziej podatne na działanie antybiotyków na które były wcześniej odporne. Natomiast jeżeli bakteria stała się odporna na antybiotyk, stała się jednocześnie znacznie bardziej podatna na działanie bakteriofagów. Wspomniane badania były przeprowadzone jedynie na jednym szczepie *P. aeruginosa* w warunkach *in vitro* oraz na jednym pacjencie, więc nie wiadomo czy podobnie jest u innych bakterii. Obserwacja ta jest bardzo obiecująca, wymaga jednak dalszych badań (Chan i in., 2018).

Produkcja endolizyn

Niektóre bakteriofagi w ostatnim etapie cyklu litycznego produkują pre-endolizyny, które następnie są przekształcane w endolizyny, czyli enzymy odpowiedzialne za degradację ściany komórkowej bakterii, dzięki którym fagi zostają uwalniane z komórki żywiciela. Dzieli się je na pięć klas:

- N-acetylomuraminidazy
- endo-β-N-acetyloglukozaminidazy
- lityczne transglikozylazy
- endopeptydazy
- amidazy N-acetylomuramylo-L-alaninowe

Zgodnie z podaną kolejnością trzy pierwsze enzymy odcinają resztę cukrową peptydoglikanu, następne odcinają jednostki peptydowe, a ostatnie przecinają wiązanie amidowe między L-alaniną, a resztą N-acetylomuramylową. W związku z tym, że endolizyny są grupą enzymów nie należących do tego samego typu, więc przebieg lizy może różnić się u poszczególnych bakterii. Wymienione enzymy mogą mieć potencjalne wykorzystanie w leczeniu zakażeń o podłożu bakteryjnym, ponieważ wykazują aktywność również od zewnętrznej strony ściany komórkowej, lecz jedynie w przypadku bakterii Gram-ujemnych (Brzozowska i in., 2011). Endolizyny wykazują podobną specyficzność działania co bakteriofagi, więc ryzyko negatywnego wpływu na naturalną florę bakteryjną jest niskie.

Endolizyny i antybiotyki mogą być stosowane synergistycznie, tym samym zwiększając efektywność terapii. Lizyna Cpl-1 połączona z gentamycyną jest bardziej efektywna przeciwko pneumokokom ze zmniejszającym się minimalnym stężeniem hamującym penicyliny natomiast w połączeniu z penicyliną wykazuje dużą efektywność przeciwko szczepom opornym na penicylinę. Pokazuje to, że endolizyny w połączeniu z antybiotykami mogą niwelować działanie mechanizmów wykształconych przez oporne na antybiotyki bakterie. Niestety w organizmie lizyny wykazują aktywność maksymalnie do 20 minut. Po upływie tego czasu są one niszczone przez układ odpornościowy (Fischetti, 2010). Mimo to dają one dużą nadzieję w walce z antybiotykoopornością.

Wady terapii fagowej

Wąski zakres aktywności

Fakt związany z tym, że określone fagi atakują jedynie ściśle określone gatunki lub szczepy bakterii może stanowić poważną przeszkodę dla terapii fagowej (Loc-Carrillo i Abedon, 2011). W przypadku choroby bakte-

ryjnej należałoby najpierw dokładnie zdiagnozować jaki gatunek bakterii wywołał zakażenie, a następnie dobrać faga, który wykazywałby największą efektywność w niszczeniu komórek bakteryjnych danego gatunku. Niestety, istnieje ryzyko, że nie znaleziono jeszcze faga, który byłby dobrym kandydatem do leczenia określonego szczepu bakterii. Wiąże się to głównie z tym, że badania nad bakteriofagami przeznaczonymi do terapii fagowej są prowadzone od niedawna i w nielicznych miejscach na świecie. W latach 90. na terenie obecnej Gruzji znajdowała się biblioteka bakteriofagów wykazujących dużą efektywność w leczeniu chorób bakteryjnych. Niestety wojna domowa związana z rozpadem ZSRR przyczyniła się do przerw w dostawach prądu, co w konsekwencji doprowadziło do zniszczenia większości okazów bakteriofagów przechowywanych w bibliotece (Bunting, 1997). Aby zwiększyć efektywność terapii można stosować koktajle składające się z różnych gatunków fagów, lecz nawet wtedy nie wykazują one tak szerokiego spektrum aktywności jak antybiotyki (Loc-Carrillo i Abedon, 2011).

Brak ustalonych optymalnych warunków przechowywania bakteriofagów

Bakteriofagi różnią się w budowie w zależności od rodziny oraz żywiciela. Wyróżniamy cztery różne typy fagów w zależności od budowy kapsydu: ogonkowe, polihedralne, nitkowate oraz pleomorficzne. Konsekwencją ich budowy jest różny zakres tolerancji na zmiany czynników środowiska takich jak temperatura, zasolenie czy pH. Czynniki te mogą negatywnie wpływać na strukturę faga prowadząc do uszkodzeń i zmniejszenia żywotności (Jończyk i in., 2011). Dla przykładu chloroform dezaktywuje 1/3 ogoniastych bakteriofagów, wszystkie fagi nitkowate i zawierające tłuszcze. Temperatura w jakiej fagi są najbardziej stabilne może różnić się w zależności od szczepu. Najpowszechniej są one przechowywane w temperaturach 4°C, -80°C lub -196°C. Pomimo tego niskie temperatury nie dają gwarancji na to, że bakteriofagi zachowają swoją aktywność. Podczas zamrażania należy używać odpowiednich krioprotektantów, aby zapobiec uszkodzeniu faga przez powstające kryształy lodu (Ackerman i in., 2004). Różna tolerancja na czynniki środowiska stanowi również poważny problem w trakcie badań, ponieważ losowe zdarzenie może doprowadzić do zniszczenia całej hodowli, tym samym opóźniając otrzymanie wyników. Dlatego w celu ułatwienia terapii fagowej, należy również prowadzić badania, które pozwolą na ustalenie optymalnych warunków do przechowywania bakteriofagów.

Różna aktywność w zależności od bakteriofaga

Podobnie jak w przypadku różnic w budowie, bakteriofagi różnią się również sposobami działania. Jeden szczep może wykazywać większą efektywność w niszczeniu bakterii niż inny, lub może mieć szerszy zakres żywicieli, dzięki czemu jest lepszym kandydatem do terapii fagowej. Bakteriofagi mogą przechodzić przez dwa rodzaje cykli życiowych tj. cykl lityczny lub lizogenny (Ackerman i in., 2004). Pierwszy polega na wykorzystaniu komórki bakterii do tworzenia elementów składowych faga, które następnie łączą się tworząc nowe bakteriofagi, które, aby opuścić komórkę muszą doprowadzić do jej rozpadu. W drugim materiał genetyczny faga zostaje wbudowany w DNA gospodarza w wyniku czego powstaje profag (Canchaya i in., 2003). Nieczynna postać bakteriofaga (profag) przechodzi cykl lityczny dopiero w odpowiednich warunkach np. przy wystarczająco dużym zagęszczeniu komórek bakteryjnych. W związku tym fagi, które przeprowadzają cykl lityczny są bardziej pożądane w terapii fagowej, niż te, które przeprowadzają cykl lizogenny. Co więcej w genomie fagów lizogennych (transdukujących) mogą znajdować się geny korzystne dla bakterii kodujące np. bakteryjne czynniki wirulencji. Kiedy dojdzie do infekcji, gen zawierający tę informację zostanie wbudowany w DNA gospodarza, tym samym przekazując mu zdolność do syntezy toksyn (Brüssow i in., 2004). Ustalenie przez jaki cykl życiowy przechodzi dany fag, wymaga badań, co wiąże się z potrzebą zainwestowania w nie czasu oraz środków (Woźnica i in., 2015).

Kwestie ekonomiczne

Aby zaprojektować terapię skierowaną przeciwko ściśle określonej bakterii należy wybrać faga, który będzie wykazywał największą efektywność. Przed jego zastosowaniem należałoby również sekwencjonować jego materiał genetyczny. Poszerzenie wiedzy na temat jego funkcjonowania pozwoliłoby na jak najlepsze zoptymalizowanie terapii, żeby przynosiła jak najlepsze efekty. Wiąże się to z dużym nakładem niezbędnych środków pieniężnych oraz pracy. Przeprowadzenie tego typu badań jest niezbędne, ponieważ koncerny farmaceutyczne niechętnie zainwestowałyby pieniądze w terapię, która nie uzyskała oficjalnej zgody lub nie zweryfikowano, czy jest w pełni bezpieczna dla zdrowia.

Przez długi czas bakteriofagi nie były wykorzystywane w leczeniu na dużą skalę w związku z trudnościami w zaprojektowaniu terapii, która byłaby powtarzalna i efektywna dla większej liczby pacjentów. Nawet dziś jest to dużym problemem, ale postępujące badania nad terapią fagową z pewnością ułatwią wykorzystanie fagów w medycynie. W przeszłości problemem było również to, że preparaty je zawierające powodowały chorobę lub śmierć pacjentów. Wiązało się to z niedokładnymi technikami tworzenia koktajli fagowych, które nie były odpowiednio oczyszczane z endotoksyn (Carlton, 1999).

Innym powodem małej liczby badań jest fakt związany z tym, że po odkryciu antybiotyków zainteresowanie bakteriofagami w kontekście terapii znacznie spadło. Istnienie skutecznego leku przeciwko bakteriom sprawiło, że nie było potrzeby poszukiwania innych rozwiązań. Co więcej początkowe badania związane z bakteriofagami były przeprowadzane w ZSSR na terenie obecnej Gruzji. Napięcie istniejące pomiędzy zachodem a wschodem sprawiło, że artykuły napisane w języku rosyjskim nie były chętnie czytane w zachodnich państwach Europy i USA (Bunting, 1997).

Zastosowanie w rolnictwie

Sektorem, w którym bakteriofagi również mogłyby być skutecznie stosowane do zwalczania bakterii, jest rolnictwo. Wzrost antybiotykooporności dotyczy nie tylko bakterii atakujących ludzi, ale też tych atakujących rośliny. Braku skutecznej obrony przeciwko zakażeniom roślin, może doprowadzić do znacznego spadku produkcji żywności. Co więcej

obecnie wykorzystywane antybiotyki mogą mieć negatywny wpływ na ilość oraz jakość plonów. Pożywienie, do produkcji którego wykorzystywane były antybiotyki, jest również mniej przychylnie przyjmowane przez konsumentów. Dlatego wykorzystanie fagów mogłoby okazać się dobrym rozwiązaniem (Svircev i in., 2018).

Badania nad wykorzystaniem bakteriofagów do leczenia zakażonych roślin sięgają roku 1922, kiedy to zaobserwowano, że filtrat zawierający fagi zahamował wzrost bakterii powodujących bakteryjną mokrą zgniliznę kapusty (Mallmann i in., 1924). Od tamtego czasu przeprowadzone zostały badania pokazujące skuteczność bakteriofagów przeciwko bakteriom atakującym m.in. ziemniaki, kukurydzę, winogrona, jabłka, gruszki oraz cytrusy (Svircev i in., 2018). Niestety podczas aplikacji w rolnictwie możliwym jest napotkanie podobnych przeszkód jak w przypadku wykorzystania fagów w medycynie.

Podsumowanie

Moim zdaniem terapia fagowa skrywa ogromny potencjał i jest idealnym rozwiązaniem na kryzys antybiotykooporności. Dotychczasowe badania laboratoryjne dowodzą jej skuteczności w niszczeniu komórek bakterii takich jak *E. coli, S. aureus* czy *P. aeruginosa*. Wprowadzenie skutecznej terapii przeciwko każdej groźnej chorobie bakteryjnej na masową skalę będzie czasochłonne, lecz z pewnością jest warte zainwestowania czasu, ponieważ w przyszłości może zapobiec niebezpiecznemu trendowi, kiedy dotychczas błahe zakażenia zaczną być śmiertelne.

Bakteriofagi stwarzają wiele nowych możliwości na walkę z bakteriami opornymi na antybiotyki. Począwszy od preparatów zawierających żywe fagi, poprzez ich synergistyczne stosowanie z antybiotykami, kończąc na endolizynach. Każdy ze wspomnianych sposobów mógłby być skutecznie wykorzystany w profilaktyce chorób o podłożu bakteryjnym. Być może w przyszłości bakteriofagi będą lekiem równie powszechnym jak antybiotyki. Jeżeli do tego dojdzie, konieczne będzie stosowanie fagów z rozwagą, aby nie doprowadzić do podobnego kryzysu jak ten dotyczący wzrastającej szybko antybiotykooporności bakterii.

Literatura

Aaronson X., Menglers B., 2017. *The Virus That Kills Drug-Resistant Superbugs* https://www.youtube.com/watch?v=aVTOr7Nq2SM&t

Abedon S. T., Thomas-Abedon C., 2010. Phage Therapy Pharmacology. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 11 (1), 28-47

Ackerman H. W., Moineau S., Tremblay D., 2004. Lon -term bacteriophage preservation. *WFCC Newsletter* 38, 35-40

Ackerman H. W., 2011. Bacteriophage taxonomy. *Microbilogy Australia*, 90-94

Adedeji W.A., 2016. The treasure called antibiotics. *Annals of Ibadan Postgraduate Medicine*, 14, (2), 56-57

Bunting J., 1997. BBC Horizon: *Phage - The Virus that Cres.* https://archive.org/details/BBCHorizonS1997e13TheVirusThatCures

Brown T. L., Petrovski S., Dyson Z. A., Seviour R., Tucci J., 2016. The Formulation of Bacteriophage in a Semi Solid Preparation for Control of *Propionibacterium acnes* Growth. PLOS ONE, 11, (3) https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151184

Brüssow H., Canchaya C., Hardt W. D., 2004. Phages and the Evolution of Bacterial Pathogens: from Genomic Rearrangements to Lysogenic Conversion. *Microbiology and molecular biology reviews,* 68, (3), 560-602

Bruttin A., Brüssow H., 2005. Human Volunteers Receiving Escherichia coli Phage T4 Orally: a Safety Test of Phage Therapy. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 49 (7), 2874–2878. DOI: 10.1128/AAC.49.7.2874-2878.2005

Brzozowska E., Bazan J., Gamian A., 2011. Funkcje białek bakteriofagowych. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 65, 167-176. DOI: 10.5604/17322693.936090

Canchaya C., Proux C., Fournous G., Bruttin A., Brüssow H., 2003. Prophage genomics. *Microbiology and molecular biology reviews*, 67, (2), 238-76

Carlton R. M., 1999. Phage Therapy: Past History and Futre Prospects. *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, 47, 267–274

Chan B. K., Turner P. E., Kim S., Hamid R., Mojibian H. R., Elefteriades J. A., Narayan D., 2018. Phage treatment of an aortic graft infected with *Pseudomonas aeruginosa. Evolution, Medicine, and Public Health,* 2018 (1), 60–66. DOI: 10.1093/emph/eoy005

Fischetti V. A., 2010. Bacteriophage endolysins: A nvel anti-infective to control Gram-positive pathogens. *Int. J Med Microbiol* 300(6), 357–362. DOI: 10.1016/j.ijmm.2010.04.002

Jończyk E., Kłak M., Międzybrodzki R., Górski A., 2011. The influence of external factors on bacteriophages—review. *Folia Microbiologica*, 56 (3), 191-200. DOI: 10.1007/s12223-011-0039-8

Keen E.C., 2015. A century of phage research: Bacteriophges and the shaping of modern biology. *Bioessays*, 37, (1), 6-9

Lee Ligon B., 2004. Penicillin: its discovery and early development. *Seminars in Pediatric Infectious Disease,* 15 (1), 52-57

Liu Y. Y., Wang Y., Walsh T. R., Yi L. X., Zhang R., Spencer J., Tian G., Dong B., Huang X., Yu L. F., Gu D., Ren H., Chen X., Ly L., He D., Zhou H., Liang Z., Liu J. H., 2015. Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism MCR-1 in animals and human beings in China: a microbiological and molecular biological study. The *Lancet Infectious Diseases,* 16 (2), 161-168. DOI: 10.1016/S1473-3099(15)00424-7.

Loc-Carrillo C., Abedon S. T., 2011. Pros and cons of phage theraphy. *Bacteriophage* 1 (2), 111-114. DOI: 10.4161/bact.1.2.14590

Mallmann W. L., Hemstreet C., 1924. Isolation of an inhibitory substance from plants. J*ournal of Agricultural Research*, XXVIII, 6

Merabishvili M., Pirnay J. P., Verbeken G., Chanishvili N., Tediashvili M., Lashkhi N., Glonti T., Krylov V., Mast J., Van Parys L., Lavigne R., Volckaert G., Mattheus W., Verween G., De Corte P., Rose T., Jennes S., Zizi M., De Vos D., Vaneechoutte M., 2009. Quality-Controlled Small-Scale Production of a Well-Defined Bacteriophage Cocktail for Use in Human Clinical Trials. *PLoS ONE*, 4 (3), e4944. DOI: 10.1371/journal.pone.000494

Navarro F., Muniesa M., 2017. Phages in the Human Body. *Frontiers in microbiology*, 8: 566, DOI: 10.3389/fmicb.2017.00566. eCollection 2017.

Sandeep K., 2006. Bacteriophage precision drug against bacterial infections. *Current Science*, 90, (5), 631-633

Svircev A., Roach D., Castle A., 2018. Farming the Future with Bacteriophages in Agriculture. *MDPI; Visruses* 2018, 10, (5), 218 https://doi.org/10.3390/v10050218

Van Boeckel T. P., Gandra S., Ashok A., Caudron Q., Grenfell B. T., Levin S. A., Laxminarayan R., 2014. Global antibiotic consumption 2000 to 2010: an analysis of national pharmaceutical sales data. *The Lancet Infectious Diseases*.;14(8), 742-750. DOI: 10.1016/S1473-3099(14)70780-7

Węgielska I., Suliburska J., 2016. Wpływ leków na mikrolorę jelitową. *Forum Zaburzeń Metabolicznych,* 7, (1), 1-7

Woźnica W. M., Bigos J., Łobocka M. B., 2015. Lysis of bacterial cells in the process of bacteriophage release – canonical and newly discovered mechanisms. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 69, 114-126. DOI: 10.5604/01.3001.0009.6484

Notatka o Autorze

Student pierwszego roku studiów licencjackich na kierunku biotechnologia WB UAM w Poznaniu. Zainteresowany potencjalnym wykorzystaniem biotechnologii w medycynie. Laureat konkursu BESTStudentGRANT w ramach którego realizuje projekt związany z bakteriofagami.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 12-16 ISSN 2451-1862

Czy immunoterapia punktów kontrolnych jest przyszłością onkomedycyny? Rozważania tutoringowe

Tomasz Modrzyński, Maria Gwit

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Instytut Biologii Eksperymentalnej

tomekmodrzynski1996@gmail.com, maria.gwit@onet.pl

Tutor: dr Agnieszka Knopik-Skrocka

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,

Wydział Biologii, Zakład Biologii Komórki

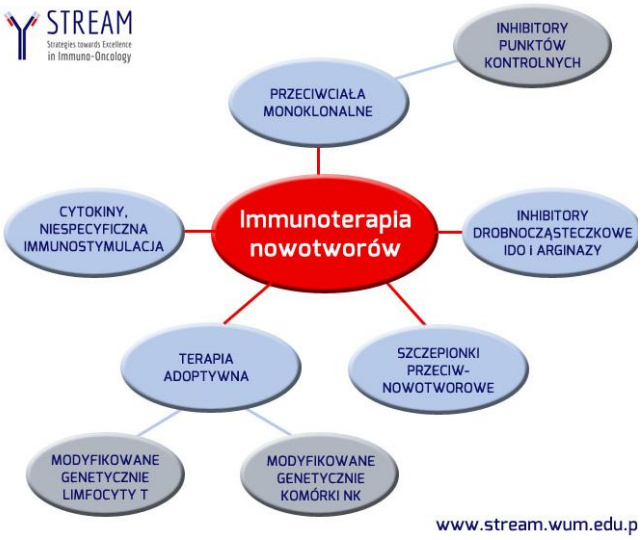
Słowa kluczowe – *immunosupresja, immunoterapia, PD-1/PD-L1, CTLA-4, mikrośrodowisko nowotworu*

Wstęp

Onkomedycyna, zajmująca się diagnostyką i leczeniem nowotworów, stanowi bardzo ważny i szybko rozwijający się obszar medycyny. Fakt ten wynika przede wszystkim z rosnącej zachorowalności na nowotwory złośliwe. Według prognozy zachorowalności i umieralności na nowotwory złośliwe w Polsce do 2025 roku [1], liczba zachorowań wzrośnie do 170 tysięcy rocznie, przy obecnej 160 tysięcy rocznie. Równie dużym problemem jest ciągle zbyt niska skuteczność takich metod jak chemioterapia czy radioterapia.

Głównymi czynnikami determinującymi efektywność leczenia nowotworu jest stopień jego zaawansowania, wrażliwość jego komórek na leki czy radioterapię. Wśród nowotworów złośliwych wyróżnić można te o stosunkowo wysokiej chemio-, radiowrażliwości oraz te wykazujące oporność. Pomimo znacznego postępu medycyny i nauk biologicznych, wiele aspektów dotyczących biologii nowotworów, w tym czynników wpływających na ich odpowiedź wobec leczenia, pozostaje zagadką. A przecież im więcej będziemy wiedzieć na ten temat, tym skuteczniejsze i bezpieczniejsze stanie się leczenie.

Większość terapii przeciwnowotworowych charakteryzuje się niską selektywnością, co powoduje szereg działań niepożądanych dla pacjenta. Aktualnie wiele ośrodków naukowo-badawczych prowadzi intensywne badania nad terapiami celowanymi, czyli takimi które działają tylko na wybrane komórki (docelowe). W przypadku onkomedycyny są nimi komórki nowotworowe, ale także komórki mikrośrodowiska nowotworowego, w tym komórki immunologiczne (limfocyty, makrofagi, komórki dendrytyczne).
Jednym z odkryć, które przybliżają nas do wynalezienia być może „leku idealnego" są leki stosowane w ramach immunoterapii, a więc takie, które wykorzystują/mobilizują układ immunologiczny pacjenta do walki przeciw nowotworowi. Immunoterapeutyki są zdolne do aktywowania limfocytów T (Tcyt), limfocytów NK (ang. Natural Killers), makrofagów czy komórek dendrytycznych APC (ang. Antigen Presenting Cells). Na rycinie 1 przedstawiono strategie działania immunoterapeutyków jako potencjalne drogi zahamowania rozwoju nowotworu.



Ryc. 1. Rodzaje immunoterapii nowotworów [2]

Obecnie szczególną uwagę i duże nadzieje skupia terapia za pomocą tzw. inhibitorów punktów kontrolnych (ang. Immune Check point Inhibitors, CPI), do których należą m.in. inhibitory PD-1/PD-L1oraz inhibitory CTLA-4. O znaczeniu tej terapii świadczyć może fakt, iż w roku 2018, dwóch naukowców J. Allison i T. Honjo otrzymało Nagrodę Nobla w dziedzinie medycyny i fizjologii, właśnie za badania nad punktami kontrolnymi komórek immunologicznych.

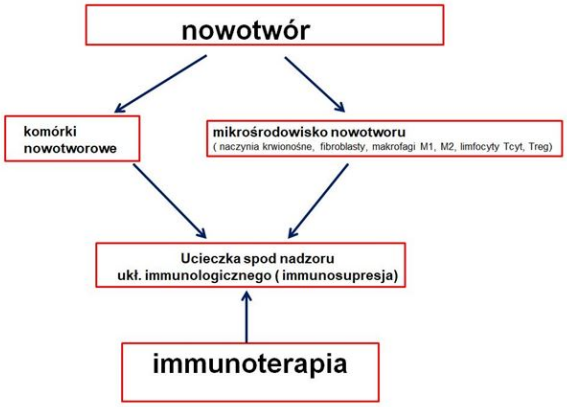
O ile termin **cancer therapy** (terapia raka) wprowadzony do anglojęzycznej wyszukiwarki PubMed [3] skupia bardzo dużą liczbę publikacji naukowych (724 456 wyników), o tyle danych o CPI jest znacznie, znacznie mniej (208 wyników). Ta sfera onkomedycyny jest bowiem ciągle na początku swej drogi i stanowi tzw. „gorący temat" w biologii i medycynie nowotworów. Między innymi z tego względu postanowili-

śmy zgłębić tajniki tej ścieżki immunoterapii nowotworów. Celem naszej pracy jest ukazanie aktualnego stanu wiedzy na temat immunoterapii punktów kontrolnych, jej perspektyw i tym samym próba odpowiedzi na pytanie jakie postawiliśmy w tytule pracy.

Mikrośrodowisko nowotworowe i immunologiczne punkty kontrolne – co wiemy, dokąd zmierzamy?

Mikrośrodowisko nowotworowe to funkcjonalna i strukturalna mieszanka komórek oraz czynników uwalnianych przez nie do mikrośrodowiska (Joyce i Fearon, 2015). Wśród głównych składników należy wymienić podścielisko łącznotkankowe z fibroblastami, naczynia krwionośne oraz komórki układu immunologicznego. Niektóre z nich jak Tcyt, czy komórki NK działają korzystnie niszcząc komórki nowotworowe inne, jak limfocyty T regulatorowe (Treg), czy mieloidalne komórki supresorowe (MDSCs) sprzyjają rozwojowi choroby (Umansky i in., 2016).

W ramach naszej pracy tutoringowej powstała „mapa myśli" w odniesieniu do mikrośrodowiska nowotworowego jako obszaru o heterogennym składzie i licznych oddziaływaniach (Ryc. 2).



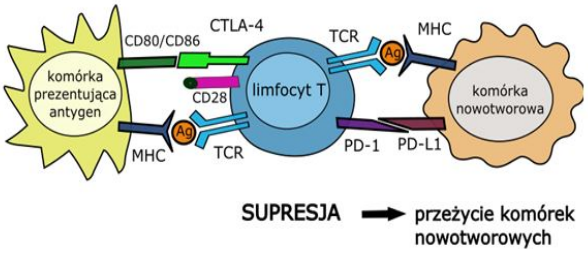
Ryc. 2. „Mapa" mikrośrodowiska nowotworowego jako miejsce immunosupresji i cel immunoterapii

Z punktu widzenia naszych rozważań szczególnie ważne okazały się oddziaływania prowadzące do immunosupresji. Jest to bardzo złożone zjawisko prowadzące do ucieczki nowotworu spod kontroli Tcyt i innych komórek immunologicznych wykazujących aktywność przeciwnowotworową (Beatty i Gladney, 2014). Jednym z mechanizmów immunosupresji jest unikanie ekspresji antygenów na powierzchni komórek nowotworowych. Efektem tego jest niska immunogenność nowotworu, czyli zdolność do wywołania przeciwko sobie swoistej odpowiedzi odpornościowej. To z całą pewnością utrudnia lub wręcz uniemożliwia rozpoznanie komórek nowotworowych przez Tcyt.

Dla aktywności Tcyt niezwykle ważne są także ich własne punkty kontrolne. Przykładem jest receptor PD-1. Nazwa PD-1 jest akronimem od pełnej nazwy: receptor programowanej śmierci 1 (ang. programmed death receptor 1), a sam receptor bierze udział w wielu procesach związanych z odpowiedzią immunologiczną. Zadaniem punktu kontrolnego jest utrzymanie stanu równowagi w odniesieniu do aktywności Tcyt (Farhood i in., 2019). Nadmierna aktywność limfocytów mogłaby prowadzić do reakcji autoimmunologicznych.

W przypadku choroby nowotworowej kluczowe wydaje się pobudzenie „uśpionego" układu immunologicznego pacjenta. To uśpienie może stanowić wynik obecności w mikrośrodowisku PD-L1, czyli liganda receptora PD-1. Głównym źródłem PD-L1 są same komórki nowotworowe. W efekcie interakcji PD-L1 z PD-1 dochodzi do zablokowania aktywności Tcyt i ich „uśpienia" (Beatty i Gladney, 2014). Takie limfocyty nie są gotowe do kontaktu z komórką dendrytyczną, mającą zdolność prezentowania na swojej powierzchni antygenów nowotworowych, „wyłapanych" w mikrośrodowisku.

Na rycinie 3 zamieszczono opisany powyżej schemat oddziaływania na linii komórka dendrytyczna-Tcyt-komórka nowotworowa. Niestety to nie jedyny sposób działania immunosupresyjnego w guzie nowotworowym. CTLA-4 to kolejny ważny punkt, który może mieć swój udział w wyłączeniu układu immunologicznego z walki przeciw komórkom nowotworowym. Receptor CTLA-4 działa na zasadzie konkurencji z cząsteczką CD28 o wiązanie ligandów CD80 i CD86 na powierzchni APC (Ryc. 3). Cząsteczka CTLA-4 wykazuje znacznie większe powinowactwo do wymienionych ligandów, w porównaniu z CD28. Zajęcie miejsca przez CTLA-4 uniemożliwia ostatecznie prawidłowe zadziałanie cząsteczek kostymulujących (CD80/86) i funkcjonowanie tzw. synapsy immunologicznej pomiędzy Tcyt a APC (Leach i in., 1996).



Ryc. 3. Mechanizm działania punktów kontrolnych hamujących odpowiedź immunologiczną związaną z PD-1 CTLA-4, zmienione [4].

Swój wielki udział w immunosupresji nowotworu, w inwazji, przerzutowaniu, wznowie po leczeniu chemio-, czy radioterapeutycznym mają macierzyste komórki nowotworowe (ang. cancer stem cells, CSCs) (Sultan i in., 2017). Dziś wiadomo, że obok normalnych komórek nowotworowych, w guzie obecna jest nieliczna, ale bardzo groźna grupa CSCs (Knopik-Skrocka i in., 2017). Tabela 1 pokazuje jak wielki wpływ mają CSCs na to co dzieje się w mikrośrodowisku nowotworowym, a równocześnie jak silne jest działanie pronowotworowe komórek immunologicznych zrekrutowanych przez CSCs. Dotyczy to na przykład makrofagów z populacji TAMs (ang. tumor-associated macrophages), czy limfocytów Tregs z populacji limfocytów T helperowych.

Jak wspomniano wcześniej, dla komórek nowotworowych charakterystyczne są zmiany w zakresie ich antygenów zgodności tkankowej (ang. major histocompatibility complex, MHC) (Sultan i in., 2017). Takie procesy są napędzane na przykład przez CSCs. W efekcie z powierzchni komórek nowotworowych znikają niektóre antygeny, inne które się pojawiają są podobne do antygenów zdrowych komórek i tym samym nie są rozpoznawane przez komórki o aktywności przeciwnowotworowej. Oprócz zmiany własnego fenotypu immunologicznego, CSCs potrafią zakłócić prezentację odpowiednich antygenów, receptorów na po-

wierzchni m.in. limfocytów T cytotoksycznych prowadząc do zahamowania ich prawidłowego działania. Na uwagę zasługują najnowsze wyniki badań zespołu polskiego (Raniszewska i in., 2019), potwierdzające silny wpływ CSCs na immunosupresję i zdolność do przerzutowania. Badania te przeprowadzono na krwi obwodowej pacjentów z rozpoznanym i przerzutującym lub nie przerzutującym rakiem płuc (rak płaskonabłonkowy, gruczolakorak, rak drobnokomórkowy). CSCs o fenotypie CD133+ wykazywały także ekspresję PD-L1. CSCs poprzez produkcję PD-L1 mogą wpływać hamująco na Tcyt (jako efekt związania PD-L1 z PD-1). Obecność PD-L1 na powierzchni tych komórek można jednak sprytnie wykorzystać jako adres dla leku, o czym będzie mowa w dalszej części naszych rozważań.

Tab. 1 Oddziaływania między CSCs i komórkami immunologicznymi w mikrośrodowisku nowotworowym (Sultan i wsp. 2017, zmienione)

Komórki immunologiczne	Wpływ komórek immunologicznych na CSCs
Makrofagi TAMs	- oporność wielolekowa CSCs ekspansja wątrobokomórkowych CSCs - aktywacja przejścia nabłonkowo-mezenchymalnego (EMT) - pomoc w adaptacji CSCs aktywacja komórek zrębu do - zwiększenia zdolności samoregeneracyjnych CSCs
MDSC	- indukcja ekspresji genów odpowiedzialnych za produkcję i właściwości CSCs - promocja ekspansji MDSC, co oznacza wzrost EMT i występowania CSCs
komórki dendrytyczne	- wpływ na chemiooporność CSCs
Limfocyty regulatorowe (Treg)	- wzrost liczby CSCs

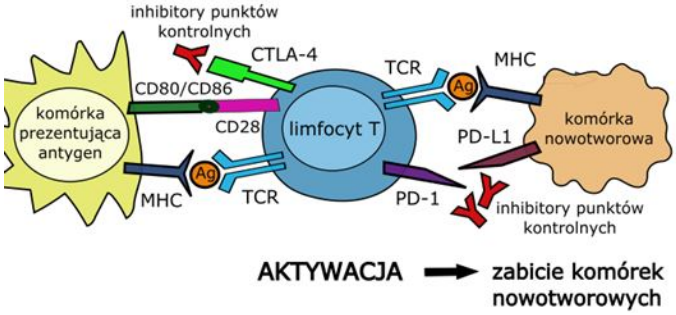
Komórki immunologiczne	Wpływ CSCs na komórki immunologiczne
Makrofagi TAMs	- polaryzacja makrofagów w kierunku fenotypu immunosupresyjnego (M2) - spadek fagocytozy i aktywności przeciwnowotworowej makrofagów
Neutrofile	- rekrutowanie neutrofili do niszy CSCs
Limfocyty regulatorowe (Treg)	- zmniejszenie populacji limfocytów T efektorowych, z - większenie populacji limfocytów T regulatorowych

Działanie CSCs przyczynia się także do szerzenia pronowotworowego fenotypu mi ędzy innymi wśród makrofagów (fenotyp M2). Wreszcie CSCs przyczyniają się do wzrostu liczby Treg, znanych jako komórki immunosupresyjne (Sultan i in., 2017).

Inhibitory punktów kontrolnych w terapii nowotworów, czyli sedno sprawy

Zgodnie z informacją zamieszczoną we Wstępie naszej pracy, ubiegłoroczna Nagroda Nobla w dziedzinie medycyny i fizjologii przypadła za poznanie dwóch ważnych immunologicznych punktów kontrolnych (PD-1 i CTLA-4), ale także, a może przede wszystkim za możliwość wykorzystania tej wiedzy do opracowania nowej strategii leczenia. Na rycinie 4 widoczne są miejsca działania znanych i stosowanych obecnie inhibitorów tychże punktów kontrolnych. Przełomowy dla rozwoju CPI okazał się rok 1996, kiedy Leach, Krummel i Allison podzielili się ze światem swoim odkryciem. Naukowcy stwierdzili, iż blokując CTLA-4 przeciwciałem monoklonalnym następuje zahamowanie wzrostu nowotworu (Leach i in., 1996).

Dalsze badania, w tym przedkliniczne i kliniczne doprowadziły do zatwierdzenia w roku 2011 przez FDA (ang. Food Drug Administration) pierwszego inhibitora immunologicznego punktu kontrolnego Ipilimumabu. Grupą docelową byli pacjenci z zaawansowanym czerniakiem (Mansh, 2011). Rok 2011 można przyjąć jako początek „ery immunoterapii inhibitorów punktów kontrolnych".



Ryc. 4 Zastosowanie inhibitorów punktów kontrolnych w celu aktywacji limfocytów T cytotoksycznych do walki z komórkami nowotworowymi, zmienione [4]

Na podstawie obserwacji efektów leczenia potwierdzono długotrwałe działanie Ipilimumabu, skorelowane z powstawaniem pamięci immunologicznej. U chorych poddanych terapii przy użyciu Ipilimumabu współczynnik 5-letniego przeżycia uległ znacznej poprawie, w porównaniu do chemioterapii. Może wynikać to z faktu, iż wyraźną wadą chemioterapii jest działanie tylko w momencie trwania terapii, a nie również po jej zakończeniu (Lang i in., 2018). Stosowanie Ipilimumabu niesie ze sobą pewne skutki uboczne: biegunki, zmiany skórne, stany zapalne jelita lub wątroby, a w skrajnych przypadkach infekcje oportunistyczne, jak zapalenie płuc. Te niepożądane rezultaty występowały przede wszystkim u pacjentów, którzy przyjmowali zbyt wysokie dawki leku (Fecher i in., 2013).

Kolejnym ważnym rokiem i kamieniem milowym w terapii CPI był rok 2014. W tym czasie został dopuszczony do leczenia u chorych, także z czerniakiem, Nivolumab [5]. Obok Pembrolizumabu, to najbardziej znany i najczęściej stosowany inhibitor PD-1. Jego skuteczność obserwowano już od pierwszych prób klinicznych, dodatkowo był dobrze tolerowany przez pacjentów. Obecnie lek ten jest dedykowany także dla pacjentów z rakiem niedrobnokomórkowym płuc, rakiem jelita grubego, nerki. Nivolumab może być stosowany ponadto u pacjentów z chłoniakiem Hodgkina. W przypadku leczenia Nivolumabem warto podkreślić trwałość działania - odpowiedź korzystna utrzymuje się przez około rok, co w odniesieniu do konwencjonalnych metod, takich jak chemioterapia nie występuje (Swatler i Kozłowska, 2016).

Na przestrzeni kolejnych lat pojawiły się leki działające jako inhibitory PD-L1. Przykładem jest Atezolizumab, wprowadzony od 2016 roku do leczenia chorych z rakiem płuc, po niepowodzeniu wcześniejszej dwulekowej chemioterapii z udziałem pochodnych platyny (Piórek i Zaborowska-Szmit, 2017). Terapia z zastosowaniem inhibitorów PD1/PD-L1 jest mniej toksyczna dla pacjentów niż terapia Ipilimumabem,. Liczba pacjentów, u których obserwuje się negatywne uboczne skutki terapii wynosi w przypadku grupy PD-1/PD-L1 5-20%, a dla pacjentów leczonych anty-CTLA-4 od 10 do 40% (Oiseth i Aziz, 2017).

Pojawiają się doniesienia, że skład mikroflory jelitowej pacjenta poddanego terapii CPI, czy stan zapalny lub antybiotykoterapia mogą mieć wpływ na skuteczność leków anty-PD-1 i PD-L1 (Chmielewska i in., 2018, Routy i in., 2018). Obecność stanu zapalnego w organizmie pacjenta przyczynia się do zwiększonej ekspresji PD-1, czyli do zwiększenia immunogenności tego środowiska. W przypadku stosowania antybiotyków przed lub w trakcie leczenia anty-PD-1 istnieje duże ryzyko zmian ilościowych i jakościowych mikroflory jelitowej, co może ograniczyć skuteczność immunoterapeutyku (Chmielewska i in., 2018). Routy i wsp. na podstawie badań przeprowadzonych na myszach z nowotworami płuca lub nerki wskazują na bardzo istotny wpływ składu gatunkowego (Routy i in., 2018). Szczególnie ważne w tym aspekcie są bakterie z rodzaju *Akkermansia* i *Bifidobacterium*. Przy ich niedoborze lub braku autorzy proponują suplementację bakterii, używając na to określenia „probiotyki immunoterapeutyczne". Wskazują także na konieczność zbadania składu flory bakteryjnej pacjentów jako czynnika predykcyjnego dla immunoterapii przeciwciałami anty-PD-1 (Routy i in., 2018).

Perspektywy i nadzieje

Dużą uwagę skupia się obecnie na wynikach badań dotyczących efektów kombinacji różnych terapii np. radioterapia+inhibitory punktów kontrolnych (Gong i in., 2018, Ozpiskin i in., 2019). Z przedstawionych danych wynika, iż w mikrośrodowisku nowotworowym po zastosowaniu radiacji dochodzi do śmierci pewnej puli komórek nowotworowych, co skutkuje uwolnieniem wielu antygenów związanych z nimi, zwiększeniem inflitracji guza przez komórki immunologiczne. Dodatkowo następuje wzrost ekspresji receptorów punktów kontrolnych ich ligandów na komórkach immunologicznych i nowotworowych, odpowiednio. Dzięki temu wzrasta immunogenność mikrośrodowiska. Włączenie po radioterapii inhibitorów CPI prowadzi do wzrostu aktywności limfocytów Tcyt.

O ile terapia CPI na dobre jest już stosowana u pacjentów z takimi nowotworami jak czerniak, rak płuc, nerki, czy chłoniak nadal pozostaje pewna grupa nowotworów, w przypadku których nie ma możliwości podjęcia leczenia za pomocą CPI. Takim przykładem jest rak piersi. Spośród trzech głównych typów raka piersi, tzw. potrójnie ujemny TNBC (ang. Triple Negative Breast Cancer) jest wielkim wyzwaniem dla onkologów (Nathan i Szmid, 2018). Ze względu na brak nadekspresji receptorów estrogenowych (ER), czy receptorów Her-2, rak ten nie podlega leczeniu z użyciem terapii antyestrogenowej, czy terapii Trastuzumabem (Herceptin). Równocześnie nowotwór ten wykazuje wysoką immunogenność w porównaniu z rakiem ER+, czy Her-2+. Daje to szansę na możliwość zastosowania CPI. Z niecierpliwością więc należy czekać na pełne wyniki prowadzonych obecnie badań klinicznych, choćby KEYNOTE-086 (Adams i in., 2019).

Duże nadzieje pokłada się także w wykorzystaniu nowych immunologicznych punktów kontrolnych. Aktualnie prowadzone są intensywne badania nad białkiem kodowanym przez gen LAG3 (Lymphocyte-Activation Gene) (Long i in., 2018). Białko to działa synergistycznie z PD-1 w hamowaniu aktywności komórek immunologicznych. Najlepiej poznanym inhibitorem LAG-3 jest Relatlimab, który znajduje się obecnie w pierwszej fazie badań klinicznych. Są to badania w grupach pacjentów z różnymi nowotworami, i głównie z zastosowaniem terapii kombinowanej Relatlimab + Nivolumab, Relatlimab + Nivolumab + Ipilimumab (Long i wsp., 2018). Terapia anty-LAG3 może okazać się ratunkiem dla pacjentów z opornością na leki anty-PD-1/PD-L1. Zdaniem wielu naukowców blokada LAG-3 może dać jeszcze lepsze efekty niż blokowanie PD-1. Wynika to z faktu, iż blokada LAG-3 nie tylko pozwala aktywować limfocyty Tcyt, ale równocześnie działa hamująco wobec limfocytów Treg [6].

Podsumowanie naszych działań i rozważań

Dotychczasowe strategie leczenia nowotworów, oparte tylko na chemioterapii, radioterapii okazały się nieefektywne i nieselektywne. Z naszego punktu widzenia, na podstawie wiedzy jaką uzyskaliśmy dzięki pracy tutoringowej, immunoterapia inhibitorami punktów kontrolnych stanowi bardzo ważną i obiecującą strategię onkomedycyny. Według przeprowadzonych dotychczas badań immunoterapia Nivolumabem, czy Ipilimumabem daje stosunkowo wysoką skuteczność oraz dużo mniejszą liczbę działań niepożądanych, niż tradycyjne metody leczenia. Niestety,i te leki nie są idealne, a ich zastosowanie ma sens w przypadku nowotworów, które wykazują wysoką immunogenność. Z całą pewnością do tej grupy należy czerniak, jak i niedrobnokomórkowy rak płuca. W przypadku pozostałych konieczne jest zwiększenie immunogenności na przykład poprzez radioterapię.

Na dzień dzisiejszy wydaje się, że najskuteczniejszą strategią leczenia jest połączenie immunoterapii z dotychczasowymi metodami jak radio- i chemioterapia. Istotne jest byśmy zdawali sobie sprawę, że skuteczna walka z nowotworem to walka nie tylko z komórkami nowotworowymi, ale także z szeregiem pronowotworowych elementów jego mikrośrodowiska.

Nasze rozważania na temat immunoterapii w onkomedycynie mieliśmy okazję przedstawić w ramach wykładów, jakie wygłosiliśmy podczas Nocy Biologów (Ryc. 5) oraz Festiwalu Nauki na Wydziale Biologii UAM w Poznaniu. Pozytywny odbiór słuchaczy utwierdził nas w przekonaniu, że immunoterapia nowotworów jest tematem bardzo ważnym i interesującym. Ponadto zostaliśmy zaproszeni do zaprezentowania naszej wiedzy o CPI podczas Sympozjum „PIERwSI W DŁOŃ", zorganizowanego przez Uniwersyteckiego

Stowarzyszenie Onkologii Multidyscyplinarnej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Innym równie istotnym doświadczeniem było dla nas przygotowanie i zaprezentowanie plakatu poświęconego CPI podczas sesji posterowej Vth International Conference on Research and Education (Modrzyński i in., 2019).

Wymienione wyżej działania były świetną okazją do zdobycia wiedzy, podzielenia się nią z innymi i zainteresowania tym tematem. Nauczyliśmy się jak znajdować informacje na interesujące nas zagadnienia, oraz w jaki sposób je weryfikować. Poruszana podczas zajęć tematyka początkowo była dla nas czymś zupełnie nowym, jednak z czasem, dzięki stawianym sobie pytaniom i szukaniu na nie odpowiedzi, zgłębiliśmy ten temat. Zwieńczeniem naszej kilkumiesięcznej aktywności jest ten esej.

Literatura

Adams S., Schmid P., Rugo H. S., Winer E. P., Loirat D., Awada A., Cescon C. W., Iwata H., Campone M. Nanda R., 2019. Pembrolizumab monotherapy for previously treated metastatic triple-negative breast cancer: cohort A of the phase II KEYNOTE-086 study. *Annals of Oncology*, 30 (3), 397-404.

Beatty G.L., Gladney W. L., 2015. Immune escape mechanisms as a guide for cancer immunotherapy. *Clinical Cancer Research*, 21 (4), 687-692

Chmielewska I., Szczyrek M., Wojas-Krawczyk K., Grzywna A., Milnowski J., Krawczyk P., 2018. Wpływ mikroflory jelitowej na skuteczność immunoterapii z wykorzystaniem przeciwciał przeciwko immunologicznym punktom kontroli – opis przypadku i przegląd literatury. *Onkologia w Praktyce Klinicznej – Edukacja*, 4, 275-281.

Farhood B., Najafi M., Mortezaee K., 2019. CD8+ cytotoxic T lymphocytes in cancer immunotherapy: A review. *Journal of Cellular Physiology*, 234 (6), 8509-8521.

Fecher L. A., Agarwala S. S., Hodi F. S., Weber J. S., 2013. Ipilimumab and Its Toxicities: A Multidisciplinary Approach. *The Oncologist,* 18 (6), 733-743.

Gong J., Le T., Massarelli E., Hendifar A.E., Tuli R., 2018. Radiationtherapy and PD-1/PD-L1 blockade: the clinical development of an evolving anticancer combination. *Journal for ImmunoTherapy of Cancer,* 6, 46-63.

Joyce J. A., FeaPanron D. T., 2015. T cell exclusion, immune privilege, and the tumor microenvironment. *Science*, 348 (6230), 74-80.

Knopik-Skrocka A., Kręplewska P., Jarmołowska-Jurczyszyn D., 2017. Tumor blood vessels and vasculogenic mimicry – current knowledge and searching for new cellular/molecular targets of anti-angiogenic therapy. *Advances in Cell Biology,* 5 (1), 50-71.

Lang B. M., Peveling-Oberhag A., Faidt D., Hotker A. M., Weyer-Elberich V., Grabbe S., Loquai C., 2018. Long-term survival with modern therapeutic agents against metastatic melanoma--vemurafenib and ipilimumab in a daily life setting. *Medical Oncology*, 35 (3).

Leach D. R., Krummel M. F., Allisson J. P., 1996. Enhancement of antitumor immunity by CTLA-4 blockade. *Science,* 271 (5256), 1734-1736.

Long L., Zhang X., Chen F., Pan Q., Phiphatwatchara P., Zeng Y., Chen H., 2018. The promising immune checkpoint LAG-3: from tumor microenvironment to cancer immunotherapy. *Genes & Cancer*, 9, 176-189.

Mansh M., 2011. Ipilimumab and cancer immunotherapy: a new hope for advanced stage melanoma. *Yale Journal of Biology and Medicine,* 84, 381-389.

Modrzyński T., Gwit M., Knopik-Skrocka A., 2019. Check points inhibitors – a future of immunotherapy in oncomedicine? Tutoring reflections. *V^th International Conference on Research and Education*, April 2019, Abstracts, p.76.

Nathan M. R., Szmid P., 2018. The merging world of breast cancer immunotherapy. *The Breast*, 37, 200-206.

Oiseth S. J., Aziz M. S., 2017. Cancer immunotherapy: a brief re view of the history, possibilities, and challenges ahead. *Journal of Cancer Metastasis and Treatment*, 3, 250-261.

Ozpiskin O. M., Zhang L., Li J. J., 2019. Immune targets in the tumor microenvironment treated by radiotherapy. *Theranostics*, 9 (5), 1215-1231.

Piórek A., Zaborowska-Szmit M., 2017. Atezolizumab – inhibitor PD-L1 w niedrobnokomórkowym raku płuc. *Onkologia w Praktyce Klinicznej*, 13, 211-215.

Raniszewska A., Polubiec-Kownacka M., Rutkowska E., Domagała-Kul-awik., 2019. PD-L1 expression on lung cancer stem cells in metastatic lymph nodes aspirates. *Stem Cell Reviews and Reports*, 15 (2), 324-330.

Routy B., Chatelier E., Derosa L., 2018. Gut microbiome influences efficacy of PD-1-based immunotherapy against epithelial tumors. *Science*, 359 (6371), 91-97.

Sultan M., Coyle KM., Vidovic D., Thomas M., Gujar S., Marcato P., 2017. Hide-and-seek: the interplay between cancer stem cells and the immune system. *Carcinogenesis*, 38 (2), 107-118.

Swatler J., Kozłowska E., 2016. Immunoterapie nowotworów działające na punkty kontrolne układu odpornościowego. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 70, 25-42.

Umansky V., Blattner C., Gebhardt C., Utikal J., 2016. The Role of Myeloid-Derived Suppressor Cells in Cancer Progression. *Vaccines*, 4 (4), 36

Wu J., Lanier L. L., 2003. Natural killer cells and cancer. *Advances in Cancer Research*, 90, 127-156

[1] http://onkologia.org.pl/wp-content/uploads/Prognozy_2025.pdf [Dostęp 29.04.2019]

[2] www.stream.wum.edu.pl/pl/baza-wiedzy/70-immunoterapia--nowotworow [Dostęp: 29.04.2019]

[3] www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed [Dostęp 29.04.2019]

[4] www.stream.wum.edu.pl/pl/baza-wiedzy/172-blokada-punktow-kontrolnych-ukladu-odpornosciowego-czesc-i [Dostęp: 29.04. 2019]

[5] www.cancerresearch.org/immunotherapy/timeline-of-progress [Dostęp: 29.04.2019]

[6] www.clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01968109 [Dostęp: 29.04.2019]

Notatka o Autorach

Studenci pierwszego roku studiów licencjackich na kierunku biotechnologia WB UAM w Poznaniu. Ich zainteresowania badawcze koncentrują się wokół biologii molekularnej, genetyki oraz medycznych aspektów nauk przyrodniczych. Esej powstał na podstawie rozważań podczas realizacji programu tutoringu na WB UAM w roku akademickim 2018-19.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 17-20 ISSN 2451-1862

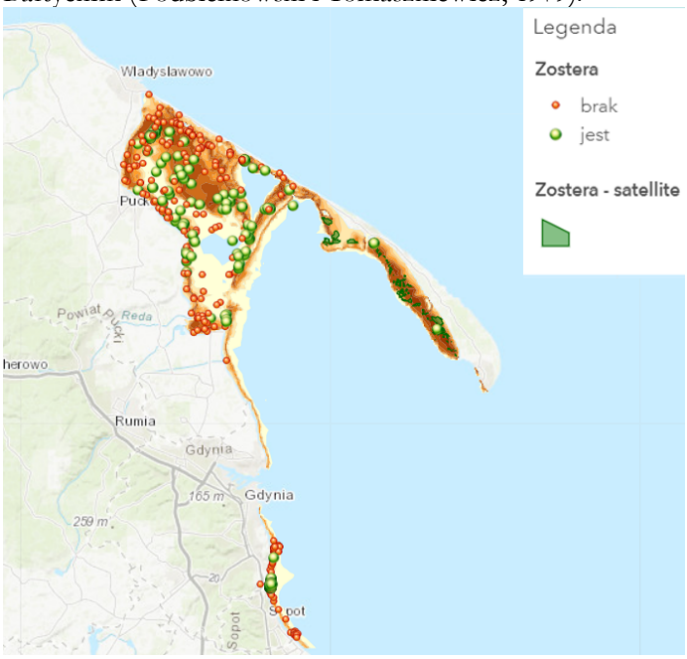
Charakterystyka i funkcje ekologiczne organizmów tworzących łąki podwodne *Zostera marina* Zatoki Puckiej

Natalia Miernik
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
natalkamiernik@gmail.com

Tutor: dr Ilona Złoch
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

Słowa kluczowe – *łąki podwodne, zoobentos, różnorodność funkcjonalna, fitobentos, peryfiton, Zostera marina*

Zatoka Gdańska to akwen o typowych dla Morza Bałtyckiego warunkach temperatury i zasolenia (ok 7–8 PSU) (SatBaltyk, 2019), a dominującym typem osadu są osady piaszczyste (HELCOM, 2018). W Zatoce Gdańskiej można wyróżnić rejony charakteryzujące się większą różnorodnością biologiczną niż pozostałe obszary dna. Jednym z nich są zbiorowiska tzw. łąk podmorskich *Zostera marina*, które znaleźć można m.in. na polskim wybrzeżu (Ryc. 1). Z. marina jest jedną z roślin naczyniowych występujących w Morzu Bałtyckim (Podbielkowski i Tomaszkiewicz, 1979).



Ryc.1. Występowanie *Z. marina* w Zatoce Gdańskiej [1]

Łąki podwodne *Z. marina* charakteryzują się większym zagęszczeniem bezkręgowców, niż sąsiadujące z nimi obszary nieporośnięte (Bostrom i Bonsdorff, 1997; Włodarska-Kwalczuk i in., 2014; Dąbrowska i in., 2016). Są miejscem bytowania i żerowania wielu gatunków zwierząt, miejscem tarła ryb oraz schronieniem przed drapieżnikami dla różnych zwierząt (Howard i Short, 1986; Nelson i Bonsdorff, 1990; Gonciarz, 2014). Duża różnorodność i zagęszczenie zwierząt może być spowodowana m.in. zwiększoną liczbą kryjówek przed drapieżnikami dla organizmów będących na początku łańcucha troficznego (Bostrom i Bonsdorff, 1997). Ponadto trawy morskie pełnią ważną rolę jako gatunki inżynieryjne – mogą modyfikować kierunek prądów morskich i stabilizować osady dzięki czemu zapobiegają erozji dna (Hemminga i Duarte, 2000). Osady występujące na łąkach podwodnych charakteryzują się zwiększoną ilością materii organicznej (Bostrom i Bonsdorff, 1997), która stanowi bazę pokarmową dla detrytusożerców.

Ekosystemy łąk podwodnych Zostera są bardzo złożone. Można tu znaleźć wiele gatunków glonów, roślin naczyniowych i zwierząt. Gatunki fitobentosowe tworzące to środowisko to najczęściej *Z. marina, Zanichella palustris* oraz *Stuckenia pectinata* (Dąbrowska i in., 2016). Fitobentos tworzy środowisko życia wielu gatunków bezkręgowców i kręgowców. Charakterystyczne dla zespołu łąk *Zostera* gatunki epifauny to ślimaki, skorupiaki oraz larwy owadów. Często występują również małże np. sercówki (*Cerastoderma glaucum*) i osobniki młodociane omułka (*Mytilus trossulus*). W osadzie na łąkach podwodnych znaleźć można bardzo dużo mięczaków np. małgiew piaskołaz (*Mya arenaria*) i skąposzczetów (*Oligochaeta*). Pozostałe organizmy należące do infauny stanowią niewielką frakcję (ok. 10%) i są to: skorupiaki, larwy owadów i wieloszczety (najczęściej *Pygospio elegans* i *Hediste diversicolor*) (Bostrom i Bonsdorff, 1997; Dąbrowska i in., 2016). Wśród makrofauny bentosowej łąk podwodnych znaleźć można kilka gatunków pełniących funkcję gatunków kluczowych. Gatunki te, to roślinożerne skorupiaki z rodzaju *Idotea* oraz żywiące się zawieszoną materią organiczną omułki. Pod względem liczebności na łąkach podwodnych występują duże ilości mięczaków: młodocianych form omułka oraz ślimaków z rodziny *Hydrobidae*, oraz skorupiaków (Bostrom i Bonsdorff, 2000; Leidenberger i in., 2012; badania własne).

Łąki Zostera są również środowiskiem występowania wielu gatunków ryb m.in. igliczni (*Syngathus typhle*) i wężynki (*Nerophis ophidion*) (Vincent i in., 1995).

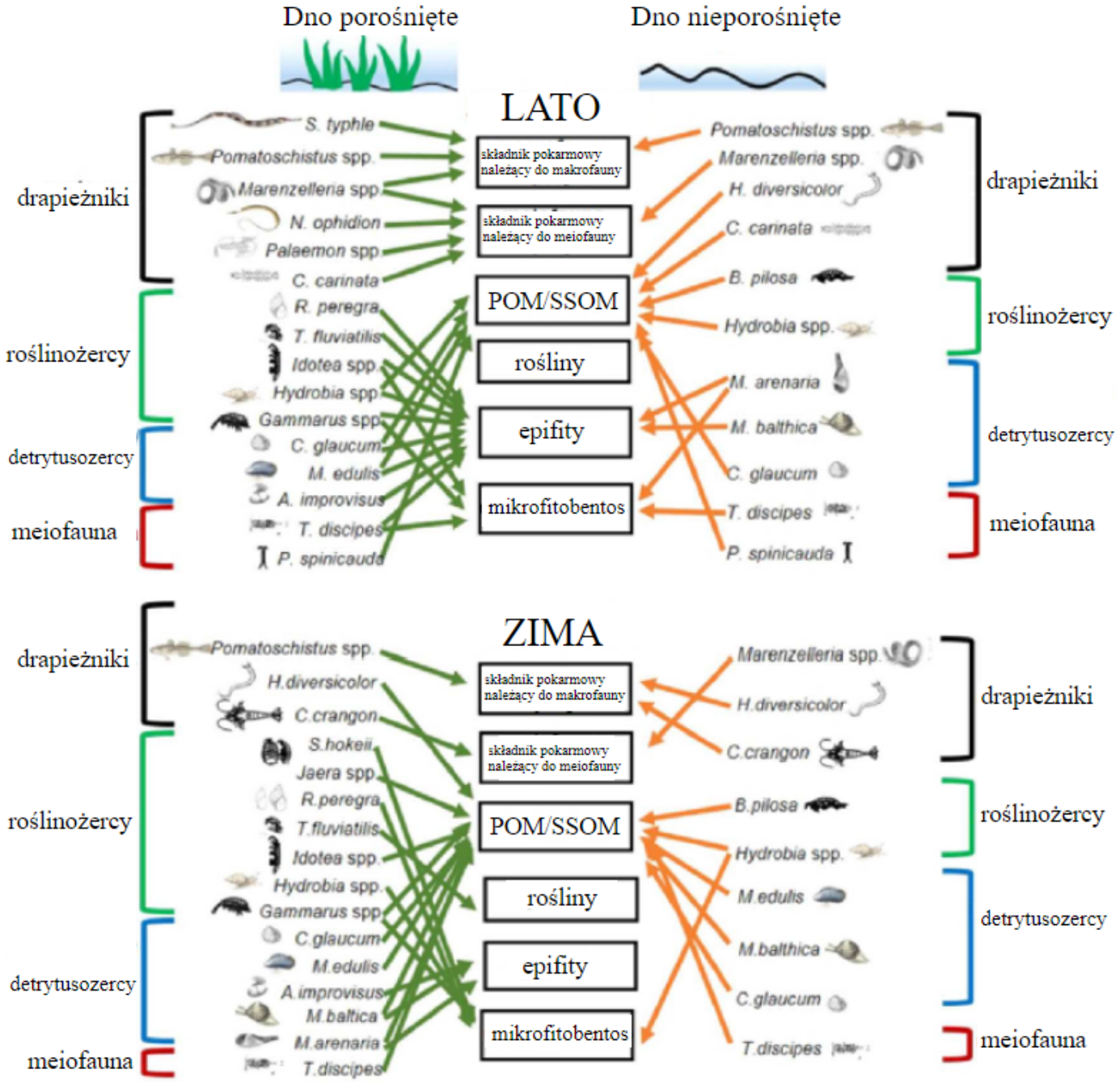
Makroglony i rośliny naczyniowe tworzące łąki są często porastane przez peryfiton – zaliczane są do niego wiciowce roślinne, osiadłe okrzemki, glony nitkowate oraz organizmy zwierzęce takie jak pierwotniaki i wrotki. Mikrocenozy peryfitonu charakteryzują się dobrze zaznaczonymi zależnościami troficznymi, a czasem wykazują specyficzną piętrową strukturę. Podstawę tworzą glony, a na nich osadzają się okrzemki. Kolejny element struktury peryfitonu to zwierzęta takie jak korzenionóżki, wrotki, nicienie, skąposzczety, brzuchorzęski, wioślarki i larwy niektórych owadów oraz glony przemieszczające się swobodnie między większymi glonami (Pliński, 1995). Peryfiton może mieć negatywny wpływ na efektywność fotosyntezy przeprowadzanej przez trawę morską. Ogranicza dostępność światła, konkuruje z trawą o składniki odżywcze oraz niszczy liście roślin, które porasta (Howard i Short, 1986). Peryfiton jest jednak ważnym źródłem pożywienia dla ślimaków z rodziny *Hydrobidae* oraz skorupiaków z grupy obunogów (Howard i Short, 1986; Dąbrowska i in., 2016). Ślimaki żywiące się peryfitonem nazywane są skrobaczami – posiadają one tarkę, którą zeskrobują porośla z różnych powierzchni (Pliński, 1995). Występowanie tych zwierząt znacznie zwiększa zagęszczenie traw. Zjadając peryfiton, który konkuruje z trawą morską o zasoby środowiska skrobacze umożliwiają jej rozrost. Niektóre badania wykazują ponadto, że występowanie gatunków żywiących się peryfitonem zmniejsza negatywne skutki eutrofizacji – usuwanie peryfitonu z liści *Zostera* umożliwia trawie na absorbowanie większych ilości związków biogenicznych z wody. Zmniejszona ilość związków biogenicznych w wodzie nie pozwala na rozwój nadmiernych ilości glonów, czyli skutki eutrofizacji wód jest mniejsza (Howard i Short, 1986; Philippart, 1995).

Do organizmów inżynieryjnych prócz samych roślin tworzących łąki, zaliczani są występujący na łąkach podwodnych bioturbatorzy – zwierzęta, które poprzez poruszanie, czy oddychanie poprawiające warunki do życia panujące w osadach (Levinton, 1995; Herringshaw i in., 2010). Ich sposoby pozyskiwania pokarmu, zagrzebywanie się oraz bytowanie w osadzie pozwalają na wymianę związków chemicznych pomiędzy osadami a wodą przydenną, a także irygują i natleniają osad zapobiegając tworzeniu się w nim warunków beztlenowych (Levinton, 1995; Janas i in., 2017). Do tej grupy organizmów zalicza się przede wszystkim wieloszczety, ale również małże (Janas i in., 2017).

Łąki *Zostera* są także schronieniem i dobrym miejscem do rozrodu ryb takich jak belony i szczupaki (Czarnecka i in., 2013). Przeżywalność larw ryb na łąkach podwodnych jest znacznie większa niż na obszarach nieporośniętych. Jest to związane ze złożonością środowiska łąk, a co za tym idzie większą ilością kryjówek dla narybku (Heck Jr., i in., 2003). Za schronienie łąki podwodne służą takim gatunkom jak iglicznia i wężynka. Oba te gatunki należące do rodziny igliczniowatych przystosowały się do życia na łąkach podwodnych przez mimikrę – przypominają trawę swoim wyglądem i zachowaniem. Co ciekawe na występowanie tych ryb na łąkach podwodnych ma wpływ wspomniany wcześniej peryfiton. Igliczniowate częściej wybierają siedliska *Zostera*, nieporośnięte peryfitonem niż te porośnięte. Może mieć to związek z lepszym kamuflażem ryb wśród nieporośniętej trawy oraz z większą ilością *Zostera* na takich łąkach (Sundin i in., 2011).

Organizmy występujące na łąkach podwodnych są połączone wieloma zależnościami troficznymi (Ryc. 2). Długość łańcucha troficznego wzrasta wraz ze wzrostem różnorodności biologicznej, w tym bogactwem gatunkowym danego środowiska. W bogatym w gatunki ekosystemie energia przepływa przez większą ilość ogniw łańcucha troficznego, co zapewnia większą elastyczność i odporność środowiska (większa szansa na niewielki wpływ na ekosystem w przypadku zniknięcia jakiegoś elementu sieci troficznej) (Sokołowski i in., 2012). Do ekosystemów o tak rozbudowanej sieci troficznej należą łąki podwodne. Do producentów na łąkach zaliczane są rośliny naczyniowe, makroglony oraz peryfiton. Konsumenci pierwszego rzędu, to przede wszystkim roślinożerne bezkręgowce, takie jak ślimaki, czy skorupiaki. Konsumentami kolejnych rzędów są drapieżne bezkręgowce (np. równonóg *Cyathura carinata* i wieloszczety z rodzaju *Marenzelleria*) oraz kręgowce – ryby i ptaki. Ponadto na łąkach występuje również wiele detrytusożerców takich jak wieloszczety i małże, oraz filtratorzy – pąkle (*Amphibalanus improvisus*) i omułki (*M. trossulus*) (Jankowska i in., 2019). Należy jednak zwrócić uwagę na to, że organizmów żyjących na łąkach podwodnych nie należy przyporządkowywać do tylko jednej grupy w sieci troficznej. Niektóre organizmy np. skorupiaki z rodzaju *Idotea* mogą żywić się roślinami, peryfitonem, martwymi częściami roślin, ale również polują na mniejsze zwierzęta (*I. balthica*). Preferencje żywieniowe mogą również różnić się u danego gatunku w zależności od zasiedlanego obszaru. Przykładowo *C. carinata* żywi się głównie meiofauną, jeśli zamieszkuje dno porośnięte trawą morską, natomiast osobniki żyjące na dnie nieporośniętym żywią się głównie cząsteczkami materii organicznej (Jankowska i in., 2018).

Łąki podwodne są jak widać bardzo różnorodnymi siedliskami. Są jednak w dużym stopniu narażone na zmiany klimatyczne oraz wpływ antropogeniczny (Short i in., 2011). Czynniki te wpływają na zmniejszenie się ilości łąk *Zostera* w Morzu Bałtyckim. *Z. marina* oraz *Furcellaria fastigiata* są w Polsce objęte ochroną ścisłą (Dz.U. 2014 poz. 1409), oraz znajduje się na Czerwonej liście roślin i grzybów Polski z kategorią VU (narażony) (Kaźmierczakowa i in., 2016). W związku z tym powinny zostać objęte ochroną czynną, żeby zapobiec degradacji tego siedliska w Morzu Bałtyckim.



Ryc.2. Model zależności troficznych na obszarze porośniętym (vegetated) oraz nieporośniętym (unvegetated) roślinnością podwodną (Jankowska i in., 2019)

Literatura

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 1997. Community structure and spatioal variation of benthic invertebrates associated with Zostera marina (L.) beds in the northern Baltic Sea. *Journal of Sea Research* 37, 153–166.

Bostrom, C., Bonsdorff, E., 2000. Zoobenthic community establishment and habitat complexity – the importance of seagrasses shoot-density, morphology and physical disturbance for faunal recruitment. *Marine Ecolory Progress Series* 205, 123–138.

Czarnecka, P., Dąbrowska, A., Igielska, M., Janas, U., Kendzierska, H., 2013. Znaczenie łąk podwodnych w Zatoce Gdańskiej. *Conference: Young Scientists conference World Water Day,* Conference paper

Dąbrowska, A. H., Janas, U., Kendzierska, H., 2016. Assessment of biodiversity and environmental quality using macrozoobenthos communities in the seagrass meadow (Gulf of Gdańsk, southern Baltic). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 45(2), 286.

Dz.U. z 2014 r. nr 0, poz. 1409 – *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 października 2014 r. w sprawie ochrony gatunkowej roślin*

Gonciarz, M., Wiktor, J., Tatarek, A., Węgleński, P., Stanković, A. 2014. Genetic characteristic of three Baltic Zostera marina populations. *Oceanologia*, 56(3), 549–564.

Heck Jr., K. L., Hays, G., Orth, R. J., 2003. Critical evaluation of the nursery role hypothesis for seagrass meadows. *Marine Ecology Progress series,* 253, 123–136.

Hemminga, M. A., Duarte, C. M., 2000. *Seagrass ecology.* Cambridge University Press

Herringshaw, L.G., Sherwood, O.A., McIlroy, D., 2010. Ecosystem engineering by bioturbating polychaetes in event bed microcosms. *PALAIOS*, 25, 46–58.

Howard, R. K., Short, F. T., 1986. Seagrass growth and survivorship under the influence of epiphyte grazers. *Aquatic Botany*, 24, 287–302.

Janas, U., Bonsdorff, E., Warzocha, J., Radziejewska, T., 2017. Deep soft seabeds. Biogeochemical cycles, *Springer*, 359–385.

Jankowska, E., De Troch, M., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczuk, M., 2018. Modification of benthic food wab structure by recovering deagrass meadows as revealed by trophic makers and mixing models. *Ecological Indicators*, 90, 28–37.

Jankowska, E., Michel, L.N., Lepoint, G., Włodarska-Kowalczuk, M., 2019. Stabilizing effects of seagrass meadows on coastal water benthic food webs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 510, 54–63.

Kaźmierczakowa, R., Bloch-Orłowska, J., Celka, Z., Cwener, A., Dajdok, Z., Michalska-Hejduk, D., Pawlikowski, P., Szczęśniak, E., Ziarnek, K., 2016. *Polska czerwona lista paprotników i roślin kwiatowych. Polsih red list of pteridophytes and flowering plans*. Kraków, Instytut Ochrony Przyrody Polskiej Akademii Nauk

Leidenberger, S., Harding, K., Jonsson, P.R., 2012. Ecology and distribution of the Isopod genus Idotea in the Baltic Sea: key species in a changing environment. *Journal of Crustacean Biology*, 32(3), 359–381.

Levinton, J., 1995. *Bioturbators as Ecosystems Engineers: Control of the Sediment Fabric, Inter-Individual Interactions, and Material Fluxes.* [w:] Jones C., Lawton J. H., (red.), *Linking species & ecostystems*, Springer--Science+Business Media, Dordrecht, 29–36.

Nelson, W.G., Bonsdorff, E., 1990. Fish predation and habitat complexity: Are complexity thresholds real? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 141, 183–194.

Philippart, C. J. M., 1995. Effect of periphyton grazing by *Hydrobia ulvae* on growth of *Zostera noltii* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Marine Biology* 122, 431–437.

Pliński, M., 1995. *Hydrobiologia*, Sopot

Podbielkowski, Z., Tomaszkiewicz, H., 1979. *Zarys hydrobotaniki* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa

SatBaltyk 2019 http://satbaltyk.iopan.gda.pl [Dostęp: 14.01.2019]

Short F. T., Polidoro B., Livingstone S.R., Carpenter K.E., Bandeira S., Bujang J. S., Zieman J. C., 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species, *Biological Conservation*., 144 (7), 1961–1971.

Sokołowski, A., Wołowicz, M., Asmus, H., Asmus, R., Carlier, A., Gasiunaite, Z., Gremare, A., Hummel, H., Lesutiene, J., Razinkovas, A., Renaud, P. E., Richard, P., Kędra, M., 2012. Is benthic food web structure related to dibversity of marine macrobenthic communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 108, 76–86.

Sundin, J., Jacobsson, O., Belgrund, A., Rosenqvist, G., 2011. Straight-nosed pipefish Nerophis ophidion and broad-nosed pipefish Sygnanthus typhle avoid eelgrass overgrown with filamentous algae. *Journal of Fish Biology*, 78, 1855–1860.

Włodarska-Kowalczuk, M., Jankowskam E., Kotwicki, L., Balazy, P., 2014. Evidence of Season-Dependency in Vegetation Effects on Macrofauna in Temperate Seagrass Meadows (Baltic Sea), *PLoS ONE,* 9(7)

Vincent, A., C., J., Berglund, A., Ahnesjö, I., 1995. Reproductive ecology of five pipefish species in one eelgrass meadow *Environment Biology of Fishes* 44, 347–361.

[1] https://www.iopan.pl/projects/Zostera/planting-pl.html [Dostęp: 13.05.19; 18:05]

Notatka o Autorze

Studentka III roku oceanografii na Uniwersytecie Gdańskim. Interesuje się biologią i ekologią, organizmów morskich i lądowych. W wolnym czasie lubi czytać książki fantastyczne i rysować.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 21-25 ISSN 2451-1862

Jak ryby zdobywają pokarm i uważają, aby samemu nie stać się pokarmem

Grzegorz Gorczyński
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
gregorczynski@gmail.com

Tutor: dr Anna Lizińska
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii,
Instytut Oceanografii, Zakład Biologii i Ekologii Morza

Słowa kluczowe – *ryby, ewolucja, strategie, pokarm, drapieżnictwo, obrona*

Ryby zasiedlają wody naszej planety już od setek milionów lat. Pojawiły się na niej jako pierwsze spośród wszystkich kręgowców i dały początek tzw. czworonogom (*Tetrapoda*), z których wywodzą się wszystkie pozostałe grupy kręgowców (Gould, 1993). Wielu ludzi kojarzy ryby głównie z jedzeniem albo zwierzęciem domowym. Niemniej, życie w oceanach wymusiło na tych niezwykłych zwierzętach wykreowanie rozmaitych rozwiązań ewolucyjnych, ułatwiających im przetrwanie w tym nie do końca przyjaznym środowisku. Ewolucja stworzyła na przykład bardzo ciekawe sposoby na spełnianie jednej z podstawowych czynności życiowych, jaką jest zdobywanie pokarmu. Równie ważne jest zwiększenie szansy na to, żeby nie stać się pokarmem dla innych.

Rybom, podobnie jak wielu innym zwierzętom, do zdobywania pokarmu służą przede wszystkim szczęki. Zanim pojawiły się szczęki, kręgowce były mikrofagami, odżywiającymi się poprzez filtrowanie składników pokarmowych z zawiesiny, podobnie jak dzisiejszy lancetnik. Większość naukowców przypuszcza, że szczęki wywodzą się z łuków skrzelowych. Szczęka górna miałaby powstać z górnej części pierwszego łuku skrzelowego hipotetycznego przodka ryb, zaś żuchwa z jego dolnej części. Drugi łuk zaś przekształcił się w łuk gnykowy, którego górna część obecnie odpowiedzialna jest za połączenie szczęk z puszką mózgową i dalszymi łukami skrzelowymi. Dolna jego część zaś wspiera żuchwę. Pojawienie się szczęk 528 mln lat temu jest uznawane za cechę, która umożliwiła kręgowcom drapieżnictwo. Na podstawie tego właśnie narządu wyróżniona została gromada *Gnathostomata*. Na przestrzeni ewolucji aparat szczękowy ryb ulegał ciekawym modyfikacjom, prowadzącym do zwiększonej skuteczności polowań (Ginter, 2012).

Już ponad 350 mln lat temu występowały ryby o bardzo interesującej i przerażającej zarazem modyfikacji tego narządu. Mianowicie gatunek *Dunkleosteus terelli* (Ryc. 1) posiadał szczęki, które czyniły go postrachem prehistorycznych mórz. Należał on do gromady *Placodermi*, dla których charakterystyczny był brak zębów. Szczęki były zbudowane z płyt pochodzenie skórnego. Natomiast układ czaszki, tarczy tułowiowej, żuchwy oraz mięśni szczęki pozwalał na rozwieranie zamkniętych szczęk w ciągu zaledwie 20 milisekund oraz osiągnięcie siły nacisku równej około 4000 N. To czyniło go najbardziej skutecznym zabójcą dewońskiego oceanu (Anderson i Westneat, 2006).

Ryc. 1. Rekonstrukcja czaszki przedstawiciela Dunkleosteus terelli [1]

Innym przedstawicielem kopalnych ryb o bardzo ciekawych szczękach jest należący do chrzęstnoszkieletowych edestydów (*Eugeneodontiformes*) permski *Helicoprion*. W przeciwieństwie do innych ryb o polidontycznym uzębieniu, co oznacza, że ich zęby wypadają i są zastępowane poprzez nowe przez całe życie, nie dochodziło u niego do usuwania starych zębów. W efekcie tworzyły się charakterystyczne spirale zębowe (Ryc. 2), składające się ze wszystkich zębów rekina, które były przechowywane do końca jego życia. Istnieje jednak dużo spekulacji na temat umiejscowienia spirali

Ryc 2. Spirala zębowa helikopriona [2]

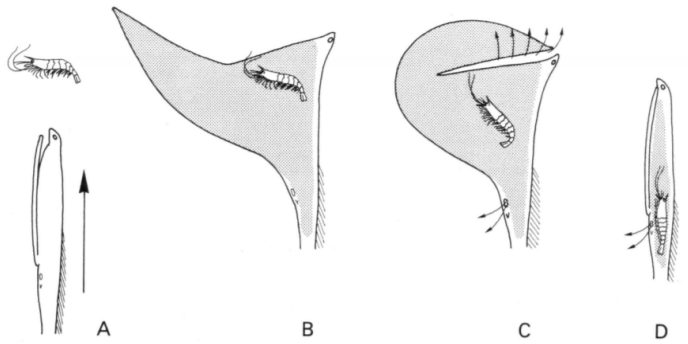
w pysku ryby oraz jej funkcji. Wynika to z tego, że nie znaleziono czaszki helikopriona (Ginter, 2012).

Natomiast wśród współczesnych ryb można zaobserwować inne modyfikacje aparatu szczękowego. Za przykład mogą tu posłużyć blisko spokrewnione ryby z rodzin żaglicowatych (*Istiophoridae*) i włócznikowatych (*Xiphiidae*). Ryby te pojawiły się prawdopodobnie w późnej kredzie, a ich dalsza dywersyfikacja nastąpiła w miocenie i pliocenie (Santini i Sorenson, 2013). Mają one bardzo ciekawy sposób na ułatwienie sobie zdobywania posiłku. Mianowice ich kość przedszczękowa oraz kości nosowe są wyciągnięte w długi szpic, zwany też dziobem. Służy on do ogłuszania ofiar, tak aby łatwiej było je później zjeść [3].

Ryc. 3. Żaglica atlantycka (*Istiophorus albicans*) podczas polowania [4]

Inną rybą o interesującej budowie szczęki jest głębinowa ryba *Eurypharynx pelecanoides*, czyli połykacz (Ryc. 4), którego szczęki wydłużone są w kierunku tylnej części ciała. Dzięki temu jego szczęka jest bardzo duża w stosunku do pozostałej części ciała. Otacza ją błona ze skóry, podobna do tej, jaką można zaobserwować u pelikana (stąd łacińska nazwa). Wynika z tego ciekawy sposób polowania (Ryc. 5). Ryba ta nie może pływać z otwartą paszczą, ponieważ duża objętość połykanej wody nie znajdowałaby ujścia w niewielkich otworach skrzelowych. Musi zatem podpłynąć do ofiary i nagłym rozwarciem szczęk uwięzić ją w przedsionku jamy ustnej wraz z otaczającą ją wodą. Ucieczka ofiary jest niemożliwa, nawet jeśli przeżyje ona pierwszy atak. Po schwytaniu jest ona przesuwana w kierunku żołądka i uśmiercana za pomocą enzymów wydzielanych z gruczołów znajdujących się na górnej szczęce drapieżcy, podczas gdy nadmiar wody usuwany jest poprzez pokrywy skrzelowe. (Nielsen i in., 1989).

Ryc. 4. Połykacz (Eurypharynx pelecanoides) [5]



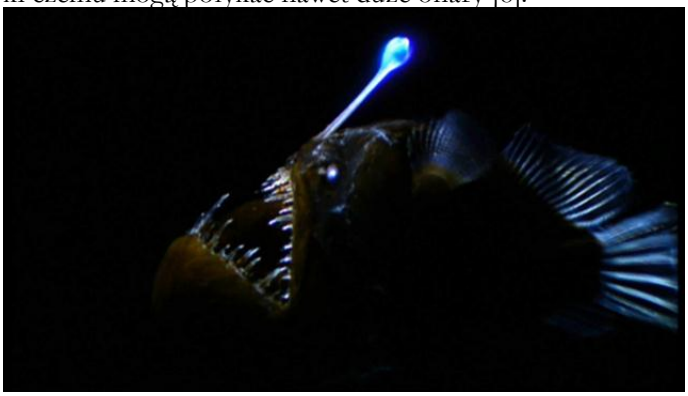
Ryc. 5. Etapy polowania połykacza
(Nielsen, Bertelsen, Jespersen, 1989)

Jednymi z najbardziej efektywnych i zarazem efektownych rybich drapieżników są ryby z rodziny antenariusowatych (*Antennariidae*). Najstarsza znana skamieniałość ryby z tej rodzina została znaleziona w osadach późnego miocenu w północno-wschodniej Algierii (Carnevale i Pietsch, 2010). Ci przydenni zabójcy atakują z zaskoczenia skorupiaki i inne ryby, w tym także przedstawicieli własnego gatunku. Ułatwia im to zdolność do zmiany barwy, dzięki czemu mogą dłużej pozostać niezauważone. Najbardziej zaskakująca jest jednak prędkość, z jaką połykają swoje ofiary. Gdy nagle rozwierają swoje szczęki, zwiększając przy tym ich rozmiar aż dwunastokrotnie, zdobycz zostaje wciągnięta do paszczy wraz z otaczającą wodą w ciągu zaledwie sześciu milisekund. Dzieje się to tak szybko, że inne zwierzęta nawet nie są w stanie zauważyć, co się stało, a antenarius może kontynuować polowanie, po uprzednim zamknięciu przełyku specjalnie do tego celu przekształconym mięśniem. W ten sposób uniemożliwia ofierze wymknięcie się z potrzasku. Oprócz przeprowadzania niezwykle szybkich ataków ryby te mogą również rozciągnąć swój żołądek, dzięki czemu są wstanie połknąć ryby nawet dwukrotnie większe od siebie, takie jak płastugi [6].

Ryby z rzędu żabnicokształtnych (*Lophiiformes*), do których należą antenariusowate, wykształciły jeszcze inny sposób na zdobywanie pożywienia. Prawdopodobnie pojawiły się i różnicowały w kredzie (Miya i in., 2010). Posiadają one charakterystyczny wyrostek, który działa jak wabik. Może

Ryc. 6. *Antennarius striatus* [6]

on trochę przypominać wędkę i ma podobne zastosowanie – ryba dzięki niemu wabi potencjalną ofiarę. Wyrostek ten powstał z pierwszych kolców przedniej płetwy grzbietowej ryby. Żabnice poruszają nim w pobliżu otworu gębowego i pożerają zwabione w ten sposób mniejsze ofiary [7]. Ryby te mają także zdolność bioluminescencji dzięki bakteriom *Photobacterium*, żyjącym w wabiku. W zamian za umożliwienie wytwarzania światła otrzymują one schronienie i substancje odżywcze. Należy zaznaczyć, że jedynie dorosłe samice posiadają tę umiejętność, ponieważ samce nie mają wyrostka. Nie wiadomo natomiast, czy bakterie znajdują się już w ciele larw żabnic, czy dostają się do ciała ryby w jakiś sposób później. Ponieważ na dużych głębokościach trudno jest zdobyć pożywienie, żabnice oprócz wabika posiadają bardzo dużą szczękę oraz rozciągliwy żołądek, dzięki czemu mogą połykać nawet duże ofiary [8].



Ryc. 7. Żabnica [9]

Oprócz zdobywania pokarmu, ryby muszą też się bronić. Niektóre wykształciły nadzwyczaj ciekawe sposoby na odpieranie drapieżników. Jedną z takich ryb jest wzbudzająca często zachwyt swą urodą i majestatem skrzydlica (*Pterois*), zwana ognicą ze względu na rwący ból, jaki wywołuje jej jad. Jad ten znajduje się w kolcach jadowych płetwy grzbietowej oraz ogonowej tej ryby. Badania na krowich komórkach śródbłonka aorty oraz mysich mioblastów wykazały, że trucizna ta może wywoływać rozpad erytrocytów oraz powodować rozpad ciał peptydowych. W badaniach na żywych myszach skutkami działania jadu były obrzęk oraz wynaczynienie skóry (Saenz i in., 2017).

Ryc. 8. Skrzydlica (*Pterois*), National Sea Life Centre, Birmingham (źródło: zbiory własne)

Jad w obronie przed drapieżnikami wykorzystywany jest również przez należące do ślizgowatych (*Blenniidae*) ryby z rodzaju *Meiacanthus* (Ryc. 10). W odróżnieniu od skrzydlicy trucizna nie znajduje się jednak w kolcach, lecz w zębach jadowych, położonych po obu stronach żuchwy. Zęby te są połączone z gruczołami wydzielającymi toksyczną substancję. Ryby gryzą napastnika kiedy ten próbuje je połknąć. Ugryziony drapieżnik najczęściej wypluwa rybę, dzięki czemu udaje jej się ujść z życiem. Z tego powodu nawet niejadowite ryby ślizgowate upodabniają się do ryb z rodzaju Meiacanthus (Szaniawski, 2009).

Ryc. 9. *Meiacanthus grammistes* [10]

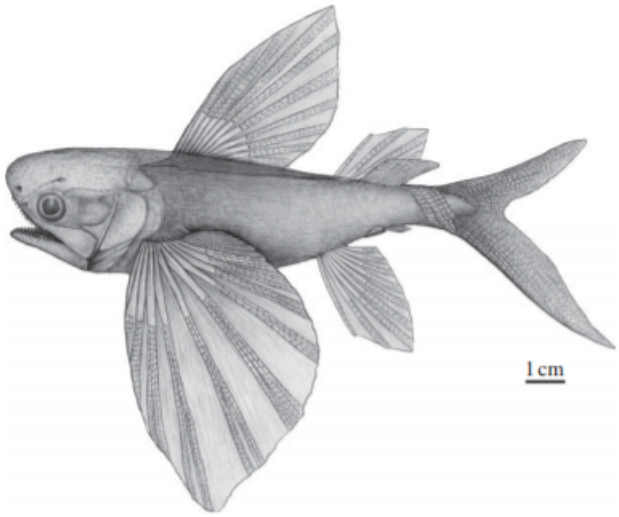
Nie wszystkie ryby dysponują jednak trucizną, którą mogłoby obronić się przed drapieżnikiem. Wiele gatunków musi się po prostu ratować ucieczką. Bardzo ciekawy sposób na to wykształciły ryby z rodziny ptaszorowatych (*Exocoetidae*),

Ryc. 10. Kieł dolnej szczęki gatunku Meiacanthus grammistes (Szaniawski, 2009)

nazywane również rybami latającymi (Ryc. 11). Pojawiły się na naszej planecie w eocenie. Ryby te występują przy powierzchni oceanu. W celu ucieczki przed drapieżnikami wykorzystują swój silny ogon o asymetrycznej płetwie ogonowej, której dolny płat jest znacznie większy od górnego, aby wyskoczyć ponad powierzchnię wody. W powietrzu rozkładają swoje dobrze rozwinięte płetwy piersiowe, co pozwala im na szybowanie ponad wodą, gdzie niektóre drapieżniki nie są w stanie ich dosięgnąć. W przeszłości geologicznej również ryby z rodziny *Thoracopteridae* (Ryc. 12) prawdopodobnie opanowały tę umiejętność. Występowały one od środkowego do późnego triasu. Podobnie do współczesnych ptaszorowatych miały one asymetryczny ogon,

Ryc. 11. Ptaszor jaskółczy (Exocoetus volitans) [11]

a długość ich płetw piersiowych dochodziła do 42 procent całej długości ciała. Sugeruje to, że one też potrafiły wzbijać się w powietrze w celu ucieczki przed ówczesnymi drapieżnikami, którymi mogły być inne ryby oraz morskie gady (Xu i in., 2012).



Ryc. 12. Rekonstrukcja gatunku *Potanichtys xingyiensis* (*Thoracoptenidae*) (Xu i in., 2012)

Jak pokazują powyższe przykłady, życie w oceanach wymaga radzenia sobie na przeróżne sposoby. Ewolucja stwarza bardzo ciekawe sposoby na przetrwanie. Z całą pewnością z wielu z nich jeszcze nie zdajemy sobie sprawy, zwłaszcza w przypadku ryb głębinowych, o których wciąż wiemy bardzo mało. Jak widać rozwiązania ewolucyjne wykształcone przez ryby sprawdzają się, skoro zwierzęta te przetrwały na naszej planecie już setki milionów lat.

Literatura

Anderson, P. S. L., Westneat M. W., 2007. Feeding mechanics and bite force modelling of Dunkleosteus terelli, an ancient apex predator, *Biology Letters*, 76–79.

Carnevale, G., Pietsch, T. W., 2006. Filling the gap: a fossil frogfish, genus Antennarius (Teleostei, Lophiiformes, Antennariidae), from the Miocene of Algeria, *Journal of Zoology,* vol. 270, 448–457.

Ginter, M. [red.] 2012. *Ryby kopalne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.

Gould, S., J., (red.), 1993. *The Book of Life*, Ebury Hutchinson, Londyn.

Miya, M. i in., 2010. Evolutionary history of anglerfishes (Teleostei: Lophiiformes): a mitogenomic perspective, *BMC Evolutionary Biology*, 10–58.

Nielsen, G. J., Bertelsen, E. Jespersen, A., 1989. The Biology of Eyrpharynx pelecanoides (Pisces, Eurypharyngidae), *Acta Zoologica*, 187–197.

Saenz, A., Ortiz, N., Lomonte, B., Rucavado, A., Diaz, C., 2017. Comparison of biochemical and cytotoxic activities of extracts obtained from dorsal spines and caudal fin of adult and juvenile non-native Caribbean lionfish (Pterois volitans/miles), *Toxicon*, vol. 137, 158–167.

Santini, F., Sorenson, L., 2013. First molecular timetree o f billfishes (Istiophoriformes: Acanthomorpha) shows a Late Miocene radiation of marlins and allies, *Italian Journal of Zoology,* 481–489.

Szaniawski, H., 2009. The earliest known venomous animals recognized among conodonts, *Acta Paleontologica Polonica* 54 (4), 669–676.

Xu, G. H., Zhao, L. J., Gao, K. Q., Wu., F. X., 2012. A new stem-neopterygian fish from the Middle Triassic of China shows the earliest over-water gliding strategy of vertebrates, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012–2261.

Źródła internetowe

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Dunkleosteus [Dostęp 24.01.2019]
2] http://phenomena.nationalgeographic.com/2011/03/09/unraveling--the-nature-of-the-whorl-toothed-shark/ [Dostęp 24.01.2019]
[3] https://www.fishbase.org/summary/FamilySummary.php?ID=419 [Dostęp 24.01.2019]
[4] https://www.mexican-fish.com/sailfish/ [Dostęp 24.01.2019]
[5] https://pl.wikipedia.org/wiki/Po%C5%82ykacz [Dostęp 24.01.2019]
[6] https://www.floridamuseum.ufl.edu/fish/discover/species-profiles/antennarius-striatus [Dostęp 24.01.2019]
[7] https://www.fishbase.org/summary/OrdersSummary.php?order=Lophiiformes [Dostęp 24.01.2019]
[8] http://ocean.si.edu/ocean-news/meet-tiny-bacteria-give-angler-fishes-their-spooky-glow [Dostęp 25.01.2019]
[9] https://video.nationalgeographic.com/video/weirdest-angler-fish [Dostęp 25.01.2019]
[10] https://pl.wikipedia.org/wiki/Meiacanthus [Dostęp 25.01.2019]
[11]https://pl.wikipedia.org/wiki/Ptaszor_jask%C3%B3%C5%82czy [Dostęp 25.01.2019]

Notatka o Autorze

Student III roku geologii I stopnia na Uniwersytecie Gdańskim. Główne zainteresowania koncentrują się wokół paleontologii, historii Ziemi i ewolucji oraz procesów zachodzących we wnętrzu planety.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 26-29 ISSN 2451-1862

Czy ryby to samo zdrowie?

Agata Nowak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

agata.nowak1511@wp.pl

Tutor: dr hab. Anita Lewandowska, profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,

Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego

Słowa klucze – ryby, toksyczność, rtęć, metylortęć, Morze Bałtyckie

Rtęć (Hg) jest neurotoksycznym metalem, który w środowisku występuje w postaci elementarnej, jak również nieorganicznych i organicznych połączeń, charakteryzujących się wysoką toksycznością. Ważnym procesem prowadzącym do powstania organicznej formy rtęci, metylortęci, jest metylacja zachodząca w warunkach beztlenowych w wodach słonych i słodkich (Barska, 2003). Spośród rozpoznanych związków rtęci, metylorteć charakteryzuje się najbardziej negatywnym wpływem na organizmy żywe. Związek ten jest dla nich nie tylko toksyczny, ale też biodostępny (Driscoll i in., 2007).

Szczególnie wrażliwe na zanieczyszczenie rtęcią są organizmy żyjące w środowisku wodnym. Wynika to z faktu, że na kolejnych poziomach piramidy troficznej rtęć ulega bioakumulacji oraz biomagnifikacji. W związku z tym jej stężenie w tkankach ryb, ssaków i ptaków wodnych może być nawet 10 000 razy wyższe niż w otaczającej wodzie lub w pokarmie, który spożywają (Boeing, 2000; Schurz, 2000). Zważywszy, że człowiek znajduje się na najwyższym poziomie piramidy troficznej jest on także narażony na wysokie stężenia rtęci. Do ludzkiego organizmu związek ten może przeniknąć w procesie oddychania, przez skórę oraz z pożywieniem. Wchłanianie rtęci z przewodu pokarmowego, a także jej biotransformacja, retencja i wydalanie zależą od formy chemicznej tego związku i determinują jego toksyczne działanie. Związki alkilortęciowe, w tym metylortęć, wchłaniane są głównie przez układ pokarmowy (nawet do 95%), a następnie poprzez krew transportowane do tkanek. Dla porównania, nieorganiczne związki rtęci wchłaniane są zaledwie w 7%. Ponadto metylortęć łatwo przenika przez barierę krew-mózg oraz krew-łożysko. Przechodzi także do mleka matki, przyczyniając się do narażenia niemowląt, które mogą kumulować rtęć w krwinkach i mózgu (Barska i Skrzyński 2003).

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), oszacowała, że 99% najbardziej niebezpiecznej dla zdrowia człowieka formy rtęci, czyli metylortęci, pochodzi z żywności (WHO, 2008). Czy zatem słuszne jest spożywanie ryb i jej przetworów przez człowieka? Czy można jeść dowolny gatunek ryb, w nieograniczonych ilościach i formach? W ostatnich dwóch dekadach dietetycy zalecali przecież spożywanie ryb ze względu na ich wartości odżywcze. Ryby są źródłem białka łatwo przyswajalnego w organizmie człowieka. Ich spożywanie, zdaniem naukowców, poprawia zdolności intelektualne i działa antydepresyjnie. Prowadzi także do obniżenia ryzyka wystąpienia chorób nowotworowych i wpływa pozytywnie na odporność. Ponadto ma dobroczynny wpływ na pracę układu krwionośnego, redukuje ryzyko ataków serca, a także przyczynia się do wzrostu odporności organizmu na stres (Akwatech, 2015).

W spożywaniu ryb najważniejsza jest równowaga. Ryby bałtyckie, takie jak śledź czy szprot, mają wysoką zawartość kwasów tłuszczowych Omega-3 i witaminy D3, korzystnie wpływających na zdrowie człowieka. Mięso ryb zawiera też znaczne ilości składników mineralnych. Przeciętnie w 100 g jest to:

- od 370 do 1110 mg fosforu,
- od 100 do 300 mg siarki,
- od 20 do 500 mg chloru,
- od 25 do 710 mg potasu,
- od 25 do 620 mg sodu,
- od 10 do 230 mg magnezu,
- od 5 do 750 mg wapnia,
- od 0,01 do 50 mg żelaza.

Ponadto mięso ryb bogate jest niezbędnych człowiekowi mikroelementy, m.in. cynk, miedź, mangan i jod. Warto podkreślić, że ryby pod względem zawartości niektórych składników mineralnych znacznie przewyższają inne rodzaje pokarmu. Na przykład średnia zawartość wapnia w tuszy ryb jest prawie 10-krotnie wyższa niż w wołowinie (Akwatech, 2015).

W Polsce do najczęściej spożywanych ryb od zawsze należał śledź. Należał, gdyż jego konsumpcja w ostatnich latach systematycznie spada. Do roku 2000 przeciętny Polak zjadał średnio 3 kg śledzi w ciągu roku. W roku 2013 spożycie tej ryby w Polsce wynosiło już niespełna 2 kg na osobę.

Ogólnie obserwuje się malejącą tendencję w konsumpcji ryb i owoców morza w naszym kraju. W 2016 roku była ona na poziomie 13,1 kg na osobę, podczas gdy w 2017 roku wyniosła 12,5 kg. Jednak zdaniem Jerzego Safadera, prezesa Polskiego Stowarzyszenia Przetwórców Ryb (PSPR), konsumpcja ryb w Polsce pozostaje na niezmienionym poziomie, wynoszącym średnio od 12 do 15 kg na osobę rocznie. Natomiast Polacy faktycznie coraz mniej chętnie sięgają po śledzia. Wynika to ze zmiany nawyków konsumpcyjnych naszych rodaków oraz rosnącej ceny tej ryby (PSPR Koszalin). Za śledzia solonego w roku 2010 trzeba było średnio zapłacić 13,60 zł/kg, w kolejnym roku już 16,30 zł/kg, a w roku 2017 cena tej ryby wzrosła do 17,40 zł/kg (Mały Rocznik Statystyczny Polski, 2018). Według ekspertów Instytutu Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej (IERiGŻ) w roku 2018 płaciliśmy za ryby o 10–15% więcej niż w roku 2017. W roku 2018 nastąpił kolejny wzrost cen. Jak ocenia IERiGŻ, tylko w okresie styczeń-październik 2018 roku, w porównaniu do stycznia-października 2017 roku, za ryby płacono średnio o ponad 7% więcej. I ponownie, najbardziej podrożały śledzie, których cena w imporcie wzrosła o około 50%. Na wzrost ceny tej ryby wpłynęło przede wszystkim obniżenie kwot połowowych, a także zmniejszająca się populacja gatunku. Obecnie, faworytem Polaków stał się mintaj. Śledzie są drugą najchętniej kupowaną rybą przez naszych rodaków, obok łososia. Te trzy gatunki stanowią połowę konsumowanych ryb w Polsce. Dietetyk powie, że to dobry wybór. Ekolog, że niekoniecznie. Ten pierwszy zwróci uwagę na fakt, że śledzie i łososie to gatunki słonowodne, a więc tłuste i bogate w kwasy Omega-3. Ekolog wyjaśni, że populacje wszystkich trzech gatunków są zagrożone wyginięciem i trzeba dać im się odrodzić.

W Polsce coraz chętniej spożywane są także dania gotowe oraz przetwory rybne. Przetwórcy dążą do dywersyfikacji, dzięki czemu oferta produktowa staje się szersza i bardziej atrakcyjna dla konsumentów. W 2017 roku produkcja ryb, przetworów rybnych i owoców morza w dużych zakładach przemysłu rybnego, o zatrudnieniu powyżej 49 osób, wyniosła 443 tys. ton i była o ponad 1% mniejsza niż w roku poprzednim. Zmniejszono przede wszystkim produkcję ryb wędzonych (o 16,0%, do 74,5 tys. ton), w tym wędzonego łososia (o 10,0% do 54,4 tys. ton). Z kolei produkcja wyrobów wysoko przetworzonych (konserw, marynat, wyrobów garmażeryjnych i pozostałych przetworów) w roku 2017 zwiększyła się o 2,0 % (do 228,5 tys. ton). Największy udział miały marynaty (35,6%). Podstawowym gatunkiem ryb, wykorzystywanym w przetwórstwie pogłębionym, były tradycyjnie śledzie (108,2 tys. ton), choć i tu odnotowano nieznaczny spadek (o 0,4%) względem lat 2014-2017 (IERiGŻ, 2018).

Mimo zmieniających się nawyków żywieniowych, ryby i ich produkty stanowią ważną część spożywanego przez Polaków pożywienia. Za jego pośrednictwem do organizmu człowieka może przenikać rtęć. Z tego względu istotnym wydaje się rozpoznanie, w której z ryb konsumowanych przez naszych rodaków stężenie tego związku, zwłaszcza w jego organicznych formach, jest najwyższe. Dopuszczalne dzienne spożycie rtęci dla dorosłego człowieka został oszacowany przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności na 5,0 μg na kilogram masy ciała, w tym 1,6 μg rtęci metylowej. Według WHO stężenie rtęci w rybach komercyjnych nie powinno przekraczać 0,5 μg·g-1 m.m. Średnie stężenie Hg w tkance mięśniowej ryb złowionych zimą w polskiej strefie przybrzeżnej wyniosło 0,05 μg·g-1 m.m. Wśród małych ryb najwyższe stężenie metalu w tym sezonie stwierdzono w mięśniach śledzi (od 0,062 μg·g-1 m.m. do 0,096 μg·g-1 m.m), okoni (od 0,050 μg·g-1 m.m do 0,082 μg·g-1 m.m) i siei (od 0,060 μg·g-1 m.m do 0,081 μg·g-1 m.m) (Tab. 1).

Poziom stężenia Hg w mięśniach dużych drapieżników - dorszy (od 0,0003 μg·g-1 m.m do 0,051 μg·g-1 m.m) był niższy w porównaniu z koncentracją Hg w mniejszych rybach, okoniach czy śledziach. Wysokie stężenia rtęci w mięśniach śledzi może być związane z miejscem żerowania. Ryba ta bytuje w płytkich rejonach morza, w pobliżu strefy brzegowej, ujść rzek, gdzie stężenia zanieczyszczeń są znacznie wyższe niż w głębszych rejonach akwenu. Najwyższy poziom stężenia rtęci pomierzono w śledziach w Ujściu Wisły (średnio 0,086 μg·g-1 m.m) i w Zatoce Puckiej (średnio od 0,078 μg·g-1 m.m do 0,081 μg·g-1 m.m) (Tab. 1).

Wyniki badań środowiskowych, prowadzonych w roku 2007 w rejonie Zatoki Puckiej oraz w wodach otwartego morza (zewnętrza część Półwyspu Helskiego) pozwoliły ustalić, że w wodzie, zawiesinie i w osadach wyższe stężenia rtęci występują w Zatoce niż w obszarach oddalonych od strefy brzegowej (Bełdowska i Bełdowski, 2004). W badaniach podjęto także próbę wyznaczenia stężenia rtęci w poszczególnych narządach dorsza, śledzia i storni. Pod uwagę wzięto mięśnie, skrzela, gonady i serce. Uzyskane wyniki wskazały na zróżnicowanie stężenia rtęci w obrębie narządów wewnętrznych ryb oraz na zmienność sezonową tego związku w organizmie. W sezonie zimowym, u takich ryb, jak stornia czy śledź, najwyższe stężenie zmierzono w tkance mięśniowej (0,025 μg·g-1 m.m i 0,087 μg·g-1 m.m, odpowiednio. W sezonie zimowym, wysokie stężenia rtęci w porównaniu ze skrzelami czy gonadami, pomierzono w tkance mięśniowej ryb, gdzie wyniosło ono 0,025 μg·g-1 m.m. w storni i 0,087 μg·g-1 m.m. w śledziu. Dużo wyższe niż w innych tkankach było natomiast stężenie rtęci w sercach okoni i siei. Czas rezydencji rtęci we krwi jest rzędu kilku dni, dlatego należy przypuszczać, że w tym okresie badane ryby kumulowały Hg głównie z pokarmu. Poziom zanieczyszczeń w gonadach zwykle zmienia się w skali roku i jest to związane z detoksyfikacją organizmów i wydalaniem związków toksycznych poprzez ikrę (Pazdro, 2007). W narządach rozrodczych śledzia z Zatoki Puckiej stwierdzono najwyższe stężenia rtęci w porównaniu z gonadami siei, okonia czy storni. Wynika to prawdopodobnie z przenoszenia metalu wraz z tłuszczem do tkanki rozrodczej. Powyższe wyniki sugerują, że w badanych rybach Hg była nierównomiernie akumulowana, zarówno w poszczególnych gatunkach, jak i w narządach czy samych tkankach.

Falkowska i in. (2011) w badaniach nad rybami odławianymi w rejonie południowego Bałtyku skupili się na dystrybucji narządowej rtęci i jej kumulacji i detoksykacji.

Tab.1 Średnie stężenie HgTOT (min–max) w tkance mięśniowej dorsza, storni i śledzia z Bałtyku oraz wybranych akwenów wodnych (Bełdowska i in., 2007)

Gatunek ryby	Rejon badań	Okres badawczy	Średnie steżenie Hg_{TOT} (min. - max.) [ng/g] m. m	Źródło literaturowe
Dorsz	Pd.-Wsch. Bałtyk	1971-1979 1997-1998 2002-2003 2007	(95–160) 23–230 14–209 24 (19–29)	Gajewska i in., 2000 Barska i Skrzyński, 2003 Usydus i in., 2004 Bełdowska i in., 2007
Stornia	Pd.-Wsch. Bałtyk	1998 2000 2007 2008	47 (26–130) 46 35 (0,2–39) 84 (25–299)	Barska i Skrzyński, 2003 Polak-Juszczak, 2003 Bełdowska i in., 2007 Lamborg, 2008
Śledź	Pd.-Wsch. Bałtyk	1970-1979 1996-1997 2002-2003 2007 2008	(0–90) 18–71 5–66 78(62–96) 27(9–73)	Brzezińska i Trzosińska, 1984 Barska i Skryzński, 2003 Usydus i in., 2004 Bełdowska i in., 2007 Polak-Juszczak, 2008

W pracy zostały zbadane następujące gatunki ryb: gładzica (*Pleuronectes platessa*), stornia (*Platichthys flesus*), śledź (*Clupea harengus*), okoń (*Perca fluviviatilis*), dorsz (*Gadus morrhua*), skarp (*Psetta Maxima*), sieja (*Coregonus lavaretus*). We wszystkich próbkach tkanek i narządów ryb z rejonu południowego Bałtyku stwierdzono obecność rtęci. Na wielkość stężenia miały wpływ czynniki biotyczne i abiotyczne środowiska. Do szczególnie istotnych zaliczono: poziom troficzny, miejsce żerowania, długość ryby, jej płeć, wiek oraz tempo wzrostu. Ustalono, że stężenie rtęci organicznej w mięśniach ryb rośnie wraz ze wzrostem udziału pokarmu zwierzęcego w diecie (Kasper i in., 2009). Stąd ryby z niższych poziomów troficznych, takie jak śledzie, w odróżnieniu od pozostałych badanych gatunków charakteryzują się niższym o około 80% udziałem rtęci organicznej w mięśniach.

Śledzie w południowym Bałtyku najchętniej żywią się skorupiakami planktonowymi (*Pseudocalanus elongatus*) (Falkowska i in., 2010), a w płytkich wodach przybrzeżnych narybkiem babki byczej (Wyszyński, 1997). Nie bez znaczenia pozostaje miejsce żerowania. Okazało się, że stężenie rtęci organicznej jest niższe w rybach pelagicznych niż w rybach bentosowych (Serrano i in., 1992.; Falkowska i in., 2010). W zbiornikach wodnych osady stanowią główne miejsce magazynowania i metylacji rtęci. Stąd żerujące w tym środowisku ryby przydenne osiągają wyższe stężenie rtęci nieorganicznej, ale też organicznej w tym najbardziej toksycznej metylortęci (Zhou i Wong, 2000).

Wszystkie badania prowadzone w rejonie południowego Bałtyku wskazują, że stężenie rtęci organicznej w tkance mięśniowej ryb jest wielokrotnie niższe niż wartości referencyjne określające dopuszczalne stężenie tego związku. Aby zostały przekroczone dopuszczalne stężenia referencyjne konsument spożywający ryby musiałby miesięcznie zjadać: około 30 kg śledzia lub 26 kg dorsza lub 18 kg storni, bądź też 16 kg okonia/skarpa. Ilości te oszacowano po uwzględnieniu biodostępności rtęci organicznej. W związku z powyższym można uznać, że komercyjnie istotnie gatunki ryb odławiane w polskiej strefie ekonomicznej Bałtyku są bezpiecznym pożywieniem, gdy są konsumowane w rozsądnych ilościach. Nie należy zatem rezygnować z tego źródła cennych składników odżywczych.

Literatura

Barska I., Skrzyński I., 2003. Contents of methylmercury and total mercuryin Baltic Sea fish and fish products, *Bulletin of The Sea Fisheries Institute*, 3 (160), 3–15.

Bełdowska M., Zawalich K., Kwaśniak J., Falkowska L., 2007. Mercury in Fish a Polish Coastal Zone on the Baltic Sea, *Environmental Protection and Natural Resource*, 31, 394–403.

Boeing, D.W., 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere* 40, 1335–1351.

Boszke L., Siepak J., Falandysz J., 2003. Total Mercury Contamination of Selected Organisms in Puck Bay, Baltic Sea, Poland. *Polish Jurnal of Environmental Studies*,12(3), 275–85.

Brzezińska A., Trzosińska A., 1984. Trace metals in some organisms from the Southern Baltic, *Oceanologia*, 18, 79.

Driscoll C., Han, Y.J., Y. Chen, C., Evers, D., Lambert, K., Holsen, T., K. Munson, R. 2007. Mercury Contamination in Forest and Freshwater Ecosystems in the Northeastern United States. *BioScience* (57), 17–28.

Falandysz J., Boszke L.,1999. Rtęć ogółem w tkance mięśniowej jadalnych gatunków ryb z Zatoki Puckiej, *Bromatol. Chem. Toksyk.*, 32, 75–80.

Falandysz J., Chwir A., Wyrzykowska B., 2000. Total Mercury Contamination of Some Fish Species in the Firth of Vistula and Lower Vistula River, Poland. *Polish Jurnal of Environmental Studies*, 9 (4), 335–339.

Falkowska L., Kwaśniak J., Bełdowska M., 2010. The influence of the trophic level on changes in the mercury concentrations in fish from the coastal zone of the southern Baltic, *Oceanological and Hydrobiological Studies* 39, 5–22.

Gonzalez P., Dominique Y., Massabuau J.C., Boudou A., Bourdineaud J.P., 2005. Comparative effects of dietary methylmer-

cury on gene expression in liver, skeletal muscle, and brain of the zebra fish (Danio rerio), *Envir. Sci.Tech.*, 39. 3972–80.
Kwaśniak J., 2012. *Dystrybucja narządowa, kumulacja i detoksykacja rtęci w rybach poławianych w południowym Bałtyku*. Praca doktorska, Uniwersytet Gdański.
Pazdro K., 2007. Oszacowanie narażenia organizmów w morskich ekosystemach przybrzeżnych na ksenobiotyki z grupy trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO). *Rozprawy i Monografie* 20/2007.
Piotrowska M,.1997. *Badania nad rozmieszczeniem przestrzennym i tendencjami czasowymi zmian zawartości rtęci w rybach z Zatoki Gdańskiej*. Praca doktorska. Uniwersytet Gdański.
Rand G.,1995. *Fundamentals of aquatic toxicology*. Taylor and Francis, Washington.
Wyszyński M., 1997. Charakterystyka biologiczno-technologiczna śledzi południowego Bałtyku. *Study and material. Sea Fish.Inst Gdynia*, Ser. B, 69: 94–123.
Zhou H.Y., Wong M.H., 2000. Mercury accumulation in freshwater fish with emphasis on the dietary influence, *Water Research* 34(170, 4234–4242.

Źródła internetowe

National Geographic, 2013. Ryby: Jeść czy nie? http://www.national-geographic.pl/ludzie/ryby-jesc-czy-nie [Dostęp 8.03.2019].
Portal spożywczy, 2018. IERiGŻ: W 2017 roku spadło spożycie ryb w Polsce, http://www.portalspozywczy.pl/mieso/wiadomosci/ierig-z-w-2017-roku-spadlo-spozycie-ryb-w-polsce,156698.html [Dostęp 10.03.2019].

Notatka o Autorze

Studentka drugiego roku studiów magisterskich na koerunku oceanografii na specjalizacji chemia morza i atmosfery. Realizuje pracę dyplomową z zakresu „Rtęć i metylortęć w śledziach bałtyckich (Clupea harengus, Linnaeus, 1761 r.) w 2018 r".

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 30-33 ISSN 2451-1862

Czy współpraca naprawdę się opłaca?

Michał Piotr Gintowt

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

gintowt.michal@gmail.com

Tutor: dr hab. Urszula Janas, profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Uniwersytet Gdańskim Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

Słowa kluczowe – *współpraca, kooperacja, symbioza, korzyści, ryzyko, oceany*

Ogólnie rzecz biorąc...

Współpraca w przyrodzie jest niezwykle powszechnym zjawiskiem. Czasami wydaje się być niemal oczywista, jednak w niektórych przypadkach, nikt nie wpadłby na to, że dwa diametralnie różne organizmy mogą czerpać wzajemne korzyści ze wspólnego bytowania. Dobrym przykładem takiej interakcji jest błazenek i ukwiał, często spotykane na rafach koralowych. Ukwiał żywi się cząsteczkami unoszącymi się w wodzie i daje schronienie błazenkowi, a ten wyjada resztki zalegające między parzydełkami. Ten interesujący przypadek współpracy przedstawia całkiem powszechne zjawisko, jednak w naturze nic nie jest idealne. Są na świecie zwierzęta korzystające ze współpracy kooperujących gatunków. Często są nimi drapieżniki, które podszywają się pod jednego z partnerów współpracy, aby ułatwić sobie zdobycie pożywienia. Aby ułatwić poruszanie się po zawiłościach interakcji pomiędzy zwierzętami przygotowano krótkie opisy poszczególnych rodzajów relacji w świecie przyrody (Tab. 1).

Tabela 1 Wybrane rodzaje współżycia organizmów (5 i 6)

Zależności międzygatunkowe

Konkurencja – relacja między współwystępującymi osobnikami tego samego gatunku lub różnych gatunków

Pasożytnictwo – forma współżycia 2 różnych gatunków organizmów mająca charakter antagonistyczny, z których jeden (pasożyt) żyje stale lub czasowo kosztem drugiego (żywiciela), wchodząc z nim we wzajemne oddziaływania metaboliczne i wykorzystując go jako środowisko życia i źródło pokarmu

Allelopatia – wydzielanie przez rośliny związków chemicznych, które sprzyjają lub odstraszają pojawianiu się innych roślin i mikroorganizmów w pobliżu

Symbioza – stałe lub czasowe współżycie 2 różnych gatunków (symbiontów) zwierząt, zwierzęcia i rośliny lub 2 gatunków roślin, korzystne, a często nieodzowne, dla jednego lub dla obu partnerów

Endosymbioza – szczególny rodzaj symbiozy pomiędzy dwoma organizmami, z których jeden (endobiotyczny organizm) żyje w organizmie drugiego

Mutualizm – jedna z form współżycia organizmów 2 gatunków, korzystna dla obu stron

Protokooperacja – luźna forma współżycia różnych gatunków, przynosząca obustronne korzyści

Komensalizm – Współżycie osobników z dwóch różnych gatunków, korzystne dla jednego, a obojętne dla drugiego

Podpłyń a będzie fajnie

Wargatek sanitarnik Labroides dimidiatus (Ryc. 1) powszechnie występuje od wschodnich wybrzeży Afryki, przez Morze Czerwone i Indo-Pacyfik aż do Wysp Japońskich. Żyje na głębokościach do 40 metrów, zazwyczaj na rafach. Odżywia się pasożytami innych ryb, zjada również ich śluz [1]. Bytuje w miejscach łatwo dostępnych dla innych ryb, które przypływają do niego, aby pozbyć się pasożytów. Wydawałoby się, że jest to przykład idealnej współpracy, jak w restauracji, do której przychodzi klient. Jednak w tym przypadku sytuacja się odwraca, ponieważ „restauracją" jest ryba przypływająca, natomiast klientem jest wargatek sanitarnik, który czeka aż jedzenie do niego przypłynie.

Ryc. 1. Wargatek sanitarnik Labroides dimidiatus czyszczący strzępiela Epinephelus tukula [2]

Wargatek sanitarnik żywi się pasożytami żyjącymi na ciele ryby przypływającej. Robi to bardzo efektywnie, gdyż może zjeść nawet do 1 200 pasożytów dziennie, stanowi to 99% jego diety. Aby proces ten przebiegał sprawnie czasami pod-

gryza swoich klientów dając im znak do zmiany pozycji. Potrafi także wykonywać specjalne ruchy zachęcające inne ryby do podpłynięcia (Poulin i Grutter, 1996; Soares i in., 2008). Pomimo tego ryby korzystają z jego usług nieprzerwanie. Co ciekawe ryba ta pracuje efektywniej, gdy jest obserwowana, dowodzą tego badania Pinto i współpracowników (2005). W momencie, gdy wargatek sanitarnik jest sam na sam z rybą, która przypłynęła na czyszczenie, zostawia kilka pasożytów na ciele pływającej restauracji. Jednak, gdy obok niej znajduje się jakaś inna ryba, niekoniecznie nawet będąca potencjalnym dostawcą jedzenia, zjada wszystkie i robi to szybciej niż normalnie. Ten przypadek współpracy możemy nazwać mutualizmem.

Nie tylko wargatek sanitarnik

Karaibskie babki czyszczące *Elacatinus evelynae* (Ryc. 2) zajmują się tym samym co wargatek sanitarnik – zjadają pasożyty z innych ryb. Jednak nie jest to ich jedyna dieta, a około 85% ich pożywienia. Różnią się także w sposobie czyszczenia przypływających restauracji. Dodatkowo nie posiadają specjalnych technik zachęcających większe ryby do podpłynięcia (Soares in., 2008).

Ryc.2. Karaibska babka czyszcząca z rodzaju *Elacatinus* [2]

Zwyczaje żywieniowe tych ryb są zadziwiająco podobne do tych obserwowanych u wargatka sanitarnika, co ciekawe, oba te gatunki żyją w dwóch różnych częściach świata. Babki z rodzaju Elacatinus można obserwować na wybrzeżach Wysp Karaibskich i Zatoki Meksykańskiej [1]. W porównaniu z zasięgiem występowania wargatka sanitarnika jest on znacznie mniejszy, jednak warto zaznaczyć, że oba gatunki ryb żyją bez jakiegokolwiek kontaktu ze sobą. Pozwala to stwierdzić, że podobnie wykształcone zwyczaje żywieniowe są opłacalne. Podobnie jak w przypadku wargatka również tutaj mamy do czynienia z mutualizmem.

Jakby to wykorzystać?

Kiedy współpraca układa się bardzo dobrze, czujność niektórych zwierząt jest usypiana, pojawiają się wtedy takie gatunki, które z chęcią to wykorzystują. Rybą, która zrobi to z przyjemnością jest z wyglądu bardzo podobny do wargatka sanitarnika aspidont szablozębny *Aspidontus taeniatus* (Ryc. 3). Można je odróżnić od siebie na podstawie pozycji otworu gębowego. Wargatek posiada otwór centralnie z przodu głowy, natomiast u aspidonta jest zwrócony ku dołowi. Zamieszkuje prawie ten sam obszar co wargatek sanitarnik. Nawet zachowuje się w podobny do niego sposób, aby sprawić, żeby jego ofiara bliżej podpłynęła [1].

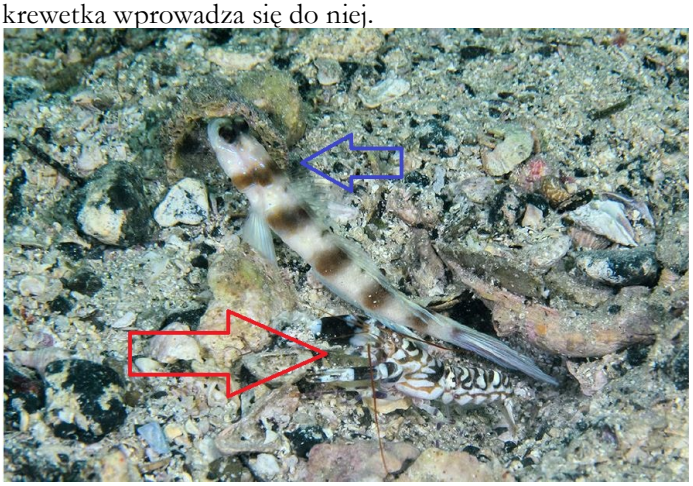
Podobieństwo do wargatka sanitarnika jest tak duże, że nawet starsze osobniki nie od razu zorientują się, że to nie jest ryba, która pozbawi ich pasożytów, jednak zanim to nastąpi podpłyną i zostaną ugryzione przez aspidonta. Zaufanie

Ryc. 3. Aspidont szablozębny *Aspidontus taeniatus* z charakterystycznie umiejscowionym otworem gębowym [2]

w świecie przyrody jest bardzo ryzykowne, a zbytnia ufność może okazać się zgubna. Jednak trzeba pamiętać o tym, że aspidont szablozębny oraz wargatek sanitarnik są zwykle dużo mniejsze od ryb, na których żerują. Jeśli „pływająca restauracja" zorientuje się, że to nie jest jej czyszczący znajomy szybko go przegoni (Losey, 1974). Podszywanie się pod inną rybę, w tym wypadku można nazwać pasożytnictwem, ponieważ *apsidont* wcale nie chce żywić się pasożytami, tylko często podgryza skrzela przypływających ryb.

Żyć jak ryba z krewetką

Babka *Amblyeleotris japonica* oraz krewetka pistoletowa *Alpheus bellulus* (Ryc. 4) żyją w zachodniej części Indo-Pacyfiku na głębokościach nie przekraczających 20 metrów. Babka wykopuje gniazdo najczęściej w piaszczystym podłożu, a krewetka wprowadza się do niej.



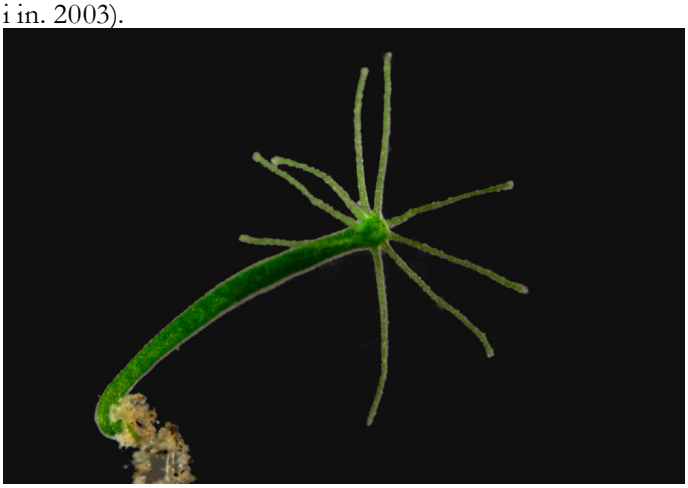
Ryc. 4. Krewetka pistoletowa Alpheus bellulus (czerwona strzałka) w towarzystwie babki Amblyeleotris japonica (niebieska strzałka) (Kohda i in. 2017)

Są one przykładem wzorowego dbania o swój dom. Babka pełni rolę dominującą, jest głową rodziny, która dba o bezpieczeństwo gniazda. Krewetka natomiast pilnuje porządku w domu zjadając resztki pożywienia oraz to co ryba wydali (Yasuhiko i Sadayoshi., 1969; Kohda i in., 2017). Współpraca ta opiera się na zasadzie mogę, ale nie muszę. Wynika raczej z profitów jakie za sobą niesie, aniżeli zagrożenia życia jednego czy drugiego. Tak naprawdę, oba te zwierzęta mogłyby

równie dobrze poradzić sobie samodzielnie. Oznacza to, że mamy tutaj do czynienia z protokooperacją.

Zapraszam, zapraszam

Współpracują ze sobą nie tylko zwierzęta, ale także zwierzęta z roślinami. Co więcej zwierzęta pozwalają żyć w sobie tym roślinom. Tak jest w przypadku zielenic z rodzaju Chlorella, które żyją w stułbi *Hydra viridis* (Ryc. 5) (Habetha i in. 2003).



Ryc. 5. Stułbia zielona *Hydra viridis* (3)

Co więcej, stułbia ta, potrafi doskonale sobie radzić bez glonów, jednak pomagają jej one przetrwać w okresach, gdy pozbawiona jest pożywienia. Wtedy właśnie najmocniej korzysta z produktów fotosyntezy swoich gości (Habetha i in., 2003). Ten rodzaj symbiozy nazywa się endosymbiozą.

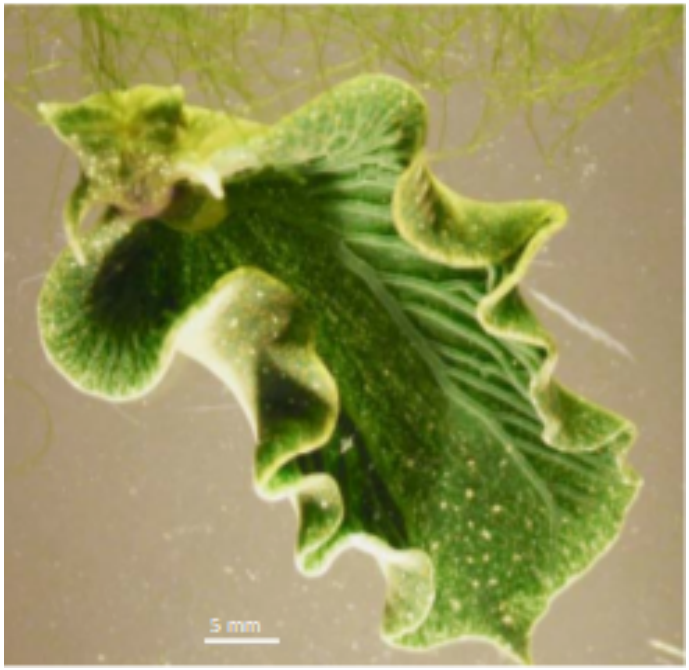
Jak to nie moje? Im więcej tym lepiej

Ciekawym zwierzęciem, które wykorzystuje to co natura ma do zaoferowania jest ślimak morski *Elysia chlorotica* (Ryc. 6). Nie trawi on wszystkiego czym się pożywi, lecz zachowuje niektóre elementy swojego pożywienia na dłużej. Gdy zjada glony z gatunku *Vaucheria litorea* część z chloroplastów wchłania do specjalnych komórek magazynowych umieszczonych wzdłuż przewodu pokarmowego. W ten sposób pozyskane chloroplasty nazywamy kleptoplastami. Ślimak ten potrafi utrzymywać je przy życiu nawet do 12 miesięcy, je czerpiąc z nich substancje odżywcze (Pelletreau i in., 2011).

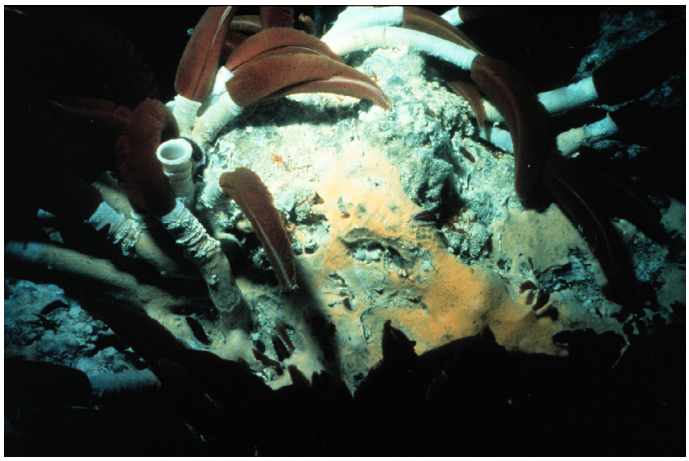
Głęboko i gorąco… nie da się?

Wokół kominów hydrotermalnych panują ekstremalne temperatury sięgające nawet kilkuset stopni. W niewielkiej odległości od nich, gdzie temperatura poddawana jest dosyć dużym wahaniom od 2˚C do 30˚C, żyje jedno z najbardziej niezwykłych zwierząt morskich, rurkoczułkowiec nazwany *Ryftia pachyptyla* (Ryc. 7).

Przyzwyczajony jest do ekstremalnych warunków jak mało które zwierzę. Obudowuje się w charakterystyczną chitynową tubę, nie jest zaopatrzony we własny układ pokarmowy. Jednak posiada pewnego „asa w rękawie", mianowicie bakterie należące do grupy chemoautotroficznych. Oznacza to, że potrafią wytworzyć energię, w procesie chemosyntezy potrzebną do funkcjonowania ze związków chemicznych (głównie siarki) wydostających się z kominów hydrotermalnych. Żyjąc w ciele tego rurkoczułkowca, bezpośrednio przekazują zwierzęciu związki organiczne. Dzięki takiemu rozwiązaniu *R. pachyptyla* jest w stanie pozyskać energię potrzebną do życia, a bakterie mają schronienie (Giovannelli i in., 2016; Klose i in., 2016). Podobnie jak w przypadku *H. viridiss* i *E. chlorotica* mamy tutaj do czynienia z endosymbiozą.



Ryc. 6. Ślimak *Elysia chlorotica* wraz z glonami *Vaucheria litorea* (Pelletrau i in., 2011 - zmienione)



Ryc. 7. Rurkoczułkowiec *Ryftia pachyptyla* w naturalnym środowisku [2]

Przyzwyczajony jest do ekstremalnych warunków jak mało które zwierzę. Obudowuje się w charakterystyczną chitynową tubę, nie jest zaopatrzony we własny układ pokarmowy. Jednak posiada pewnego „asa w rękawie", mianowicie bakterie należące do grupy chemoautotroficznych. Oznacza to, że potrafią wytworzyć energię, w procesie chemosyntezy potrzebną do funkcjonowania ze związków chemicznych (głównie siarki) wydostających się z kominów hydrotermalnych. Żyjąc w ciele tego rurkoczułkowca, bezpośrednio przekazują zwierzęciu związki organiczne. Dzięki takiemu rozwiązaniu *R. pachyptyla* jest w stanie pozyskać energię potrzebną do życia, a bakterie mają schronienie (Giovannelli i in., 2016; Klose i in., 2016). Podobnie jak w przypadku *H. viridiss* i *E. chlorotica* mamy tutaj do czynienia z endosymbiozą.

W lewo! W prawo! A jednak nie!

Współpracować można na wielu płaszczyznach. Można razem jeść, polować, mieszkać, można również razem uciekać przed drapieżnikami. Idealnym przykładem takich zacho-

wań są ławice ryb, które „tańczą" w toni wodnej, aby zmylić drapieżniki. Dla nas ten taniec jest czymś niesamowitym, natomiast dla śledzi *Clupea harengus* (Ryc. 8) jest to wręcz codzienność. Ryby te szeroko rozpowszechnione, zamieszkują wody od północnej części Atlantyku do kanału La Manche [2].

Mogą się rozdzielać na mniejsze grupki, układać w kształt klepsydry, gwałtownie nurkować kilkadziesiąt metrów w głąb morza lub pleść węzeł w toni wodnej. Wszystko po to by zwiększyć szansę na przeżycie i uciec przed takimi drapieżnikami jak orki *Orcinus orca* (Ryc. 9).

Wszystkie te manewry odbywają się z niesamowitą dynamiką i zazwyczaj trwają 10 sekund (Nøttestad i Axelsen, 1999). Oznacza to, że każdy atak drapieżnika jest inaczej traktowany, nie dając mu szansy na przewidzenie kolejnego ruchu ławicy.

Ryc. 8. Ławica śledzi *Clupea harengus* (5)

Ryc. 9. Orka *Orcinus orca* w toni wodnej [2]

Współpracować czy nie współpracować?

Świat wodny potrafi być niezwykle nieprzyjazny nawet dla zwierząt, które są stworzone do życia w nim. Tu nie ma taryfy ulgowej albo jest się zjada albo jest się zjadanym. Dlatego samotne życie wśród wodnej otchłani nie zawsze jest dobrym rozwiązaniem, a nawiązanie współpracy bywa kluczem do przeżycia. Wszystkie przywołane przykłady organizmów wykształciły odpowiednie przystosowania, wchodząc tym samym w niecodzienne relacje, często międzygatunkowe. Jednak nic nie jest tak idealne jak się wydaje. Czasami zbytnia ufność można prowadzić do nieprzyjemnych konsekwencji, a przyzwyczajenie może okazać się zgubne. Niezależnie od tego czy zwierzęta współpracują w obrębie gatunku, rafy koralowej czy łąki podwodnej, przeważnie każda ze stron czerpie z takiej relacji jakieś korzyści. Przykładów współpracy w przyrodzie można by wymieniać bez końca, dlatego pomimo pewnych wad niektórych rozwiązań można z całą pewnością stwierdzić, że współpraca się opłaca.

Literatura

Giovannelli, D., Chung, M., Staley, J., Starovoytov, V., Bris, L., N., Vetriani, C., 2016. Sulfurovum riftiae sp. Nov., a mesophilic, thiosulfate-oxidizing, nitrate-reducing chemolithoautotrophic epsilonproteobacterium isolated from the tube of the deep-sea hydrothermal vent polychaete Riftia pachyptila. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 66, 2697–2701.

Habetha M., Anton-Erxleben A., Neumann K., Bosch C. G. T., 2003. The Hydra viridis/Chlorella symbiosis. Growth and sexual differentiation in polyps without symbionts. *Zoology* 106, 101–108.

Klose, J., Aistleitner, K., Horn, M., Krenn, L., Dirsch, V., Zehl, M., Bright, M., 2016. Trophosome of the Deep-Sea Tubeworm Riftia pachyptila Inhibits Bacterial Growth. *PLoS ONE* 11(1).

Kohda, M., Yamanouchi, H., Hirata, T., Satoh, S., Ota, K., 2017. A novel aspect of goby-shrimp symbiosis: gobies provide droppings in their burrows as vital food for their partner shrimps. *Marine Biology* 164, 22.

Losey, Jr., S., G., 1974. *Aspidontus taeniatus:* Effects of increased Abundance on Cleaning Symbiosis with Notes on Pelagic Dispersion and *A. filamenosus* (Pisces, Blenniidae). *Z. Tierpsychol*, 34, 430–435.

Nøttestad, L., Axelsen, B., E., 1999. Herring schooling manoeuvres in response to killer whale attacks. *Canadian Journal of Zoology,* 77(10), 1540–1546.

Pelletreau, N., K., Bhattacharya, D., Price, C., D., Worful, M., J., Moustafa, A., Rumpho, E., M., 2011. Sea Slug Kleptoplasty and Plastid Maintenance in a Metazoan. *Plant Physiology*, 155(4), 1561–1565.

Pinto A., Oates J., Grutter A., Bshary R., 2005. Cleaner Wrasses Labroides dimidiatus Are more Cooperative in the Presence of an Audience. *Current Biology* 21, 1140–1144.

Poulin, R., Grutter, S., A., 1996. Cleaning Symbioses: Proximate and Adaptive Explanations. *BioScience*, Vol 46, No 7, 512–517.

Soares, C., M., Côté, M., I., Cardoso, C., S., Bshary, R., 2008. The cleaning goby mutualism: a system without punishment, partner switching or tactile stimulation. *Journal of Zoology* 276, 306–312.

Yasuhiko, M., Sadayoshi, M., 1969. Description of Alpheus Bellulus Sp. NOV. Associated with gobbies from Japan (Crustacea, Decapoda, Alpheidae). *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 16(5), 307–314.

[1] – www.fischbase.org [dostęp 2.12.2018]

[2] – pl.wikipedia.org [dostęp 10.03.2019]

[3] – https://www.treehugger.com/natural-sciences/little-animal-doesnt-die-old-age.html [dostęp 3.01.2018]

[4] – https://www.flickr.com/photos/jakecaptive/885981258 [dostęp 10.03.2019]

[5] – Internetowa encyklopedia PWN - https://encyklopedia.pwn.pl/ [dostęp 10.03.2019]

[6] – https://www.ekologia.pl/wiedza/slowniki/leksykon-ekologii-i-ochrony-srodowiska/protokooperacja [dostęp 10.08.2019]

Notatka o Autorze

Student oceanografii pierwszego stopnia na specjalizacji biologicznej. Swoje zainteresowania kieruje w stronę ekologii organizmów morskich, a pracę dyplomową skupia na organizmach bentosowych żyjących na twardym podłożu.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 34-37 ISSN 2451-1862

Dlaczego endemity są wyjątkowe?

Marcelina Makuch

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

marcela1998@wp.pl

Tutor: dr hab. Urszula Janas profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Instytut Oceanografii, Zakład Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich

Słowa klucze: *endemity, Galapagos, źródła hydrotermalne, Amblyrhynchus cristatus, Alvinella pompejana*

Czym są tak naprawdę endemity i co właściwie o nich wiemy? W Internecie znajdziemy wiele definicji, które powiedzą nam, że „są to rośliny lub zwierzęta występujące tylko we właściwym dla nich obszarze". Mówiąc prościej definicje te nie powiedzą nam o ich naturze czy wyjątkowości. Nie można napisać definicji, która by nam to pokazała z prostej przyczyny. Każdy z nich jest inny, jedyny i niepowtarzalny. Ma cechy, które czynią go unikalnym. Osobiście rozszerzyłabym definicje o jedno zdanie „endemity dostosowują się idealnie do środowiska, w którym żyją". Ze względu na to każda zmiana środowiska jest dla nich ogromnym zagrożeniem.

Jednym z największych „domów" dla tych stworzeń jest wyspa Galapagos. Ponad 97% jej powierzchni znajduje się pod ochroną. Większość żywych stworzeń stanowią tam gady a nie ssaki. Zaobserwował i opisał to Karol Darwin, jednak co jest dziwne dopiero po wypłynięciu z wysp, choć przez większość czasu swej podróży, na wyspach Galapagos żywił się wyłącznie mięsem żółwia słoniowego. Na nasze nieszczęście część tamtejszych endemitów wyginęła. Na 57 gatunków zaobserwowanych ssaków 16 to endemity. Na 178 gatunków ptaków, aż 56 nie występuje nigdzie indziej. Gady reprezentowane są przez wiele gatunków jaszczurek, jeden żółwi i cztery węży. Na szczęście nadal możemy spotkać te opisane przez Karola Darwina m.in. legwana morskiego Amblyrhynchus cristatus. Stworzenie to jest jedyną jaszczurką morską. Darwin (1835) pisał o nich: „Na czarnych skałach na plaży często można zastać duże (2–3 stopy[1]), nader szkaradne i niezgrabne jaszczurki. Są czarne jak porowate skały, po których pełzają i szukają swojej ofiary z morza. Nazywam je chochlikami ciemności. Z pewnością dobrze sobie radzą z zamieszkiwaną przez siebie ziemią" (Ryc.1).

Ulubionym jedzeniem tych roślinożernych gadów są zielenice i krasnorosty, jednak podczas El Nino, chłodne, obfitujące w składniki odżywcze prądy słabną, morze zaczyna się ogrzewać. Temperatura powierzchniowa wody (zwyczajowo ma 18°C), wzrasta nawet do 34°C, co zmiennocieplnym legwanom ułatwia pływanie. Jednak po co wchodzić do wody, gdy praktycznie brak w niej pożywienia. W takich

Ryc.1. Legwan morski wygrzewający się na skałach magmowych (źródło: wikipedia)

warunkach ich ulubione zielone i czerwone glony wymierają i pozostają tylko mniej strawne brunatnice, których jest pod dostatkiem. Podczas tego okresu może zginąć z głodu nawet 90% legwanów morskich (Wikelski i in., 2005). Obserwowane jest wtedy zjawisko ich karłowacenia. Osobniki mogą skurczyć się nawet o 20% (ok. 7 cm) w ciągu 2 lat, osiągają to poprzez redukcję kości (Wikelski i Thom, 2000). Tylko te małe są w stanie przeżyć ten „chudy okres". Kolejnym niebezpieczeństwem dla tych gadów są plamy ropy. Jest to bardzo rzadkie, choć prawdopodobnie najgroźniejsze zjawisko. Stworzenia zmiennocieplne takie jak legwany morskie, muszą zwracać szczególną uwagę na temperaturę. Nie dziwi, więc fakt, że entuzjazm, z jakim wchodzą do wody zmienia się wraz z porami dnia i roku. Większość decyduje się na kąpiel tylko kiedy słońce świeci i nagrzewa zarówno wodę jak i ich ciała. Stąd też ich ciemne zabarwienie i ulubione miejsce przebywania: czarne wulkaniczne skały. Kiedy mają odpowiednią temperaturę ciała ok. 36°C idą nurkować, nawet do 30 metrów (Wikelski i Nelson, 2004). Pod wodą mogą spędzić od 15 do 30 minut (podczas pory zimnej tylko 10 minut), wtedy temperatura ich ciała obniża się nawet o 10°C (Hobson, 1969).

1 stopa = 0,3 m

Mając ograniczony czas pod wodą, łapią więc glony i przełykają wraz z wodą morską i tak aż do momentu kiedy muszą się wynurzyć (Ryc.2). Następnie wracają w ciepłe miejsce, by się ogrzać i odpocząć. Wtedy pozbywają się nadmiaru soli z organizmu przez gruczoł solny w nozdrzach. Z tego powodu często wyglądają jakby miały biały nalot (Ryc.3), który jest skrystalizowaną solą (Nicholls, 1973).

Ryc.2. Legwan morski żywiący się algami pod wodą (źródło: wikipedia)

Ryc.3 Samiec legwana morskiego pokryty grubą warstwą skrystalizowanej soli, oprócz głowy nalot występuje też na innych częściach ciała (np. plecach) (źródło: wikipedia)

Jak widać gady te wytworzyły bardzo unikalny system przetrwania w trudnych i zmiennych warunkach. Nawet ich okres godowy jest wyjątkowy. Wśród legwanów obserwuje się duży dymorfizm płciowy (samce są 70% większe od samic). Samice wybierają największego samca, przez zaakceptowanie (muszą skinąć głową wybrankowi). Skoro przetrwał okres ze zmniejszonym pożywieniem jego geny są silne, więc jest najlepszym biologicznie kandydatem. Jednak mniejsze osobniki wytworzyły osobliwą technikę, by również mieć szanse zapłodnić samice. Naukowcy nazwali ją mianem „uprzedniego przyszykowana wytrysku". Przetrzymują przyszykowany ejakulat w specjalnych kieszonkach na penisie, co pozwala im skrócić akt kopulacji. Zwiększa to prawdopodobieństwo, że samiec zdoła przekazać nasienie partnerce, nim zostanie zepchnięty przez jej wybranka (Nicholls, 1973).

Niektórzy naukowcy twierdzą, że legwany te w warunkach naturalnych dożywają do 30 lat. Samice dojrzałość płciową osiągają w wieku 3–5 lat, samce 6–8 lat (Hugi i Sánchez-Villagra, 2012). Zależne jest to od panujących warunków środowiska. Trzy miesiące przed sezonem godowym, który odbywa się raz do roku, od grudnia do marca, samce rozpoczynają walkę o terytorium. Największe osiągają nawet 40 m2, a najmniejsze 1 m2. Walki samców są swoistym rytuałem (Laurie, 1990). Jedną z głównych zasad jest to iż nie wolno się gryźć w tym ważnym okresie, samce nie mogą pozwolić sobie na śmierć lub zranienie. Osobniki stają naprzeciw siebie i spychają się głowami, wygrywa ten który wypchnie rywala z terytorium (bez uszczerbku na zdrowiu) (Hayes i in., 2004). Jednak czasem jak, już wiemy najmniejsze osobniki przemykają niepostrzeżenie na terytorium innych. Miesiąc po kopulacji samice składają jaja (od 1 do 6) najczęściej 2 lub 3. Trwa to w okresie od stycznia do kwietnia (Laurie i Brown, 1990). Robią to w głębokim gnieździe (30–80 cm głębokości), które muszą wykopać w suchym piasku bądź wulkanicznym pyle, głównie przy brzegu nie dalej niż 2 km w głąb lądu (Laurie, 1990). Samice w przeciwieństwie do samców zrobią wszystko by obronić swój teren, ponieważ odpowiednich do założenia gniazda miejsc jest niewiele. Jeśli nie uda im się wystraszyć rywalek użyją swoich kłów i pazurów. Kilka dni po zakopaniu swoich jaj, gdy są pewne, że nie zostaną one wykopane przez inne samice, odchodzą (Jackson, 1993). Po 3–4 miesiącach z jaj wykluwa się nowe pokolenie legwanów. Po wyjściu z gniazda szukają kryjówki i rozpoczynają swoją wędrówkę do miejsca, które zapewnia optymalne warunki do odżywiania się, regulacji temperatury i schronienia [1].

Kolejnym interesującym miejscem pod względem endemitów są kominy hydrotermalne tworzą one „osobny świat". Tamtejsze zwierzęta żywią się tzw. „zupą chemiczną". Żyją w tak zmiennym środowisku gdzie temperatura, pH, poziom tlenu i skład wody zmienia się bardzo często. Te ekstremalne enklawy porównuje się do warunków panujących na Marsie lub Wenus. Dlatego nikt nie spodziewał się znaleźć tam wiele żywych stworzeń, jeśli w ogóle. Tymczasem jest ich bardzo wiele i są wielkie, np. rurkoczułkowiec Riftia pachyptila, który osiąga nawet 2 m długości, rośnie bardzo szybko, nawet 85 cm na rok [2].

Źródła hydrotermalne występują między innymi w rejonach ryftów, czyli miejsc, w których płyty litosfery oddalają

się od siebie. W tych miejscach, na głębokości kilku tysięcy metrów, lawa zaczyna wypływać tworząc najczęściej grzbiety oceaniczne, powstałe przez ciągłe uwalnianie się lawy. Kominy hydrotermalne możemy podzielić na dwa rodzaje „czarne kominy" i „białe kominy". Pierwsze to te, którym towarzyszy pojawienie się czarnego „dymu" spowodowanego obecnością siarczków ołowiu, kobaltu, cynku, miedzi i srebra w wodzie. Skład mineralny wypływającej wody jest różny w zależności od ujścia i zmienia się w czasie. Natomiast z drugich wypływa woda wzbogacona w gips i cynk, mająca małą zawartość miedzi i żelaza. Na świecie zaobserwowano również „bezdymne" zimne wypływy płynów hydrotermalnych [2]. Źródła hydrotermalne występujące na całym świecie są siedliskami endemitów. Jednak są organizmy charakterystyczne dla jednego komina lub występujące w źródłach jednego oceanu. Takim stworzeniem jest wieloszczet *Alvinella pompejana* (ang. Pompeii worm).

Ryc. 5. *Alvinella pompejana* bez chitynowej rurki, w której żyje [3]

A. pompejana znajdowany jest jedynie w kominach hydrotermalnych na Pacyfiku. Jest skrajnym termofilem. Jego ogonowa część rozwija się w 80–105°C, jednak jest on w stanie przeżyć nawet w temperaturze powyżej 150°C, co czyni z niego organizm tolerujący najwyższe temperatury spośród zwierząt wielokomórkowych znanych nauce. Jego głowa natomiast, znajduje się w temperaturze 22°C (Gagnière i inni, 2010). Jednak to za mało, by przetrwać w tym środowisku. Zaczynając od początku. Może osiągać do 13 cm długości i jest jasnoszary, z czerwonymi mackowatymi skrzelami na głowie (Grime i Pierce, 2012). Kolonie tego wieloszczeta i innych należących do tego samego rodzaju, np. *Alvinella caudata*, znajdują się po bokach czarnych kominów, gdzie temperatura wód wypływających sięga 350°C. Adaptacje anatomiczne, fizjologiczne i molekularne do hipoksji (niedoboru tlenu) umożliwiają wieloszczetom skuteczną kolonizację kominów (Pradillon i in., 2005). Naukowcy próbują zrozumieć, jak ten wieloszczet może wytrzymać takie ekstremalne temperatury. Okazało się, że żyje on w symbiozie ze zróżnicowanymi zespołami bakterii zdominowanymi przez głównie proteobacterie (Cary i in., 1997). Znajdują się one na skrzelach tworząc powłokę ochronną, która częściowo izoluje ciało zwierząt od wysokich temperatur (Haddad i in., 1995). Wśród tych bakterii znajdują się tlenowce i fakultatywne beztlenowce, które wykorzystują związki nieorganiczne do produkcji związków organicznych (Jeanthon i Prieur, 1990). Metale ciężkie, połknięte lub wchłonięte, tworzą kryształy przez wytrącenie się, a następnie związanie z metalotioneiną (białka uczestniczące w detoksykacji) (Desbruyères i in., 1998). Co ciekawe bakterie te uczestniczą tylko w detoksykacji swojego bezpośredniego otoczenia (Grzymski i inni, 2008).

Niewiele wiadomo o stworzeniach żyjących w miejscach tak nieprzyjaznych jak kominy hydrotermalne. Badania ciągle trwają, możliwe, że nawet w tym momencie. Jednak z powodu głębokości bardzo ciężko jest pobrać dobrą próbkę. Dlatego mimo, że źródła hydrotermalne zostały odkryte w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, nadal pozostają dla nas zagadką pod wieloma aspektami.

Dlaczego endemity są wyjątkowe? Odpowiedź na to pytanie wydaje się teraz oczywista. Niemal w każdym zakątku świata znajdziemy te stworzenia. Nie tylko w strefie przybrzeżnej czy w głębiach oceanu, ale również w Morzu Sargassowym, które tworzy się na oceanie jak również w podwodnych akwenach hypersalinowych. Endemity mogą też przeżyć w odmiennych warunkach: w wodach podbiegunowych, gdzie temperatura jest bardzo niska, a światło słoneczne jest znikome. Endemity są wyjątkowe, ponieważ są niepowtarzalne i osiągnęły mistrzostwo w przystosowywaniu się do „swojego" środowiska.

Literatura

Cary S. C., Cottrell M. T., Stein J. L., Camacho F., Desbruyeres D., 1997. Molecular identification and localization of filamentous symbiotic bacteria associated with the hydrothermal vent annelid Alvinella pompejana. *Applied and Environmental Microbiology,* 63(3):1124–30.

Darwin K., 1998. *Beagle Diary, cyt., s.353, wpis z 17 września 1835 r.* Wydawnictwo Cambridge University Press

Desbruyères D., Chevaldonné P., Alayse A.-M., Jollivet D., Lallier F. H., Jouin-Toulmond C., Zal F., Sarradin P.-M., Cosson R., Caprais J.-C., Arndt C., O'Brien J., Guezennec J., Hourdez S., Riso R., Gaill F., Laubier L., Toulmond A., 1998. Biology and ecology of the "Pompeii worm" (Alvinella pompejana Desbruyères and Laubier), a normal dweller of an extreme deep-sea environment: A synthesis of current knowledge and recent developments". *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography,* 45, 1-3, 383–422.

Gagnière N., Jollivet D., Boutet I., Brélivet Y., Busso D., Da Silva C., Gaill F., Higuet D., Hourdez S., Knoops B., Lallier F., Leize-Wagner E., Mary J., Moras D., Perrodou E., Rees J.-F., Segurens B., Shillito B., Tanguy A., Thierry J.-C., Weissenbach J., Wincker P., Zal F., Poch O., Lecompte O., 2010. Insights into metazoan evolution from alvinella pompejana cDNAs. *BMC Genomics*, 10.1186/1471-2164-11-634.

Grime J.,P., Pierce S., 2012 .*The Evolutionary Strategies that Shape Ecosystems.* Wiley-Blackwell

Grzymski J., J., Murray A.,E., Campbell B., J., Kaplarevic

M., Gao G.,R., Lee C., Daniel R., Ghadiri A., Feldman R.,A., Cary S.,C., 2008. Metagenome analysis of an extreme microbial symbiosis reveals eurythermal adaptation and metabolic flexibility. *PNAS*, 105 (45) 17516–17521.

Haddad A., Camacho F., Durand P., Cary S.,C., 1995. Phylogenetic characterization of the epibiotic bacteria associated with the hydrothermal vent polychaete Alvinella pompejana. *Appl Environ Microbiol*, 61(5):1679–87.

Hayes W.,K., Carter R.,L., Wikelski M., Sonnentag J.,A., 2004. Determinants of Lek Mating Success in Male Galápagos Marine Iguanas. Behavior, body size, condition, ornamantation, ectoparasite load, and femal choice. In A. C. Alberts, R. L. Carter, W. K. Hayes, & E. P. Martins (Eds.). *Iguanas: Biology and Conservation,* Berkeley: University of California Press, 127–147.

Hobson E.,S., 1969. Remarks on aquatic habits of the Galapagos marine iguana, including submergence times, cleaning symbiosis, and the shark threat. *Copeia*, 401(2).

Hugi J., Sánchez-Villagra M.,R., 2012.Life History and Skeletal Adaptations in the Galapagos Marine Iguana (Amblyrhynchus cristatus) as Reconstructed with Bone Histological Data–A Comparative Study of Iguanines. *Journal of Herpetology,* 46(3):312–324.

Jackson M.,H., 1993. *Galapagos, a Natural History*, University of Calgary Press

Jeanthon C., Prieur D., 1990. Susceptibility to heavy metals and characterization of heterotrophic bacteria isolated from two hydrothermal vent polychaete annelids, Alvinella pompejana and Alvinella caudata. Appl. Environ. Microbiol. *Appl Environ Microbiol,* 56(11): 3308–3314.

Laurie W.,A., June 1990. Population Biology of Marine Iguanas (Amblyrhynchus cristatus). I. Changes in Fecundity relates to a population crash. *Journal of Animal Ecology*, 59, 515–28.

Laurie W.,A., Brown D.,1990. Population Biology of Marine Iguanas (Amblyrhynchus cristatus). III. Factors Affecting Survival. *Journal of Animal Ecology* 59(2), 545.

Nicholl H., 1973. *Galapagos : historia naturalna,* Wydawnictwo W.A.B.

Pradillon F.,. Zbinden M., Mullineaux L.,S., Gaill F., 2005. Colonisation of newly-opened habitat by a pioneerspecies, Alvinella pompejana(Polychaeta:Alvinellidae), at East Pacific Rise vent sites. *Marine Ecology Progress Series*, 302:147–157.

Wikelski M., Corinna T., 2000. Marine iguanas shrink to survive El Niño. *Nature*, vol 403, 37–38.

Wikelski M., Nelson K., 2004. Conservation of Galápagos Marine Iguanas. *Amphibia-Reptilia*, 37(1)

Wikelski M., Vitousek M.,N., Rubenstein D.,R., 2005. *The evolution of foraging behavior in the Galapagos marine iguana: natural and sexual selection on body size drives ecological, morphological, and behavioral specialization*, Published by Cambridge University Press.

[1] – The Migration of Young Marine Iguanas on Santa Cruz, June 18, 2012. Galapagos Conservancy dostęp: www.galapagos.org/newsroom/the-migration-of-young-marine-iguanas-on-santa-cruz/" [dostęp: 9.11.2018],

[2] – S. Botos: Life on a hydrothermal vent. W: Hydrothermal Vent Communities, dr Beata Szymczycha www.eduscience.pl, [dostęp: 20 lutego 2015]

[3] – www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=336171, [dostęp: 20.03.2019]v

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 38-40 ISSN 2451-1862

Czy bioaerozole mogą być niebezpieczne dla człowieka?

Klaudia Baran

Uniwersytet Gdański Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

padzia.klaudia@interia.pl

Tutor: dr hab. Anita Lewandowska, profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,

Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego

Słowa klucze – *bioaerozole, cyjanobakterie, Morze Bałtyckie, zanieczyszczenie powietrza*

Aerozole atmosferyczne są obecne w naszej atmosferze od zawsze (Juda-Rezler, 2016). W ich skład wchodzą cząstki stałe i kropelki cieczy, które ulegają rozproszeniu w powietrzu. W wyniku reakcji heterogenicznych, aerozole stanowią układy dwufazowe (ciało stałe-ciecz) lub trójfazowe (ciało stałe-ciecz-gaz) (Falkowska i Lewandowska, 2009). Te zawieszone w powietrzu cząstki reprezentują szeroką klasę wielkości. Ich rozmiary mogą osiągać od kilku nanometrów do nawet 200 μm. Uwarunkowane jest to przede wszystkim źródłem ich pochodzenia oraz panującymi warunkami meteorologicznymi (temperatura i wilgotność względna powietrza, prędkość i kierunek wiatru, natężenie i rodzaj opadów atmosferycznych) (Seinfeld i Pandis, 2016).

Aerozole mogą być obecne w powietrzu atmosferycznym w wyniku naturalnych procesów, takich jak wybuchy wulkanów, pożary lasów i stepów, czy procesy życiowe organizmów bytujących na lądzie i w morzu (Andreae i Crutzen, 1997). Za jedno z najważniejszych naturalnych źródeł aerozoli w powietrzu uważa się morze. Z jego powierzchni w wyniku pękania pęcherzyków gazowych oraz na skutek załamywania się grzbietów fal i porywania piany morskiej do atmosfery emitowana jest sól morska (Falkowska i Lewandowska, 2009). Warunkami szczególnie sprzyjającymi formowaniu się aerozoli morskich są okresy o szczególnie wysokim przesyceniu wody rozpuszczonymi w niej gazami oraz charakteryzujące się silnym falowaniem wiatrowym (Kruczalak i in., 2002).

Obok naturalnych procesów, emisja aerozoli do atmosfery może być spowodowana działalnością człowieka, na przykład procesy spalania paliw kopalnych, zarówno w sektorze komunalno-bytowym (na cele grzewcze), czy w sektorze komunikacyjnym (w celach napędowych pojazdów silnikowych). Źródłem antropogenicznym aerozoli jest także rolnictwo, działalnośćw sektorze stoczniowym i portowym oraz w wielu gałęziach przemysłu (Kothai, 2011).

W atmosferze mogą występować aerozole, które są wzbogacone w żywe organizmy lub/i ich fragmenty. Nazywa się je bioaerozolami (Degórska, 2016) ich skład wchodzą bakterie, wirusy, glony, zarodniki grzybów oraz produkty mikrobiologicznego metabolizmu organizmów żywych (Fröchlich-Novoisky i in., 2016). Niektóre z tych organizmów wytwarzają endo- i enterotoksyny oraz mykotoksyny (Cox i Wathes, 1995). Ekspozycja na takie aerozole może stanowić niebezpieczeństwo dla zdrowia człowieka i innych organizmów żywych (Budzińska i in., 2011).

Czynnikami determinującymi obecność, skład oraz wielkość koncentracji bioaerozoli w powietrzu są warunki meteorologiczne. Najważniejsze parametry to temperatura i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru, kierunek napływu mas powietrza oraz rodzaj, wielkość i intensywność opadów atmosferycznych. Czynniki te odpowiadają również za dystrybucję i czas przebywania bioaerozoli w atmosferze (Burrows i in., 2009). W przypadku, gdy w ich składzie obecne są glony i sinice istotna jest także wielkość produkcji pierwotnej w zbiorniku wodnym. Przy intensywnych zakwitach fitoplanktonu można spodziewać się, że wzrośnie emisja bioaerozoli z powierzchni morza do atmosfery. Należy jednak zaznaczyć, że jest to najczęściej efekt połączonego działania czynników meteorologicznych i naturalnych procesów zachodzących w wodzie, a nie wpływ jednego z nich (Lewandowska i in., 2017).

Stwierdzono ponadto, że obecność konkretnego gatunku mikroorganizmu lub jego fragmentu związana jest z wielkością aerozoli, w jakich on występuje. Bakterie adsorbują się zazwyczaj na mniejszych cząstkach, o średnicy od 8 μm do 25 μm, podczas gdy pyłki są obecne w aerozolach o średnicy od 20 μm do 60 μm. Zarodniki grzybów występują najczęściej w zakresie wielkości cząstek od 1 μm do 30 μm (Burrows i in., 2009). Najmniejsze bioaerozole, o średnicy do 3 μm, wzbogacone są w wirusy. Bioaerozole bakteryjne i wirusowe charakteryzują się najdłuższym czasem rezydencji w atmosferze (od kilku do kilkunastu dni). Ze względu na niewielkie rozmiary cząstek, w których występują, wykazują one dużą mobilność i mogą być transportowane z masami powietrza na bardzo dalekie odległości. Większe bioaerozole krócej przebywają w powietrzu, często poniżej jednego dnia (Fröhlich-Nowoisky i in., 2016).

Obecność bioaerozoli we wdychanym powietrzu może nieść negatywne skutki dla zdrowia człowieka. Najczęściej przejawia się to utrudnieniem w oddychaniu, ale może także prowadzić do poważniejszych chorób układu oddechowego i układu krążenia, a przy dłuższej ekspozycji do chorób nowotworowych (Srikanth i in., 2008). Na przykład pracownicy służby zdrowia narażeni są na obecność bakterii prowadzących do zachorowań na zakaźną gruźlicę (Verhoeff i Burge, 1997). Największe zagrożenie stanowią najmniejsze cząstki, które przenikają w organizmie najgłębiej, nawet do pęcherzyków płucnych i do krwioobiegu. Gdy w bioaerozolach obecne są toksyczne gatunki sinic lub produkty ich metabolizmu, negatywny wpływ na organizm człowieka może być jeszcze większy. Istnieje wiele udokumentowanych chorób układu oddechowego wywołanych wdychaniem toksyn, czy alergenów z powietrza. Jednakże wiedza na ten temat jest wciąż niewystarczająca, aby wytłumaczyć bezpośredni wpływ poszczególnych składników bioaerozoli na organizm ludzki.

Sinice i glony oraz inne organizmy i ich fragmenty wchodzące w skład bioaerozoli mogą być transportowane w atmosferze wraz z masami powietrza. Globalny transport tych cząstek zależy w dużym stopniu od źródłowego obszaru emisji, średnicy cząstek oraz pory roku. Zdarza się, że oprócz gatunków pierwotnie obecnych w wodzie, w atmosferze nadmorskiej występują gatunki obce danemu akwenowi. Mogą być one nanoszone znad obszarów oddalonych nawet o setki kilometrów od miejsca ich wypadania z atmosfery. Dla tego zjawiska znaczącą rolę odgrywa prędkość wiatru ((Burrows i in., 2009). Ponadto wiele gatunków mikroorganizmów posiada mechanizmy obronne, umożliwiające im przetrwanie w niekorzystnych warunkach podczas transportu. Zdolność ta prowadzi do wydłużenia czasu ich przebywania w atmosferze nawet do kilkunastu tygodni (Sivonen, 1996).

Zakładając, że na powierzchni bioaerozoli mogą adsorbować się związki chemiczne, np. metale ciężkie, czy wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, wpływ aerozoli biologicznego pochodzenia na jakość życia człowieka i jego zdrowie zaczyna budzić niepokój. W związku z tym ważne jest rozpoznanie powyższego problemu, zwłaszcza, że moim zdaniem wiedza na ten temat jest w dalszym ciągu niewystarczająca. W tym miejscu nasuwa się pytanie, czy bioaerozole zagrażają zdrowiu mieszkańców Trójmiasta? Aglomeracja ta leży w strefie brzegowej Morza Bałtyckiego, w którym bytuje kilka rodzajów toksycznych sinic (cyjanobakterii), (Mazur-Marzec i in., 2015). Sinice zaliczane są do bakterii i klasyfikowane do organizmów fitoplanktonowych. W zależności od gatunku mogą stanowić mniejsze lub większe zagrożenie dla innych organizmów żywych (Tesson i in., 2016). Jest to spowodowane wytwarzaniem przez niektóre z nich substancji toksycznych. Sinice obecne w Morzu Bałtyckim są w stanie produkować hepatotoksyny, które prowadzą do uszkodzenia komórek wątroby. Jedną z toksyn jest nodularyna, produkowana przez bałtycki gatunek Nodularia spumigena. Dla przykładu, u myszy dawka letalna tej trucizny (LD50) jest na poziomie około 50 μg kg-1 masy ciała. Dla tego samego gryzonia LD50 w przypadku jednej z najbardziej znanych trucizn cyjanku potasu wynosi 10 000 mg kg-1 masy ciała. Kolejna z toksyn, mikrocystyna, należąca do hepatotoksyn jest wytwarzana przez sinice z rodzaju *Microcystis, Anabaena* i *Planktothrix*. Przyczynia się ona do chorób nowotworowych u człowieka (Mazur-Marzec i in., 2015). Do następnej grupy toksyn produkowanych przez sinice należą neurotoksyny, odpowiedzialne za zaburzenia układu nerwowo-mięśniowego (Aráoz i in., 2010). Przykładem neurotoksyny wytwarzanej przez sinice bytujące w Morzu Bałtyckim jest anatoksyna-a. Jej obecność w organizmie człowieka może prowadzić do zatrzymania procesu oddychania. Z kolei β-metylamina-L-alanina (BMAA) uważana jest za toksynę mogącą przyczynić się do powstania choroby Parkinsona oraz demencję (Murch i in., 2004).

Intensywność produkcji toksyn zależy nie tylko od gatunku sinicy. Nodularyna, mikrocystyna i anataksyna-a wytwarzane są w największych ilościach w warunkach sprzyjających intensywnemu wzrostowi sinic (Sivonen, 1996). Najistotniejsze znaczenie odgrywa dostępność substancji biogenicznych, takich jak azot czy fosfor. Nadmierne wzbogacenie zbiornika wodnego w te substancje wspomaga ponadto trwałość i wydłuża czas przebywania cyjanotoksyn w akwenie (Paerl i Otten, 2013). Dla produkcji toksyn ważne są także czynniki zewnętrzne, takie jak temperatura powietrza czy brak opadów atmosferycznych oraz bezwietrzna pogoda (Bucka i Wilk-Woźniak, 1998). Takie warunki będą wzmagały zakwity fitoplanktonu w akwenie wodnym i prowadziły do efektywniejszego wynoszenia bioaerozoli do atmosfery (Smayda, 1997).

Bioaerozole morskie podczas transportu znad morza nad ląd ulegają frakcjonowaniu oraz wzbogacaniu w związki chemiczne pochodzenia terygenicznego lub/i antropogenicznego (Lewandowska, 2017). Pośród nich mogą znajdować się toksyczne metale śladowe, takie jak rtęć, czy związki z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), na przykład benzo(a)piren (B(a)P). W efekcie, prowadzi to do zmiany składu aerozoli, które stają się jeszcze bardziej niebezpieczne dla zdrowia człowieka. W rejonie Trójmiasta takim związkiem chemicznym występującym w aerozolach w wysokich stężeniach jest benzo(a) piren (B(a)P). Jest on markerem zanieczyszczenia powietrza WWA i wykazuje silne działanie kancerogenne i mutagenne. W roku 1983 Międ zynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (ang. IARC, International Agency For Research On Cancer) przyznała mu pierwszy stopień kancerogenności. Benzo(a) piren ulega emisji do atmosfery na skutek spalania paliw w sektorze komunalno-bytowym oraz w sektorze komunikacyjnym (Ravindra i in., 2008). Ze względu na dużą liczbę indywidualnych palenisk przydomowych i natężenie ruchu komunikacyjnego stężenie tego związku w atmosferze strefy brzegowej Zatoki Gdańskiej jest wysokie, zwłaszcza zimą (Staniszewska i in., 2012; Lewandowska i in., 2018). Oprócz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, ważnym związkiem chemicznym identyfikowanym w aerozolach w rejonie Trójmiasta jest rtęć. Nie pełni ona żadnej pozytywnej roli w organizmie człowieka, a wręcz jest dla niego toksyną. Główny problem rtęci w środowisku związany jest z jej przemianami w bardziej toksyczne organiczne formy

(tj. metylortęć) oraz rozprzestrzenianiem się z aerozolami na znaczne odległości od źródła, co zwiększa jej biodostępność. Coraz częściej bierze się pod uwagę również wzmożoną szkodliwość rtęci ze względu na jej reemisję do powietrza z powierzchni wód, czy gleb (Małuszyńska i in., 2011).

Pożywienie czy wodę, z których korzystamy możemy wybrać sobie sami. Nie dotyczy to powietrza, którym oddychamy. Z tego względu uważam, że obecnie jednym z najpoważniejszych zagrożeń dla człowieka i środowiska ogólnie jest zanieczyszczenie atmosfery. Występujące w niej związki chemiczne mogą być szkodliwe nie tylko w miejscu źródłowym. Przenoszone są do innych komponentów środowiska, np. wody czy gleby, a w konsekwencji także do naszej żywności. Człowiek czerpie dobra z każdego z tych elementów. Dlatego należy monitorować jakość powietrza i dbać o nie na całym świecie. Dotyczy to także bioaerozoli, a zwłaszcza mechanizmów ich przenoszenia na dalekie odległości od źródła emisji, czy ustalenia gdzie występują w najwyższych stężeniach. Niepokojące jest także, jak niewiele wiemy o roli sinic i glonów obecnych w atmosferze w kształtowaniu jakości powietrza. Zarówno rtęć, jak i B(a)P są związkami, które mogą adsorbować się na ich powierzchni. To z kolei będzie prowadzić do wzrostu stężenia tych niebezpiecznych dla zdrowia ludzkiego związków chemicznych we wdychanym przez nas powietrzu.

Literatura

Andreae M.O., Crutzen P.J., 1997. Atmospheric Aerosols: Biogeochemical Sources and Role in Atmospheric Chemistry, *Science* 276, California.

Aráoz R., Molgó J., Tandeau de Marsac N., 2010. Neurotoxic cyanobacterial toxins, *Toxicon*, 56.

Bucka H., Wilk-Woźniak E., 1998. Dynamic of algae and cyanophytes developing in mass in dam reservoirs: the Wisla-Czarne reservoir and the Dobczyce reservoir (southern Poland), *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica.*

Budzińska K., Jurek A., Szejniuk B., Michalska M., Wroński W., 2011. Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie oczyszczalni ścieków komunalnych, *Rocznik Ochrona Środowiska*, Bydgoszcz.

Burrows S.M., Butler T., Jöckel P., Tost H., Kerkweg A., Pöschl U. and Lawrence M.G., 2009. Bacteria in the global atmosphere – Part 2: Modeling of emissions and transport between different ecosystems, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9281–9297.

Burrows S.M., Elbert W., Lawrence G., and Poschl U., 2009. Bacteria in the global atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 9263–9280.

Cox C.S., Wathes C.M., 1995. Bioaerosols Handbook, 1st Edition, CRC Press.

Degórska A., 2016. Pyły drobne w atmosferze. *Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce.*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska.

Falkowska L., Lewandowska A.U., 2009. Aerozole i gazy w atmosferze ziemskiej, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C.J., Weber B., Huffman J.A., Pöhlker C., Andreae M.O., Lang-Yona N., Burrows S.M., Gunthe S.S., Elbert W., Su H., Hoor P., Thines E., Hoffmann T., Després V.R., Pöschl U., 2016. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions, *Atmospheric Research* 182, 346–376.

Juda-Rezler K., Toczko B., Degórska A., Frączkowski T., Gierczak T., Iwanek J., Klejnowski K., Kobus D., Markowicz K.M., Mitosek G., Pyta H., Ośródka L., Paciorek M., Pacyna J., Pastuszka J., Rogula-Kopec P., Rogula-Kozlowska W., Meizer M., Trapp W., Wiech K., 2016. *Pyły drobne w atmosferze. Kompendium wiedzy o zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym w Polsce,* Biblioteka Monitoringu Środowiska, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.

Kothai P., Saradhi I.V., Pandit G.G., Markwitz A., Puranik V.D., 2011. Chemical Characterization and Source Identification of Particulate Matter at an Urban Site of Navi Mumbai, *Aerosol and Air Quality Research,* 11, 560–569.

Kruczalak K., Olańczuk-Neyman K., Marks R., 2002. Airborne Microorganisms Fluctuations Over the Gulf of Gdansk Coastal Zone (Southern Baltic), *Polish Journal of Environmental Studies* 11, 5, 531–536.

Lewandowska A.U., Staniszewska M., Witkowska A., Machuta M., Falkowska L., 2018. Benzo(a)pyrene parallel measurements in PM1 and PM2.5 in the coastal zone of the Gulf of Gdansk (Baltic Sea) in the heating and non-heating seasons, *Environmental Science and Pollution Research,* 25.

Lewandowska A.U., Śliwińska-Wilczewska S., Woźniczka D., 2017. Identification of cyanobacteria and microalgae in aerosols of various sizes in the air over the Southern Baltic Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 125.

Małuszyńska I, Popenda A., Małuszyński M..J., *Mercury in the environment,* Warszawa 2011

Mazur-Marzec H., Błaszczyk A., Felczykowska A., Hohlfeld N., Kobos J., Toruńska-Sitarz A., Devi P., Montalvão S., D'souza L., Tammela P., Mikosik A., Bloch S., Nejman-Faleńczyk B., Węgrzyn G., 2015. Baltic cyanobacteria – a source of biologically active compounds, *European Journal of Phycology,* 50.

Murch S.J., Cox P.A., Banack S.A., 2004. *A mechanism for slow release of biomagnified cyanobacterial neurotoxins and neurodegenerative disease in Guam*, PNAS, Meksyk

Paerl H., Otten T., 2013. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls, *Microbial Ecology.*

Ravindra K., Sokhi R., Grieken R., 2008: A*tmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation,* Atmospheric Environment.

Seinfeld J.H., Pandis S.N., 2016. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 3rd Edition.

Sivonen K., *Cyanobacterial toxins and toxin production,* 1996 Smayda T.J., 1997. *Harmful algal blooms: Their ecophysiology \and general relevance to phytoplankton blooms in the sea,* American Society of Limnology and Oceanography, Inc., Kingston, Rhode Island.

Srikanth P., Sudharsanam S., Steinberg R., 2008. Bio-aerosols in indoor environment: Composition, health effects and analysis, *Indian Journal of Medical Microbiology*, 26, 302–312.

Staniszewska M., Graca B., Bełdowska M., Saniewska D., 2012. Factors controlling benzo(a)pyrene concentration in aerosols in the urbanized coastal zone. A case study: Gdynia, Polad (Southern Baltic Sea), *Environmental Science and Pollution Research.*

Tesson S.V.M., Skjøth C.A., Šantl-Temkiv T., Löndahl J., 2016. Airborne Microalgae: Insights, Opportunities, and Challenges, *Applied and Evnironmental Biology.*

Verhoeff A.P., Burge H.A., 1997. *Health risk assessment of fungi in home environments.* Ann Allergy Asthma Immuno.

Notatka o Autorze

Studentka drugiego roku studiów magisterskich na kierunku oceanografii na specjalizacji chemia morza i atmosfery. W trakcie realizacji dyplomowej pracy magisterskiej z zakresu „Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w bioaerozolach nad Zatoką Gdańską".

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/201 41-449 ISSN 2451-1862

Barwniki fotosyntetyczne i ich zastosowanie

Marta Kucharska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

E-mail: marta.ewa.kornelia@gmail.com

Tutor: dr Filip Pniewski

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii, Zakład Funkcjonowania Ekosystemów Morskich

Słowa kluczowe – *barwniki fotosyntetyczne, fotosynteza, oceanologia*

Każdy z nas chociaż raz spotkał się ze słowem „barwniki". Jednak pod pojęciem barwników kryje się wiele znaczeń i definicji. Tymi, o których zdobytą wiedzą będę się dzielić, są barwniki fotosyntetyczne.

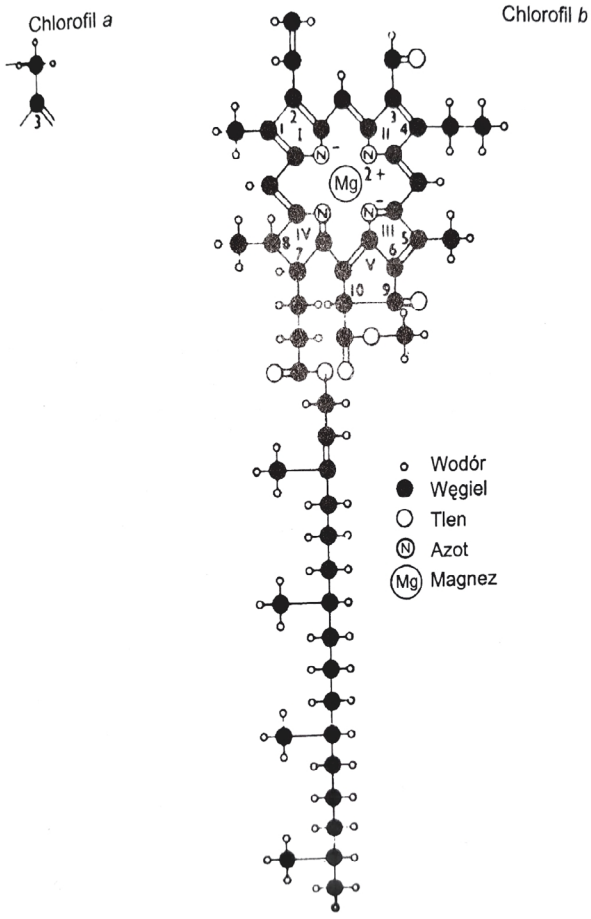
Czym są barwniki fotosyntetyczne?

Barwniki fotosyntetyczne są to substancje uczestniczące w procesie fotosyntezy, które pochłaniają energię słoneczną w zakresie światła widzialnego. Każdy z barwników pochłania światło o określonej długości fali, a część promieniowania, która zostaje odbita nadaje mu charakterystyczną barwę.

Barwniki fotosyntetyczne możemy podzielić na trzy grupy. Do grup tych zaliczamy chlorofile, karotenoidy, wśród których wyróżniamy karoteny i ksantofile oraz fikobiliny.

Chlorofile

Chlorofile są głównymi barwnikami, do których zaliczamy: chlorofil a, chlorofil b, chlorofil c oraz chlorofil d. Możemy wyszczególnić także ich pochodne, pojawiające się w wyniku rozkładu cząsteczek chlorofili, są to: feofityna, feoforbid, chlorofiliny i chlorofilidy (Sikorski i Staroszczyk, 2007). Chlorofile są barwikami podstawowymi, nadają roślinom barwę zieloną i odpowiadają za procesy fotosyntezy. Chlorofil b występuje u zielenic, roślin wyższych oraz mszaków i paprotników, natomiast chlorofile c i d spotkamy u tych gromad glonów, u których nie występuje chlorofil b, np. okrzemki, bruzdnice, kryptofity. Dzięki badaniom wykonanym przez niemieckich laureatów Nagrody Nobla, stworzono wzory sumaryczne chlorofilu a i chlorofilu b. Wzór chlorofilu a to C55H72N4O5Mg, natomiast chlorofilu b C55H70N4O6Mg. Dzięki późniejszym badaniom określono także wzór strukturalny cząsteczki chlorofilu. Zawiera ona porfirynową „głowę" i fitolowy „ogon". Polarne jądro porfirynowe składa się z tetrapirolowego pierścienia i atomu magnezu (Ryc 1.). Rozpuszczalna część chlorofilu połączona jest z białkiem, natomiast łańcuch fitolowy sięga do warstwy lipidów, dzięki jego właściwościom hydrofobowym. Feofityny, które są produktami rozkładu chlorofili w swojej budowie nie zawierają centralnego atomu magnezu (Hall i Rao, 1999).



Ryc. 1 Wzór strukturalny chlorofilu a i chlorofilu b, (Hall i Rao, 1999)

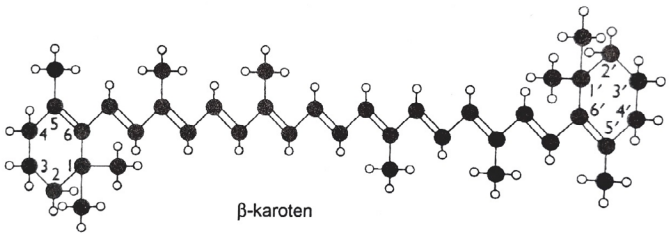
Na rycinie 2 znajduje się przykład makroglonu Chara sp., który dzięki zawartym barwnikom przyjmuje zabarwienie zielone.

Karotenoidy

Karotenoidy należą natomiast do barwników uzupełniających. Możemy je podzielić na karoteny i ksantofile. Ksantofile są pochodnymi karotenów. Do karotenów należą m.in: β-karoten i α-karoten, natomiast do ksantofili: kryptoksantyna, wiolaksantyna, kantaksantyna, zeaksantyna, fukoksantyna, diadinoksantyna, diatoksantyna, alloksantyna, perydynina, luteina, neoksantyna etc. Poszczególne karotenoidy

Ryc. 2 Chara sp. (www.nurkomania.pl)

nadają organizmom fotosyntetycznym różne zabarwienie, i tak β-karoten (Ryc. 3), należący do karotenów, odpowiada za żółte zabarwienie organizmów roślinnych, α-karoten za czerwonobrązowe, natomiast ksantofile za żółte, pomarańczowe lub czerwone. Ksantofile oprócz pomocniczej roli w procesach fotosyntezy pełnią również funkcje przeciwutleniaczy, dzięki czemu chronią komórkę przed reaktywnymi formami tlenu. Karoteny składają się z czterdziestowęglowych węglowodorów, a ksantofile, czyli ich utlenione pochodne, zbudowane są z izoprenoidowych podjednostek, które zawierają szereg wiązań podwójnych (Hall i Rao, 1999).



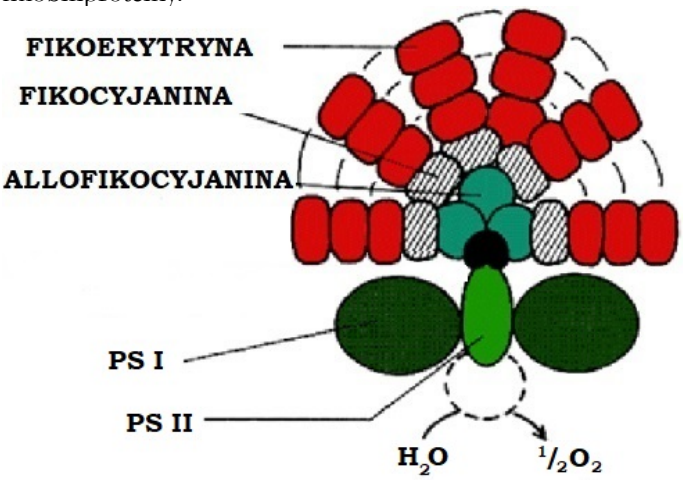
Ryc. 3 Wzór strukturalny β-karotenu, (Hall i Rao, 1999)

Rycina 4 przedstawia Trentepohlia sp. - przykład glonu, który dzięki dużej ilości karotenoidów ma zabarwienie pomarańczowe.

Ryc. 4 Trentepohlia sp. (commons.wikimedia.org)

Fikobiliny

Fikobiliny, podobnie jak karotenoidy, są barwnikami dodatkowymi i zaliczamy do nich fikoerytrynę, fikocyjaninę, a także allofikocyjaninę. Fikobiliny są jedynymi barwnikami fotosyntetycznymi, które rozpuszczają się w wodzie. Są to wyjątkowe barwniki, ważne dla organizmów morskich występujących na większych głębokościach, ponieważ absorbują światło w zakresie fal nieabsorbowanych przez chlorofile i karotenoidy. W wodach płytkich, w strefie litoralu absorbowane jest światło żółte, pomarańczowe i czerwone, a w głębszych partiach wód światło zielone. Barwniki fikobilinowe tworzą fikobilisomy, czyli struktury białkowe uczestniczące w procesie fotosyntezy, pełniące funkcje anten absorbujących światło w zakresie 470–650 nm. W środku struktury znajduje się allofikocyjanina, kolejną warstwę stanowi fikocyjanina, a na zewnątrz położona jest fikoerytryna. Fikobiliny znajdziemy w sinicach i krasnorostach. Barwniki fikobilinowe są strukturalnie podobne do chlorofilu a, jednak cechą różniącą ich budowę jest to, że barwniki fikobilinowe nie posiadają atomu magnezu i łańcucha fitolowego. Fikobiliny to liniowe tetrapirole, które połączone wiązaniami kowalencyjnymi z polipeptydami tworzą fikobiliproteiny.



Ryc. 5 Fikobilisom (docer.pl)

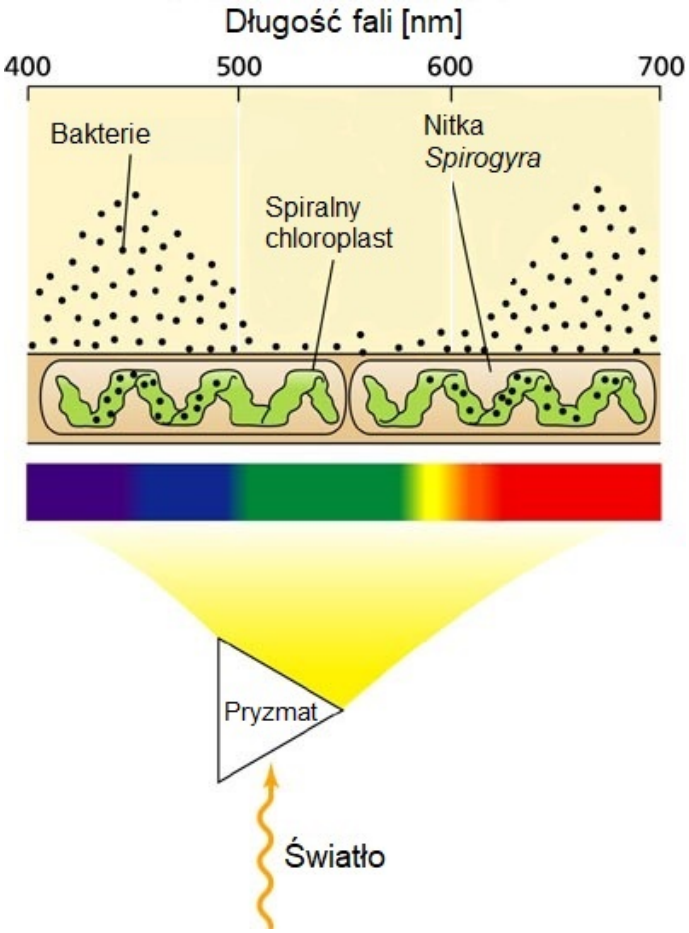
Na rycinie 6 znajduje się krasnorost Porphyridium purpureum, który ma zabarwienie czerwone, dzięki fikoerytrynie.

Ryc. 6 Porphyridium purpureum
(źródło: alchetron.com)

Rola barwników w procesie fotosyntezy

Doświadczenie wykonane przez niemieckiego botanika Engelmanna w 1880 roku wykazało związek między wydzielaniem tlenu i chloroplastami, a także zależności między widmem funkcyjnym fotosyntezy i widmem absorpcyjnym chlorofilu. Do doświadczenia wykorzystano glon Spirogyra należący do gromady zielenic (Chlorophyta), który ma chloroplasty spiralnie zorganizowane oraz użyto również bakterii poruszających się za pomocą rzęsek. Nit-

kę glonu umieszczono na szkiełku mikroskopowym wraz z roztworem tlenozależnych bakterii. Preparat umieszczono w zamkniętym naczyniu bez dostępu powietrza i oświetlano. Dzięki temu bakterie znajdujące się na szkiełku mogły przemieszczać się w obszary o większej zawartości tlenu. Takie warunki przeprowadzanego doświadczenia dały możliwość obserwowania rozmieszczenia bakterii na szkiełku. Z obserwacji wynikało, że bakterie zbierały się wokół nitek zielenicy. Kolejna seria doświadczenia polegała na naświetlaniu komórek Spirogyra światłem rozszczepionym przez pryzmat umieszczony między źródłem światła, a stolikiem mikroskopu. Ta część eksperymentu wykazała, że zdecydowana większość bakterii skoncentrowała się wokół tych części nitek, które były oświetlone światłem niebieskim i czerwonym. Bakterie, kiedy nie było w wodzie nitek zielenicy, nie przemieszczały się w stronę światła niebieskiego i czerwonego. Świadczyło to o tym, że to nie światło o barwie niebieskiej i czerwonej przyciąga bakterie, a chlorofil, znajdujący się w zielenicy absorbował niebieskie i czerwone promienie świetlne. Niemiecki botanik stwierdził, że skoro zaabsorbowane światło doprowadza do fotosyntezy, a widmo działania fotosyntezy jest ściśle związane z widmem absorpcji chlorofilu, to właśnie chlorofil jest aktywnym fotoreceptorowym barwnikiem w fotosyntezie (Hall i Rao, 1999). Rycina 7 przedstawia schemat doświadczenia wykazującego związek między wydzielaniem tlenu i chloroplastami oraz zależności między widmem funkcyjnym fotosyntezy, a widmem absorpcyjnym chlorofilu.



Ryc. 7 Schemat doświadczenia wykazującego związek między wydzielaniem tlenu i chloroplastami oraz zależności między widmem funkcyjnym fotosyntezy, a widmem absorpcyjnym chlorofilu, (http://6e.plantphys.net)

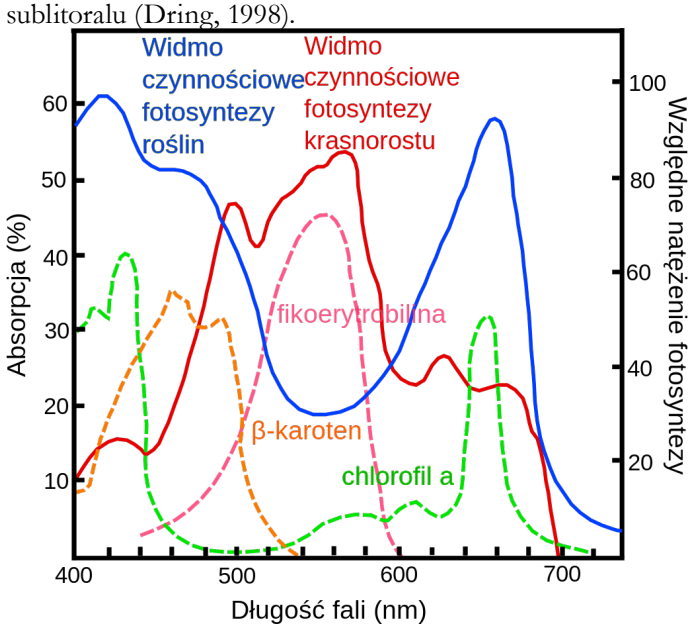
Wiele barwników jest wspólnych dla różnych grup glonów, ale część z nich posiada charakterystyczne dla siebie barwniki. Na podstawie barwników można w przybliżony sposób określić skład taksonomiczny badanych zbiorowisk organizmów fotosyntetyzujących. Barwniki takie określa się mianem barwników wskaźnikowych (bądź markerowych), np.: fukoksantyna jest barwnikiem wskaźnikowym dla okrzemek, alloksantyna dla kryptofitów, a zeaksantyna to barwnik uznawany za charakterystyczny dla sinic. Tabela poniżej (Tab. 1) zawiera poszczególne główne barwniki i gromady glonów, dla których dany barwnik jest barwnikiem charakterystycznym.

Tab. 1. Barwniki i gromady glonów dla nich charakterystyczne (Brota i Plante-Cuny, 1998)

Barwnik	Gromada Glonów
Chlorofile	
Chlorofil *a*	Wszystkie organizmy fotosyntetyzujące; sinice, glony i rośliny wyższe
Chlorofil *b*	eugleniny, zielenice
Chlorofil c_1+c_2	okrzemki,
Chlorofil c_2	kryptofity
Karotenoidy	
Alloksantyna	kryptofity
β- karoten	sinice, okrzemki, eugleniny, zielenice
Diadinoksantyna	eugleniny, okrzemki,
Diatoksantyna	eugleniny, okrzemki
Fukoksantyna	okrzemki, brunatnice
Luteina	zielenice
Neoksantyna	sinice, eugleniny, zielenice
Wiolaksantyna	okrzemki, zielenice
Zeaksantyna	sinice, zielenice

Każdy z barwników ma swoje widmo absorpcji, czyli widmo światła pochłanianego przez daną substancję - długość fali widma wyrażoną w nm. Jak widać na poniższym rysunku (Ryc. 8) barwniki pomocnicze absorbują światło w zakresie nieabsorbowanym przez chlorofil a, co pozwala roślinom, sinicom i glonom wykorzystywać szeroki zakres promieniowania świetlnego. Jest to szczególnie ważne w środowisku morskim, w którym światło wraz z głębokością zmienia swój skład spektralny i intensywność. Bardzo dobrze obrazuje to rozkład makroglonów wraz z głębokością w różnych typach wód morskich. Różne grupy glonów dominują na różnych głębokościach, w zależności od typu wody. W wodach tzw. zielonych najbliżej powierzchni, w litoralu i górnym sublitoralu znajdują się zielenice. Poniżej, w warstwie środkowego sublitoralu, znajdziemy brunatnice. Będą one występowały do około 15 m. Warstwa dolnego sublitoralu jest charakterystyczna dla krasnorostów, które będą w niej występować do około 30 m. Krasnorosty mogą występować we wszystkich z wymienionych warstw, jednak najczęściej znajdziemy je właśnie w warstwie dolnego sublitoralu. Gra-

nice występowania danych glonów nie są jednak ściśle określone i mogą się one zacierać, np. w zależności od czynników oddziałujących na dany akwen. Nieco inaczej jednak wygląda rozkład glonów w wodach tzw. czystych, nazywanych inaczej niebieskimi. Podobnie jak w przypadku „wód zielonych" najgłębiej występują krasnorosty, jednak ze względu na barwę wody będzie to inny zakres głębokości niż w wodach „zielonych". Zielenice w wodach „niebieskich", dzięki czystości i przezroczystości tych wód, znajdziemy zarówno w strefie litoralu, jak i sublitoralu. Brunatnice w tego typu wodach będą występowały w strefie środkowego i dolnego sublitoralu (Dring, 1998).



Ryc. 8 Widma absorpcji wybranych barwników. (pl.wikipedia.org)

Gdzie możemy znaleźć barwniki?

Barwniki możemy znaleźć w wielu produktach, z których korzystamy na co dzień. Nie tylko jako barwniki występujące naturalnie w glonach, warzywach, czy owocach, ale także jako składniki dodawane do żywności.

β-karoten należący do karotenów znajdziemy w spirulinie, która stanowi m.in. pokarm dla zwierząt morskich żywiących się glonami. Oprócz tego β-karoten jest łączony z witaminami E, D, B i wapniem jako preparaty, które mają działanie antyoksydacyjne, ale także dobrze wpływają na wzrok oraz układ odpornościowy. Wspomaganie swojej diety suplementami zawierającymi β-karoten regularnie przez długi czas może spowolnić procesy starzenia (Burri, 1997) związane także z demencją wynikającą z wieku (Hennekens i in., 1996). β-karoten jest także stosowany po radioterapii i chemioterapii, aby wspomóc organizm podczas regeneracji (Byers i Perry, 1992), wpływa on bowiem korzystnie na układ immunologiczny oraz pokarmowy (Horbowicz, 2003). Dzięki swoim właściwościom neutralizującym rodniki β-karoten często jest także stosowany jako lek podczas leczenia chorób wzroku i skóry (Cieślik, 2005). Do antyoksydantów oprócz β-karotenu należą także luteina i zeaksantyna [1].

Barwniki fikobilinowe natomiast posiadają zdolność do fluorescencji, dzięki czemu znajdują swoje zastosowanie jako znaczniki fluorescencyjne przyłączane do przeciwciał (O'Carra i in., 1980). Fluorescencja barwników to świecenie wywołane promieniowaniem świetlnym. Zjawisko to pojawia się, gdy elektrony cząsteczki barwnika, wzbudzone przez fotony światła, powracają do poziomu podstawowego (Sulkiewicz i Ciereszko, 2016).

Wiele barwników zostaje także dodanych do produktów spożywczych, np. lodów, wyrobów cukierniczych, aromatyzowanych napojów alkoholowych, czy też paszy dla zwierząt. Oprócz tego trafiają one także na półki aptek i drogerii jako kosmetyki oraz suplementy poprawiające wzrok, czy kondycję skóry, znajdują także swoje zastosowanie w medycynie. Oprócz tego są wykorzystywane w budownictwie, włókiennictwie, malarstwie (Marszał, 2013). Barwniki są także często stosowane do przywrócenia naturalnego koloru danego produktu, który stracił swoją barwę w trakcie obróbki technologicznej, do wzmocnienia barwy lub do całkowitej jej zmiany.

Otaczający nas świat jest bardzo różnorodny, a każdy jego najdrobniejszy element ma ważną rolę do spełnienia, czego przykładem są opisane powyżej barwniki. W świecie przyrody decydują one o istnieniu i funkcjonowaniu organizmów, natomiast w świecie człowieka znajdują zastosowanie w medycynie, farmacji, kosmetyce i wielu innych dziedzinach.

Literatura:

Burri, B.J., 1997. Beta-carotene and human health: a review of current research. *Nutrition Research* 17, 547–580.

Byers, T., Perry, G., 1992. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Annual review of Nutrition* 12, 139–159.

Cieślik, E., 2005. *Cechy prozdrowotne żywności pochodzenia roślinnego.* Program VII Ogólnopolskiej Sesji Popularnonaukowej„ Środowisko a Zdrowie".

Dring, M.J., 1998. *The Biology of Marine Plants.* Cambridge University Press, Cambridge.

Hall, D., Rao, K., 1999. *Fotosynteza.* Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Hennekens, C.H., Buring, J.E., Manson, J.E., Stampfer, M., Rosner, B., Cook, N.R., Belanger, C., LaMotte, F., Gaziano, J.M., Ridker, P.M., 1996. Lack of effect of long-term supplementation with beta carotene on the incidence of malignant neoplasms and cardiovascular disease. *New England Journal of Medicine* 334, 1145–1149.

Horbowicz, M., 2003. *Warzywa przeciwdziałające chorobom cywilizacyjnym.* Hasło ogrodnicze.

Marszał, M., 2013. *Barwniki i ich zastosowanie.*

O'Carra, P., Murphy, R.F., Killilea, S.D., 1980. The native forms of the phycobilin chromophores of algal biliproteins. A clarification. *Biochemical Journal* 187, 303–309.

Sikorski, Z., Staroszczyk, 2007. *Chemia żywności.* WNT, Warszawa.

Sulkiewicz, M., Ciereszko, I., 2016. Fluorescencja chlorofilu a-historia odkrycia i zastosowanie w badaniach roślin. *Kosmos* 1, 103–115.

[1]–http://rozanski.li/2395/antyoksydanty-w-ziolach/, [dostęp: 5 stycznia 2019 r.]

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 45-48 ISSN 2451-1862

Malejące zasoby wodne – problem teraźniejszości czy przyszłości?

Anna Radziszewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

radziszewska.an@gmail.com

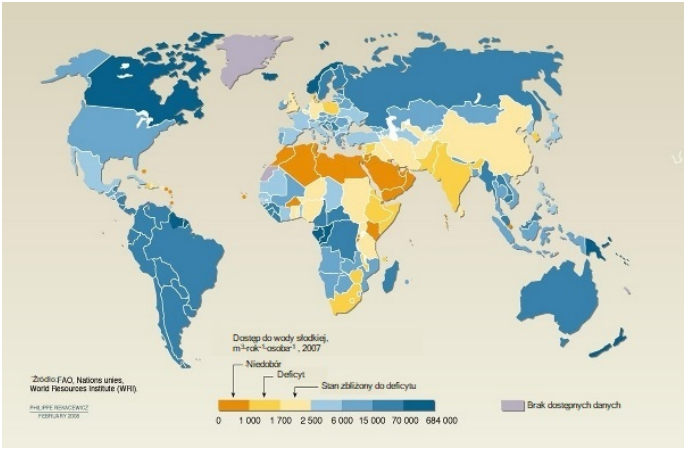
Tutor: dr hab. Anita Lewandowska profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii, Zakład Chemii Morza i Ochrony Środowiska Morskiego

Słowa kluczowe – *zasoby wodne, gospodarka wodna, Ramowa Dyrektywa Wodna, Prawo Wodne*

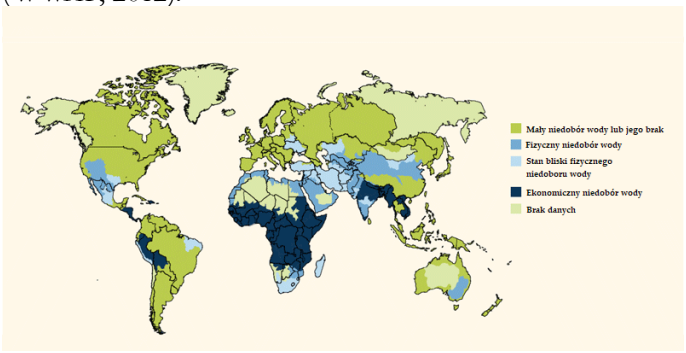
Czy kojarzycie film pt. „Wall-e"? Opowiada on o robocie, który dzięki swojej determinacji i miłości przeżywa niesamowite przygody. W pewnym momencie zostaje wysłany z misją na bezludną planetę tonącą w śmieciach. Jedynym żywym organizmem na niej występującym jest karaluch. Tą planetą jest Ziemia. Nie ma ani roślinności, ani wody. Pewnie powiecie, że nie jest to możliwe, aby doprowadzić środowisko do takiego stanu. Właśnie to powinno nas niepokoić najbardziej. Moim zdaniem przyszłość przedstawiona w filmie staje się coraz bardziej prawdopodobna. Wynika to z faktu, że na Ziemi jest coraz mniej wody zdatnej do picia i prawidłowego funkcjonowania organizmów żywych. Dodatkowo ubywa jej w tempie szybszym niż kiedykolwiek wcześniej.

Ziemia, nazywana przez Davida Attenborough Błękitną Planetą, jest pokryta w 71% zbiornikami wodnymi [1]. Z tego prawie 97% to wody słone, a pozostałe 3% to wody słodkie, które uwięzione są w lodowcach, wiecznej zmarzlinie czy wodach podziemnych (łącznie 2%). Z tego wynika, że dla człowieka na cele komunalne, rolnicze i przemysłowe zostaje zaledwie 1% zasobów wodnych [2]. Ludzie często nie są tego świadomi lub to ignorują. Dodatkowo przez swoją niewiedzę i ekspansywność zaburzają cykl obiegu wody prowadząc do zmiany klimatu czy zanieczyszczenia środowiska. To z kolei zmienia rozmieszczenie wody na Ziemi (Ryc. 1). Istnieją rejony, gdzie jest jej pod dostatkiem (dostępność na osobę wynosi ponad 1700 m3 rocznie) i miejsca, w których wody nie ma lub występuje ona w małych ilościach (poniżej 500 m3) [3]. Niestety, w regionach bogatych w zasoby wody słodkiej często jest ona wykorzystywana lekkomyślnie i bezrefleksyjnie. Konsekwencje takiego zachowania mogą być tragiczne w skutkach dla naszej planety i jej mieszkańców.



Ryc. 1. Rozkład zasobów wody pitnej na świecie w roku 2007 [m3·rok-1 na 1 osobę] [3]

Największe „magazyny" wody na świecie znajdują się w krajach Ameryki Południowej oraz Azji Południowej i Wschodniej (24 100 m3/rok, co odpowiada 55,1% globalnym zasobom wodnym – FAO, 2003). Nawet w tych rejonach istnieje problem z zapewnieniem mieszkańcom wody pitnej. Polska jest jednym z krajów, gdzie występuje deficyt wodny. Na każdego obywatela roczny zasób wody wynosi 1580 m3. Jest to 3 razy mniej niż średnia wartość przypadająca na Europejczyka – 4740 m3 (GUS, 2015). Mimo to, na razie nie grozi nam jej odczuwalny niedobór (Ryc. 2) (WWAP, 2012).



Ryc. 2. Rozkład niedoboru wody pitnej na świecie (WWAP, 2012)

Podstawowym źródłem wody jest opad atmosferyczny, który zasila rzeki, jeziora oraz wody podziemne [4]. W Polsce na cele gospodarcze wykorzystuje się głównie wody powierzchniowe, tak jak ma to miejsce w innych krajach starego kontynentu. Aż 74% jej zużycia przypada na przemysł [5]. W gospodarstwach domowych wykorzystywane jest 12%, a przez rolnictwo 11%. W Europie znacznie mniejsze niż w Polsce jest zużycie wody przez przemysł. Stanowi ono zaledwie 11% ogółu (EEA, 2009). Najwięcej tego surowca wykorzystuje się do produkcji energii (44%) i na potrzeby rolnictwa (od 24% do 80% w Europie południowej do wartości bliskich zeru w krajach skandynawskich). Duża część zużytej wody nie jest ponownie wykorzystywana zarówno w Polsce, jak i na świecie.

Zasoby wodne i dostępność ludzi do wody pitnej nie zmalały w sposób gwałtowny. Był to długotrwały proces, na który złożyły się przede wszystkim wzrost populacji ludzi na świecie i brak świadomości społecznej. Te dziesięciolecia złego zarządzania zasobami wodnymi, niedopasowanego do zmieniających się realiów doprowadziły do dysproporcji w dostępności do wody pitnej na naszym globie. W takich krajach jak Chiny czy Indie, przy wciąż występujących nierównościach społecznych, uprzywilejowani korzystają w nieograniczony sposób z wody, podczas gdy biedni nie mają do niej swobodnego dostępu.

Dodatkowy problem stanowi zanieczyszczenie wód, które negatywnie wpływa na wszystkie organizmy żywe. Coraz większa liczba zbiorników wodnych na świecie charakteryzuje się złym stanem ekologicznym, co wiąże się z kurczeniem lub zanikaniem siedlisk [6]. Wpływa to także na migracje, głównie ptaków wędrownych, które zmieniają trasy i okresy przelotów, tak aby dostosować się do anomalnych warunków hydrologicznych. Jednakże najbardziej narażeni na skutki zanieczyszczenia wody są ludzie. Badania wskazują, że np. obecne w ściekach metale, związki organiczne czy hormony przechodzą do wód rzecznych i morskich. W konsekwencji przedostają się do żyjących tam organizmów żywych, które stanowią pokarm dla człowieka (Bhandari i in., 2015). Jednym z takich związków jest 17-α-etynyloestradiol. Jego obecność w organizmie może prowadzić do feminizacji. Inny ze związków, bisfenol A, jest endokrynnie aktywny i zaburza działanie hormonów. Z kolei obecność w organizmie wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych może prowadzić do chorób nowotworowych. W organizmie człowieka niektóre z tych związków podlegają bioakumulacji i biomagnifikacji. Ludzie, jako drapieżcy z najwyższego poziomu piramidy troficznej, spożywając np. owoce morza czy ryby, przyjmują najwyższe dawki substancji szkodliwych.

Kolejnym aspektem antropogenicznego wpływu na środowisko, który ma znaczenie dla wielkości zasobów wodnych, są zmiany klimatu. Podstawowy problem związany jest z postępującym globalnym ociepleniem. Wraz z nastaniem epoki industrialnej człowiek wprowadził do atmosfery ogromne ilości CO2 i metanu, tzw. gazów cieplarnianych. Silnie pochłaniają one promieniowanie re-emitowane z powierzchni Ziemi prowadząc do wzrostu temperatury. Pierwszy ze związków emitowany jest głównie w procesach spalania paliw kopalnych, drugi na skutek wylesiania czy hodowli zwierząt gospodarskich [7]. Wzrost stężenia gazów cieplarnianych skutkuje miedzy innymi akumulowaniem ciepła przez ocean światowy. Globalne ocieplenie oznacza także nasilenie ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak upały, susze czy ulewy. Prowadzi ponadto do topnienia wielkich połaci wiecznej zmarzliny na biegunie północnym, w której zmagazynowane jest około 1700 Gt węgla organicznego, czyli 2 razy więcej niż obecnie znajduje się w atmosferze (Sch□ del i in., 2014). Uwolnienie tak ogromnych zasobów tego pierwiastka diametralnie przyspieszyłoby proces podwyższania globalnej średniej temperatury. Może być to katastrofalne w skutkach, gdyż już obecny wzrost temperatury przejawia się zmniejszeniem opadów, tak istotnych dla zasobów wody na naszym globie.

Oprócz problemów środowiskowych istnieją też problemy społeczno-ekonomiczne, związane z użytkowanymi zasobami wodnymi. Polakom wydaje się, że problem niedostatku wody ich nie dotyczy, ponieważ nie odczuwają go w życiu codziennym. Jednakże, gdy dojdzie do radykalnego zmniejszenia się zasobów wody, wzrośnie cena jej eksploatacji. Stracą na tym wszystkie gałęzie gospodarki, głównie przemysł i rolnictwo. Woda wykorzystywana jest do nawadniania pól, produkcji żywności i rzeczy codziennego użytku (np. tekstylia, plastik, itp.) oraz oczyszczania ścieków. Duże zapotrzebowanie w wodę jest w fabrykach i elektrociepłowniach, w których jest ona niezbędna na etapie produkcji oraz w systemach chłodzących. Podwyższenie ceny wody jest równoważne ze wzrostem cen wielu podstawowych dóbr codziennego użytku. Zmniejszyłoby to nasz komfort życiowy lub spowodowałoby pogorszenie warunków bytowych. Nie należy także zapominać o konsekwencjach dla turystyki. Zanieczyszczenie wód, zanikanie zbiorników wodnych, czy wymieranie bytujących w nich organizmów spowoduje, że zmniejszy się atrakcyjność rejonów związanych z rekreacją wodną. Kurorty turystyczne stracą klientów, a państwo płynące z tego korzyści finansowe.

Nie traćmy jednak wiary w ludzi i załóżmy, że poradzą sobie z wyżej opisanymi problemami. Tam gdzie już występuje odczuwalny deficyt albo niedobór wody, musieli oni nauczyć się, jak dobrze gospodarować jej skromnymi zapasami. Aby zachować ciągłość dostaw, zużywają wodę w minimalnych ilościach. Jednym z miast, w którym ludzie nie przejmowali się małymi zasobami wody był Kapsztad. Korzystali z niej bez ograniczeń i zdrowego rozsądku, co w połączeniu z długotrwałą suszą i źle prowadzoną gospodarką wodną doprowadziło do ogłoszenia w mieście Dnia Zero [8]. Miał to być dzień, w którym skończy się dystrybucja wody dla mieszkańców. Na szczęście dzięki wdrożeniu nowych zasad użytkowania wody i determinacji społeczeństwa, termin ten można było odroczyć. Obecnie w mieście zużycie wody spadło z 87 m3 do 50 m3 na mieszkańca (stan na luty 2018 roku). Taki rezultat uzyskano poprzez skrócenie czasu kąpieli (w rozgłośniach radiowych specjalnie skrócono utwory, aby łatwiej wyliczać czas), wprowadzenie zakazu nawadniania trawników i ogrodów, czy napełniania basenów wodą z ujęć miejskich. Ponadto stworzono tzw. „Listę Wstydu", na której umieszczano nazwiska mieszkańców

zużywających najwięcej wody oraz wprowadzono wysokie kary pieniężne za marnowanie tego surowca.

Jeśli nie można społeczeństwu wytłumaczyć argumentami, dlaczego trzeba rozsądnie gospodarować zasobami wodnymi, może uda się poprzez zastosowanie kar finansowych. Ciekawą metodą prowadzącą do przestrzegania zasad ochrony wód jest wprowadzenie zasady „zanieczyszczający płaci" (Dz.U. L 143 z 30.4.2004, s. 56). Mówi ona o braniu odpowiedzialności za wyrządzone szkody w środowisku naturalnym. Ważne jest, aby konsekwentnie pobierać opłaty od osób lub podmiotów zanieczyszczających, ponieważ tylko wtedy ta zasada mogłaby zmusić społeczeństwo do podjęcia jakichkolwiek kroków w kwestii ochrony środowiska. Dodatkowo należy edukować ludzi za pośrednictwem telewizji oraz Internetu. Jest to najłatwiejszy sposób dotarcia do jak największej liczby osób oraz zwiększenia świadomości o istniejącym problemie.

Do zwrócenia uwagi społeczeństwa na rozsądne wykorzystanie dóbr, jakie daje nam środowisko, służą uwarunkowania prawne. Polska przystępując do Unii Europejskiej, zobowiązała się do przestrzegania prawa w niej obowiązującego. Jednym z ważniejszych aktów prawnych określających ramy ochrony i gospodarki wodnej jest Ramowa Dyrektywa Wodna (Dz.U.UE.L.08.81.60). Jej celem jest dalsze zapobieganie zanieczyszczeniom wód powierzchniowych, przejściowych, przybrzeżnych i podziemnych. Promuje ona zrównoważony rozwój oraz rozsądne gospodarowanie wodami. W dyrektywie określono dokładne wartości kryteriów potrzebnych do poprawienia i utrzymania dobrego stanu środowiska. Polska, jako członek Unii Europejskiej, zobowiązana jest do spełnienia tych warunków. Najważniejszą obecnie krajową ustawą dotyczącą gospodarowania wodami jest Prawo Wodne (Dz. U. 2017 poz. 1566). Reguluje ona zarządzanie wodami polskimi zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju. Jest to spójne z Ramową Dyrektywą Wodną oraz pozostałymi polskimi notami prawnymi. Wszystkie one dotyczą gospodarowania wodami w Polsce w takich aspektach jak jakość wody zdatnej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017 poz. 2294), zaopatrzenie w wodę (Dz.U. 2001 Nr 72 poz. 747) czy wymagania jakości wód powierzchniowych przeznaczonych do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2002 Nr 204 poz. 1728).

Ciekawym pomysłem na rozwiązanie problemu z małymi zasobami wody wydaje się wyliczanie usług ekosystemowych, czyli dóbr środowiskowych, z których czerpiemy korzyści (czysta woda i powietrze, energia oraz surowce) [9]. Organizacja TEEB (ang. The Economics of Ecosystems & Biodiversity) wyliczyła, że rocznie ludzkość traci od 2 do 4 bilionów dolarów amerykańskich (TEEB, 2008). Podczas konferencji TEDx, mającej miejsce w roku 2011, twórca organizacji Pavan Sukhdev zasugerował, aby wprowadzić opłaty za korzystanie z dobra publicznego. Dodatkowo zaproponował, aby płacić lokalnym społecznościom za korzystanie z usług, od których zależy ich życie [10]. To sprawiłoby, że ludzie podchodziliby do korzystania z wody w sposób bardziej świadomy. Choć pomysł wydaje się mieć charakter utopijny, Sukhdev może mieć rację. Trzeba uświadomić ludzkość, że im mniejsze zasoby wody, tym mniejsze korzyści materialne i finansowe będzie można z nich czerpać. Dlatego koniecznym jest zmiana złych nawyków w celu ochrony tak cennych dla człowieka zasobów wodnych.

Kapsztad nie jest zapewne jedynym miejscem, gdzie zauważono, że z wody można korzystać bez ograniczeń. Zazwyczaj jest to spowodowane myśleniem, że przecież woda była zawsze, więc będzie też w przyszłości. Z tego względu ludzie korzystają z niej, nie dbając o ilość podczas mycia naczyń czy podlewania ogródka. Czy my, Polacy, nie powinniśmy zadać sobie pytania o zmianę swojego podejścia do użytkowania zasobów wodnych? Moim zdaniem wręcz musimy! Przecież już obecnie mamy rejony, które borykają się z suszą np. Suwalszczyzna czy Wielkopolska [11]. Mając jedne z najmniejszych zasobów wody w Europie [12], Polacy są zobligowani rozsądnie nimi gospodarować, aby nie doprowadzić do sytuacji, jaka miała miejsce w Kapsztadzie. W innym przypadku dojdzie do sytuacji, gdzie historia przedstawiona w filmie Wall-e, przestanie być science-fiction, a zacznie być naszą codzienną rzeczywistością. Odnoszę wrażenie, że woda stanie się luksusem już w niedalekiej przyszłości. Aby nie doprowadzić do takiej sytuacji, trzeba wprowadzić zmiany, które zmuszą nas do podjęcia działań ochrony zasobów wód w Polsce. Jednak nauczyć się tego powinni tak naprawdę ludzie na całym świecie.

Literatura

Bhandari R.K., vom Saal F.S., Tillitt D.E., 2015. Transgenerational effects from early developmental exposures to bisphenol A or 17a-ethinylestradiol in medaka, Oryzias latipes, *Scientific Reports*, 5, 9309, DOI: 0.1038/srep09303

EEA Report, 2009. *Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought*, 2/2009 ISSN 1725-9177, DOI 10.2800/16803

FAO, 2003. *Water Reports 23. Review of World Water Recources by Country*, Rome, ISBN 92-5-104899-1

GUS, 2015. Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2015, Warszawa, Zakład Wydawnictw Statystycznych, ISSN 1506-0632

Schädel C., Schuur E.A., Bracho R., Elberling B., Knoblauchs C., Lee H., Luo Y., Shaver G.R., Turetsky M.R., 2014. Circumpolar assessment of permafrost C quality and its vulnerability over time using long-term incubation data, *Global Change Biology*, 20, 641-652, DOI: 10.1111/gcb.12417

TEEB, 2008. *An Interim Report*, European Communities

WWAP (World Water Assessment Programme), 2012. *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*, Paris, UNESCO

Źródła internetowe:

[1] https://water.usgs.gov/edu/earthhowmuch.html, dostęp 26.01.2019

[2] http://www.pfozw.org.pl/zrodlo-wiedzy/w-budowie-3/, dostęp: 07.01.2019

[3] http://www.un.org/waterforlifedecade/scarcity.shtml, dostęp 07.01.2019

[4] https://www.wodkany.pl/zasoby-wody-w-polsce-i-na-swiecie/, dostęp 08.01.2019

[5] https://www.wodkany.pl/zuzycie-wody-w-polsce-infografika/, dostęp 08.01.2019

[6] https://edition.cnn.com/2019/01/24/australia/wild-horses-dead-australia-heatwave-scli-intl/index.html, dostęp 27.01.2019

[7] https://ec.europa.eu/clima/change/causes_en, dostęp 16.02.2019

[8] https://www.pap.pl/aktualnosci/

[9] https://www.ted.com/talks/pavan_sukhdev_what_s_the_price_of_nature#t-585790, dostęp 27.01.2019

[10] https://www.portalsamorzadowy.pl/polityka-i-spoleczenstwo/susza-w-polsce-wielkopolskie-i-podlaskie-najbardziej-poszkodowane-raport,111623.html, dostęp 27.01.2019

[11] http://hydro.geo.uni.lodz.pl/index.php?page=zasoby-wodne, dostęp 08.01.2019

Notatka o Autorze

Studentka studiów licencjackich na kierunku gospodarka wodna i ochrona zasobów wód a także studiów magisterskich na kierunku ochrona środowiska. Absolwentka kierunku oceanografia ze specjalizacją geologiczno-chemiczną.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 49-52 ISSN 2451-1862

Mokradła a zmiana klimatu

Mateusz Czereda

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii

mateuszczereda@gmail.com

Tutor: dr hab. Joanna Fac-Beneda profesor Uniwersytetu Gdańskiego

Uniwersytet gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii

Katedra Hydrologii

Słowa kluczowe – *mokradła, torfowiska, zmiana klimatu, hydrologia*

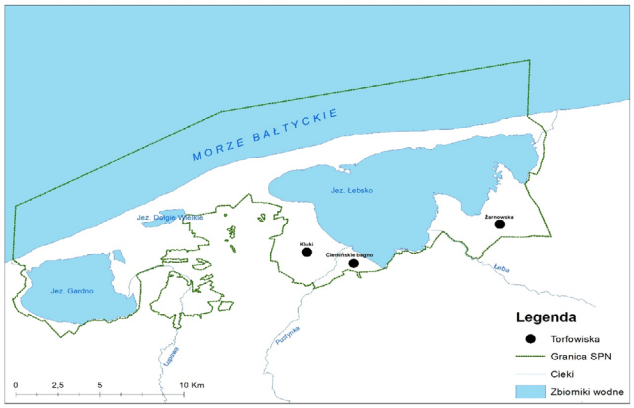
Wstęp

Adaptacja do zmiany klimatu to jedno z największych wyzwań współczesnego świata. Adaptacja do zmiany klimatu to działania mające na celu jak największe zminimalizowanie oraz ograniczenie skutków wynikających ze współczesnej zmiany klimatu (http://klimada.mos.gov.pl/adaptacja-do-zmian-klimatu/). Zmiana klimatu, która jest następstwem procesu globalnego ocieplenia, coraz bardziej jest odczuwalna przez mieszkańców Ziemi. Za globalne ocieplenie odpowiadają gazy cieplarniane, do których należą gazy pochodzenia naturalnego oraz antropogenicznego. Naturalnym gazem cieplarnianym jest para wodna, która odpowiada za 97% efektu cieplarnianego. Jednak jest to gaz wyjątkowy, którego żywotność w atmosferze wynosi kilkanaście dni. Natomiast główną przyczyną globalnego ocieplenia jest wzrost produkcji gazów cieplarnianych pochodzenia antropogenicznego czyli dwutlenku węgla, metanu oraz podtlenku azotu, które w atmosferze pozostają przez kilkadziesiąt lat (Haman, 2008). Największymi emitorami gazów cieplarnianych są energetyka, transport oraz rolnictwo. Społeczność międzynarodowa świadoma tego, że powyższe gazy w znaczący sposób przyczyniają się do zmiany klimatu, postanowiła działać w sprawie ograniczenia ich produkcji. Efektem tych działań było podpisanie protokołu z Kioto. Protokół z Kioto zobowiązywał strony, które go podpisały, do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Kolejnym tak ważnym punktem w historii walki ze zmianą klimatu było porozumienie paryskie, którego celem było ograniczenie wzrostu średniej temperatury do 2100 roku do 1,5oC (Kundzewicz, 2011).

Zmiana klimatu niesie ze sobą wiele zagrożeń. Jednym z największych zagrożeń jest wzrost poziomu wód wszechoceanu. Wzrost poziomu wody prowadzi do zalewania wysp położonych na Oceanie Spokojnym oraz Oceanie Indyjskim. Mieszkańcy wysp muszą szukać na Ziemi nowego miejsca zamieszkania, ponieważ scenariusz całkowitego zatopienia ich obecnego miejsca zamieszkania jest bardzo prawdopodobny. Ze względu na wzrost temperatury wody wszechoceanu dochodzi do zmiany jej właściwości chemicznych, a w szczególności pH. Wskaźnik pH jest zależny m.in. od temperatury i obecnie wody wszechoceanu są coraz bardziej kwaśnie. Kwaśny odczyn pH skutkuje tym, iż wiele organizmów morskich ma problem z przystosowaniem się do nowych warunków i ginie. Proces umierania organizmów morskich zachodzi na przykład na Wielkiej Rafie Koralowej, która może przestać istnieć jeszcze w tym stuleciu. Problem globalnego ocieplenia dotyczy również Polski. W naszym kraju możemy zaobserwować skutki globalnego ocieplenia oraz zmiany klimatu. Coraz częściej mamy do czynienia z takimi zjawiskami jak fale upałów, czy powodzie błyskawiczne w miastach. Do powstawania powodzi błyskawicznych dochodzi szczególnie na terenach zurbanizowanych. Bardzo często, ze względu na ścisłą zabudowę, obszary pokryte materiałami nieprzepuszczalnymi, niesprawną kanalizacją deszczową oraz brak terenów biologicznie czynnych dzieje się tak, że woda spływa z dużą prędkością i gromadzi się w najniższych częściach miasta, powodując podtopienia oraz zalania. Zmiana klimatu ma wpływ na wszystkie dziedziny naszego życia. Poczynając od planowania przestrzennego, gospodarki wodnej i strat materialnych, a kończąc na zdrowiu publicznym i zagrożeniu życia (Kundzewicz 2012). Ze względu na wiele negatywnych skutków, które są efektem globalnego ocieplenia należy podejmować działania, mające na celu ograniczenie emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych. Jest wiele metod i rozwiązań, dzięki którym możemy ograniczyć emisję gazów cieplarnianych. Ograniczenie spalania paliw kopalnych, inwestowanie w odnawialne źródła energii, korzystanie z transportu publicznego i za pomocą jeszcze wielu innych działań możemy ograniczyć emisje powyższych gazów. Jednak wśród tych wszystkich metod i rozwiązań jest jedna niezbyt znana metoda polegająca na pochłanianiu znajdujących się w atmosferze gazów m.in. dwutlenku węgla oraz metanu. Celem artykułu jest przybliżenie metody polegającej na czynnej ochronie mokradeł oraz torfowisk.

Obszary wodno-błotne

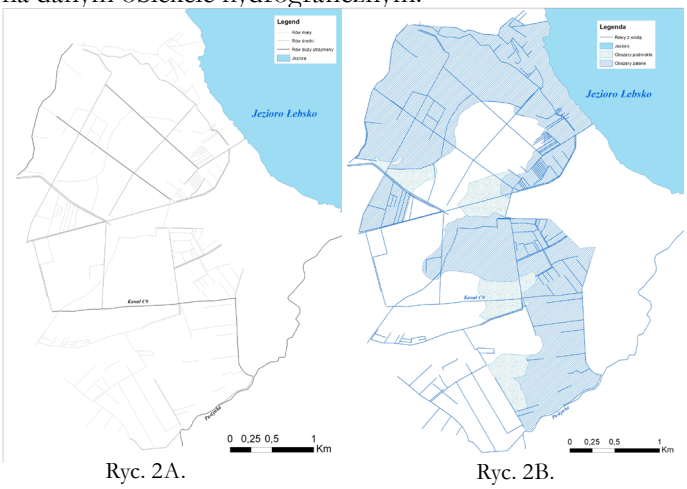
Konwencja Ramsarska określa mokradła jako „tereny bagien, błot i torfowisk lub zbiorniki wodne zarówno naturalne jak i sztuczne, stałe i okresowe, o wodach stojących lub płynących, słodkich, słonawych lub słonych łącznie z wodami morskimi, których głębokość podczas odpływu nie przekracza 6 m"(https://www.gdos.gov.pl/konwencja-ramsarska). Rola mokradeł w adaptacji do zmiany klimatu jest niedoceniana. Mokradła posiadają zdolność pochłaniania i magazynowania dwutlenku węgla, ale również ograniczają powodzie oraz wezbrania sztormowe, a także łagodzą skutki suszy (Kotowski i in., 2019). Jednak największą rolę w globalnym obiegu węgla, metanu oraz azotu odgrywają torfowiska, czyli tereny okresowo lub stale zabagnione, podtopione lub pokryte warstwą wody (Ilnicki, 2002). Torfowiska zajmują niewielką część lądów, zaledwie 3% (Juszczak i in., 2017). Mimo to torfowiska akumulują dwukrotnie więcej węgla niż wszystkie lasy na świecie, które zajmują 31% powierzchni lądów (https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/lasy-na-swiecie). Co więcej, węgiel w torfowiskach jest magazynowany przez tysiące lat, a nie jak w przypadku drzew około stu lat, gdy drzewa osiągają wiek rębności (Kotowski i in., 2019). Niestety ekosystemy torfowiskowe są bardzo podatne na degradację. Ze względu na działalność człowieka wiele torfowisk w Europie i na świecie przestało istnieć. Proces degradacji tych wyjątkowych ekosystemów rozpoczął się już w XIX wieku. To właśnie w XIX wieku wiele torfowisk zostało zmeliorowanych i osuszonych na potrzeby rolnictwa, prowadząc do ich degradacji (Ilnicki, 2002). Do dziś na wielu torfowiskach wydobywany jest torf na cele ogrodnicze. Ze względu na proces osuszania na torfowiskach doszło do zaburzenia stosunków wodnych i zaniku procesu torfotwórczego. Dlatego torfowiska straciły swoją naturalną funkcję akumulacji węgla i zaczęły go z powrotem wydzielać do atmosfery (Joosten i Clarke, 2002). Aby osuszone torfowiska znów zaczęły pomagać w walce ze zmianą klimatu należy dążyć do ich restytucji, polegającej na uregulowaniu stosunków wodnych oraz stworzenia warunków do powrotu pierwotnej roślinności. Najłatwiejszym rozwiązaniem jest ponowne zalanie całego torfowiska, jednakże proces ten musi zostać poprzedzony odpowiednimi badaniami. W tym celu realizowanych jest obecnie wiele projektów zarówno krajowych, jak i międzynarodowych. Jednym z takich projektów jest projekt Life15 CCM/DE/138, a głównym jego celem jest ograniczenie emisji dwutlenku węgla poprzez renaturyzację torfowisk na Nizinie Wschodnio i Środkowoeuropejskiej (https://life-peat-restore.eu). Projekt jest realizowany na obszarze pięciu krajów – Polski, Niemiec, Litwy, Łotwy i Estonii. Na obszarze Polski projekt obejmuje torfowiska znajdujące się w Słowińskim Parku Narodowym (Ryc.1). Jak wcześniej wspomniano odpowiednia restytucja musi zostać poprzedzona odpowiednimi badaniami oraz rozpoznaniem terenu. W tym celu na obszarze torfowisk objętych projektem prowadzony jest monitoring biologiczny oraz hydrologiczny. Monitoring biologiczny polega na obserwacji zmian zachodzących w świecie flory i fauny. W dalszej części opracowania przedstawiono pracę hydrologów oraz szczegóły monitoringu hydrologicznego.



Ryc.1. Torfowiska na tle Słowińskiego Parku Narodowego

Monitoring hydrologiczny

Przed rozpoczęciem szczegółowego monitoringu należy najpierw przeprowadzić hydrograficzne rozpoznanie terenu. W tym celu wykonuje się szczegółowe kartowanie hydrograficzne (Gutry-Korycka i.in., 1989). Wspomniane kartowanie składa się z kilku etapów. Pierwszy wstępny etap polega na określeniu tematu badań, zgromadzeniu odpowiednich map oraz wskazaniu obszaru, na którym ma być przeprowadzone kartowanie (Gutry-Korycka i.in., 1989). Kolejny etap przygotowania kameralnego polega na pozyskaniu odpowiednich materiałów kartograficznych m.in. w postaci map topograficznych czy hydrologicznych oraz analizy obserwacji wcześniej dostępnych danych (Gutry-Korycka i.in., 1989). Trzeci etap pomiarowo-obserwacyjny polega na obserwacjach terenowych. Na tym etapie prowadzony jest monitoring wód powierzchniowych oraz podziemnych. Podczas prac związanych z monitoringiem wód powierzchniowych dokonuje się identyfikacji obiektów hydrograficznych (Ryc.2A) oraz, jeśli istnieje taka potrzeba, wydziela się tereny podmokłe i zalane (Ryc.2B). Dzięki identyfikacji obiektów hydrograficznych można określić wielkość cieków zarówno naturalnych, jak i sztucznych o znaczeniu melioracyjnym. Należy pamiętać, że obiekty melioracyjne są zwykle zaniedbane, a na podstawie kartowania można także określić, czy dany rów melioracyjny lub kanał (Ryc.3) jest drożny czy też nie i określić jego znaczenie w ogólnym obiegu wody na danym obiekcie hydrograficznym.



Ryc. 2A. Ryc. 2B.

Ryc.2. Obiekty hydrograficzne (A) wraz z obszarami podmokłymi i zalanymi (B)

Ponadto na tym etapie dokonuje się lokalizacji punktów, w których woda wpływa na obiekt oraz z niego uchodzi. Podczas prowadzenia prac terenowych we wcześniej określonych punktach przeprowadza się pomiar natężenia przepływu (Ryc.4) oraz stanu wody przy pomocy łaty wodowskazowej (Ryc.5). Pomiar natężenia przepływu w dalszych etapach pozwala na określenie ilości wpływającej oraz wypływającej wody z obiektu. Torfowiska to obiekty o gęstej sieci rowów melioracyjnych, która powoduje, iż niektóre miejsca są bardzo trudno dostępne. Zdarzają się sytuacje, w których przekroczenie danego cieku jest niemożliwe. Dlatego bardzo często w takim terenie można zauważyć kładki oraz pomosty zbudowane ze ściętych czy powalonych drzew (Ryc.6). W czasie prac terenowych wybiera się także punkty, które posłużą do monitoringu wód podziemnych. Punkty są lokalizowane w miejscach reprezentatywnych dla danego obiektu. Monitoring taki składa się z sieci piezometrów. Wszystkie piezometry znajdujące się na obszarze Słowińskiego Parku Narodowego są piezometrami automatycznymi TD-Diver. Divery (Ryc.7) są umieszczone w rurze piezometru i dokonują pomiaru ciśnienia atmosferycznego. W celu weryfikacji danych w jednej z pobliskich miejscowości został umieszczony Baro-Diver, który dokonuje zapisu ciśnienia atmosferycznego. Na podstawie danych pochodzących z obu urządzeń można dokonać pomiaru wahań zwierciadła wód podziemnych. Zarówno monitoringowi wód powierzchniowych, jak i podziemnych towarzyszy monitoring fizycznochemiczny, który jest wykonywany przy użyciu mierników automatycznych. Badanie fizyczno-chemiczne obejmuje pomiar odczynu pH, temperatury, natlenienia, zawiesiny oraz przewodności. Monitoring wód powierzchniowych jest przeprowadzany raz w miesiącu, a składa się on z pomiaru natężenia przepływu oraz badań fizykochemicznych. Monitoring wód podziemnych składający się ze szczegółowej analizy próbek wody pobieranych z piezometru (Ryc.8) odbywa się raz na kwartał. Natomiast odczytywanie danych z piezometrów w celu analizy wahań poziomu wód podziemnych odbywa się po zakończeniu roku hydrologicznego. Prowadzenie obu monitoringów jest wspomagane przez dane pochodzące ze stacji meteorologicznych obejmujące temperaturę powietrza, wysokość opadów atmosferycznych czy prędkość wiatru (Gutry-Korycka i.in., 1989). Ostatnim etapem związanym z kartowaniem hydrograficznym są prace kameralne, polegające w głównej mierze na interpretacji hydrograficznej. Podczas prac kameralnych dokonuje się opracowania wcześniej zebranych danych. Interpretacja zebranych danych pozwala na zrozumienie zjawisk zachodzących na danym obiekcie hydrograficznym, określeniu, które zjawiska mają największy wpływ na zachowanie lub degradację obiektu czy też wybraniu miejsc na budowę koniecznych obiektów hydrotechnicznych w postaci zastawek lub innych, jeżeli takie są potrzebne (Gutry-Korycka i.in., 1989).

Ryc.3. Przykład drożnego kanału

Podsumowanie

Torfowiska wymagają znacznej uwagi człowieka oraz nakładów finansowych w celu poprawienia ich funkcjonowania. Należy pamiętać, że to nie tylko zwykłe bagna, ale przede wszystkim ogromne zbiorniki węgla. Torfowiska mogą być w tej walce naszym sprzymierzeńcem, ale jeśli nie będziemy o nie dbać oraz pozwolimy na ich dalszą degradację, to sprawimy, iż akumulowany w nich przez tysiące lat węgiel z powrotem wróci do atmosfery. Torfowiska to często tereny bardzo trudno dostępne, jednak są ludzie, którzy są gotowi do prowadzenia badań i lepszego rozpoznania tych ekosystemów w celu jeszcze lepszej i jeszcze bardziej efektywniejszej walki z globalnym ociepleniem oraz zmianą klimatu. Ponadto każdy z nas osobiście może zaangażować się w ochronę torfowisk. W Niemczech jest prowadzony projekt, w ramach którego firmy lub osoby, które chcą obniżyć swój „ślad węglowy" mogą dokonać zakupu certyfikatu redukcji emisji od podmiotów zajmujących się ponownym nawadnianiem torfowisk (Kotowski, 2019; www.moorfutures.de). Ślad węglowy to suma wszystkich gazów cieplarnianych, jakie produkuje dana osoba, organizacja, wydarzenie czy produkt zarówno bezpośrednio, jak i pośrednio (https://naukaoklimacie.pl).

Ryc.4. Pomiar natężenia przepływu wody

Ryc.5. Łata wodowskazowa

Ryc.6. Pomost w formie ściętych drzew

Ryc.7. TD-Diver

Ryc.8. Pobieranie próbki wody z piezometru

Literatura

Gutry-Korycka M., Werner-Więckowska H., 1989. *Przewodnik do hydrograficznych badań terenowych* Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Haman K., 2008, Naturalne i antropogeniczne przyczyny zmiany klimatu, *Nauka*, 1/2008, 119-127.

Ilnicki P., 2002, *Torfowiska i torf*, Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu.

Josten H., Clarke D., 2002, *Wise use of mires and peatlands – background and principles including a framework for decision-making.* International Mire Conservation Group and International Peat Society.

Juszczak R., Urbaniak M., Stróżecki., Lamentowicz M., Chojnicki B., 2017, Metody i techniki pomiarów strumieni gazów szklarniowych na torfowiskach, *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, R. 19. Zeszyt 51/2/2017.

Kotowski W., Jabłońska E., Kozub Ł., Jaszczuk I., Panrk P., 2019, *Mokradła a zmiany klimatu*. Centrum Ochrony Mokradeł.

Kundzewicz Z.W., 2011, Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje, *Landform Analysis*, Vol. 15: 39-49.

Kundzewicz Z.W., 2012, Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – możliwości przeciwd działania i adaptacji, *Studia BAS*, Nr 1 (29), 9-30.

https://life-peat-restore.eu/ [Dostęp: 29.04.2019]

https://www.moorfutures.de/ [Dostęp: 29.04.2019]

http://klimada.mos.gov.pl/adaptacja-do-zmian-klimatu/ [Dostęp: 29.04.2019]

https://www.gdos.gov.pl/konwencja-ramsarska/ [Dostęp: 29.04.2019]

https://www.bdl.lasy.gov.pl/portal/lasy-na-swiecie/ [Dostęp: 29.04.2019]

https://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/jaki-jest-twoj-slad-weglowy-i--czy-warto-go-redukowac-305/ [dostęp: 29.04.2019]

Notatka o Autorze

Absolwent studiów licencjackich na kierunku gospodarka wodna i ochrona zasobów wód, student II roku studiów magisterskich na kierunku geografia.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 53-54 ISSN 2451-1862

Szare czy zielone Brusy

Joanna Skwierawska
Uniwersytet Gdański, Instytut Geografii, Wydział Oceanografii i Geografii
j.skwierawska@o2.pl

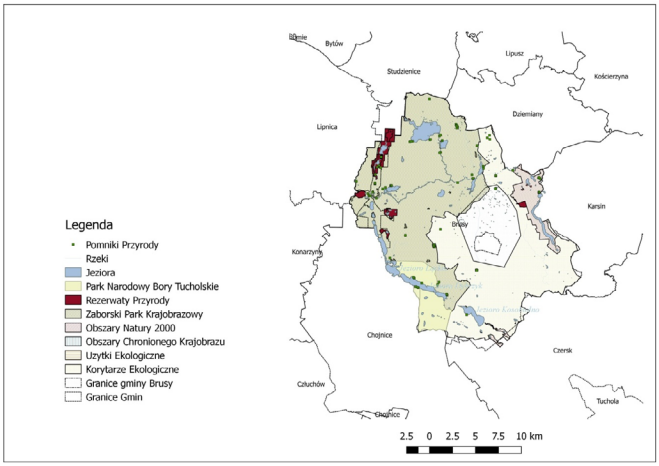
Tutor: mgr Alicja Olszewska
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii

Słowa kluczowe – *Brusy, formy ochrony przyrody, środowisko*

Gmina Brusy jest małą gminą wiejsko-miejską (400,74 km2) położoną w powiecie chojnickim w woj. pomorskim. Składa się z 23 solectw, w których najczęstszą formą zatrudnienia jest rolnictwo. Do sierpnia 2017 roku lasy w gminie Brusy zajmowały 57% powierzchni, jednak w wyniku nawałnicy 20% lasów została zniszczona, natomiast użytki rolne to 31% powierzchni gminy.

Dla mieszkańca gminy nie jest obce stwierdzenie: „Brusy są takie smutne, szare, może nawet trochę zabałaganione, bez ładu i składu przestrzennego" - takie określenie często pada z ust osób przejezdnych, niezwiązanych z gminą ani nieprzebywających tam na co dzień. Faktem jest, że samo miasto nie jest atrakcyjne dla przejezdnych, sprawia ono raczej wrażenie zapominanej miejscowości. Gmina Brusy może wydawać się szara i smutna. Dominuje tu stara i niska zabudowa, z często zaniedbaną elewacją, a także ograniczoną przestrzenią wokół domów i ciasnymi podwórzami. Często czuć zapach smogu pochodzący z domowych palenisk, co jest wynikiem tak zwanej emisji niskiej będącej całością emitowanych do powietrza substancji z niewysokich źródeł (Świtalska, 2014). W samym mieście nie ma zbyt wielu obszarów zielonych, a drogi i chodniki częściowo nadają się do remontu, brak jest miejsc parkingowych, samochody parkują częściowo na ulicach, częściowo na chodnikach, co utrudnia przemieszczanie się osób pieszych jak i zmotoryzowanych.

Jednak cała gmina Brusy może poszczycić się bogatą historią, pięknymi krajobrazami i ogromnym potencjałem rozwoju. Nie bez przyczyny na obszarze gminy znajduję się aż osiem form ochrony przyrody. Jedną z form ochrony przyrody w gminie Brusy jest Park Narodowy Bory Tucholskie, gdzie ochroną objęte są charakterystyczne lasy sosnowe oraz liczne, często płytkie, jeziora rynnowe, charakterystyczne dla Kaszub (w omawianej gminie jest 15 zbiorników, spośród których największe to jeziora: Dybrzyk, Łąckie i Kosobudno). Powierzchnia Parku w gminie wynosi ponad 6 km2, zaś 12 rezerwatów przyrody stanowią głównie zarastające jeziora oraz pobliskie torfowiska (Ryc.1). Ponadto rezerwaty w gminie mają na celu ochronę cennych porostów i rzadkich roślin wodnych, a także obszarów borów bagiennych. Użytki ekologiczne to nic innego, jak ochrona różnorodności biologicznej występujące na terenie gminy. Bory, porosty, jeziora, torfowiska i wiele innych pozostałości ekosystemów zasługuje na specjalne potraktowanie, jakim jest nadanie im tytułu rezerwatu, a co za tym idzie specjalnej formy ochrony.



Ryc.1. Formy ochrony przyrody w gminie Brusy (na podstawie danych GDOŚ - dostęp 19.05.2019 r.)

Zaborski Park Krajobrazowy powstał w 1990 roku w celu ochrony i popularyzacji dziedzictwa przyrodniczego, kulturowego i krajobrazu północno-zachodniej części Borów Tucholskich. Ze względu na walory krajobrazowe i przyrodnicze wydzielone zostały tu również obszary chronionego krajobrazu, w których skład wchodzą Krajobraz Chojnicko-Tucholski oraz „Północny"- część zachodnia. Obszar Natura 2000 został utworzony w celu ochrony siedlisk. Objęcie ochroną niektórych gatunków zwierząt i roślin często okazuje się być sprawą kluczową w szansach na przetrwanie danych osobników w określonym miejscu. Na terenie borów doszło do wyginięcia głuszca, co jest ogromną stratą dla obszaru i z tego powodu przywiązuje się dużą wagę do ochrony siedlisk ptaków na tym obszarze. W gminie takie obszary zajmują 23 km2.W województwie pomorskim jest ponad 2800 pomników przyrody, z czego aż 150 znajduję

się w gminie Brusy. W skład pomników w chodzi 145 drzew i 5 głazów narzutowych (Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, 2019). Jeżeli chodzi o korytarze ekologiczne, to zajmują one sporą część gminy z wyjątkiem jej centralnej części, ich powierzchnia wynosi około 350 km2. Taka forma ochrony stanowi szlaki wędrowne dla różnych gatunków, a także roślin.

Podsumowując przedstawione opinie dotyczące stanu faktycznego użytkowania terenu Brusy można uznać, że jest to miejsce zielone, tętniące życiem przyrodniczym. Określenie „szare" jest zupełnie niepasującym przymiotnikiem określającym tę gminę. Każdy zakątek wyróżnia się niesamowitym pięknem. Wszyscy mieszkańcy są świadomi wielkiego potencjału gminy i wiem, że kiedyś zostanie doceniony w większej skali, będzie miejscem, do którego każdy będzie chciał powrócić. Posiadanie coraz większej wiedzy ekologicznej, przyrodniczej i estetycznej przez mieszkańców prowadzi gminę w dobrym kierunku rozwoju.

Literatura

Gmina Brusy 1997. *Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Brusy*, Chojnice.

Świtalska K., 2014. *Dwie twarze niskiej emisji*, Poznań.

Krajobraz i Środowisko: Serwis urzędu powiatu (online), powiat Chojnicki, http://www.powiat.chojnice.pl [dostęp 18.05.2019].

Park Narodowy Bory Tucholskie: Serwis parku (online), www.pnbt.com.pl [dostęp 18.05.2019]

Zaborski Park Krajobrazowy: Serwis parku (online), zaborskipark.pl [dostęp 18.05.2019]

Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska: oficjalna strona (online), www.gdos.gov.pl/dane-i-metadane [dostęp 10.05.2019],

Notatka o Autorze

Studentka drugiego roku geografii, urodzona na Kaszubach, mieszka w małej miejscowości dlatego darzy ogromnym szacunkiem środowisko. Jej hobby to jazda rowerem, biwakowanie i prace w ogródku.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 55-57 ISSN 2451-1862

QGIS versus ArcMap, porównanie narzędzi interpolacji

Kinga Stolczyk

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii

lubiegranite@o2.pl

Tutor: mgr Alicja Olszewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Geografii, Katedra Hydrologii

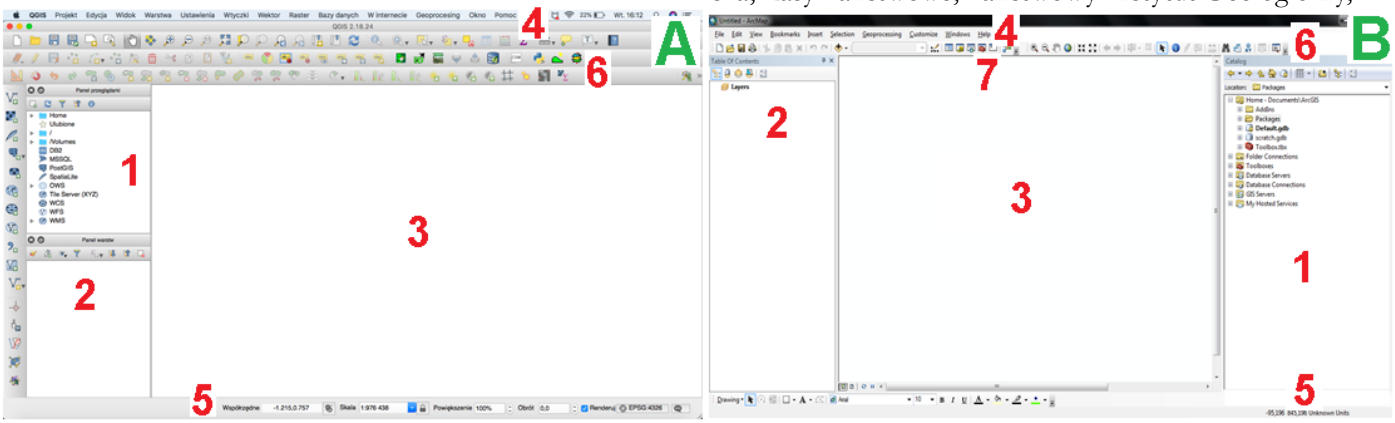
Słowa kluczowe – *QGIS, ArcGIS, interpolacja, GIS*

Wstęp

GIS, czyli inaczej System Informacji Geograficznej (lub system informacji przestrzennej) to system pozyskiwania, gromadzenia, weryfikowania, integrowania, analizowania, transferowania i udostępniania danych przestrzennych. W szerokim rozumieniu obejmuje on metody, środki techniczne, w tym sprzęt i oprogramowanie, bazę danych przestrzennych, organizacje, zasoby finansowe oraz ludzi zainteresowanych jego funkcjonowaniem (Gaździcki, 2001).

W niniejszej publikacji skupiono się na porównaniu wybranych narzędzi w programach gisowych, jakimi są QGIS 2.18.24 oraz ArcMap 10.4. Oba programy mają duże zasoby narzędzi np.: analizy, geometrii. Jednak w tej publikacji skupiono się na zestawieniu narzędzia interpolacji, a za wyznacznik, który decydował o przewadze jednego programu nad drugim ustalono łatwość dostępu narzędzi.

Interpolacja przestrzenna to procedura szacowania wartości cechy w nie opróbowanych punktach na obszarze objętym istniejącymi pomiarami (Waters, 1989).



Ryc. 1. Okno główne: A - QGIS; B - ArcMap
Objaśnienia: 1 - QGIS- Panel przeglądarki, ArcMap- ArcCatalog; 2 - QGIS- Panel warstw, ArcMap- Tabela zawartości; 3 - W obu programach- Okno mapy; 4 - W obu programach- Menu; 5 - W obu programach- Współrzędne; 6 - W obu programach- Paski narzędzi; 7 - ArcMap- ToolBox.

Interfejs programów

Oba programy posiadają podobny rozkład zawartości w oknie głównym (Ryc.1). W programie QGIS pasek menu zawiera sygnatury zamiast tekstu, dzięki czemu można działać w nim intuicyjnie. ArcMap, oferuje nam pomoc w postaci ToolBox, gdzie dzięki wyszukiwarce możemy znaleźć potrzebne nam narzędzie, jednak jedynie przy użyciu nazwy bądź funkcji narzędzia. Natomiast w QGIS, aby użyć konkretnego narzędzia musimy znać ścieżkę do tego narzędzia, wiedzieć, czego szukamy i przede wszystkim, gdzie tego szukać, nie wystarczy znajomość nazwy czy funkcji. Dodam, iż aplikacja QGIS jest dostępna w języku polskim, natomiast ArcMap w języku angielskim, ale istnieje nakładka z częściowo przetłumaczonym programem na język polski. Interfejs programów różni się w zależności od posiadanej wersji oprogramowania i dodatkowo możemy dowolnie konfigurować zawartość okna głównego oraz zawartości wyświetlanej w pasku narzędzi.

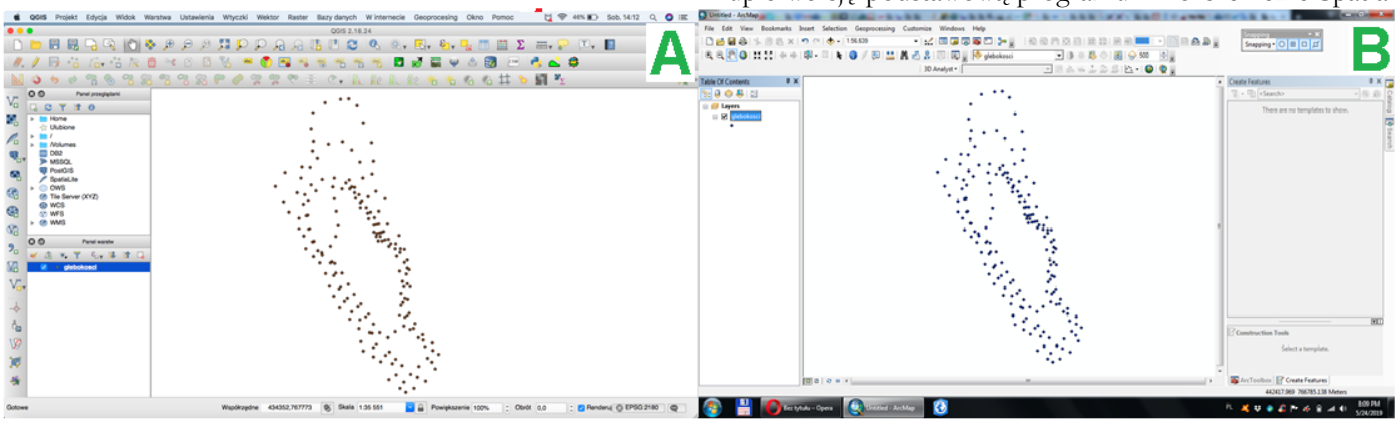
Gdzie znaleźć dane?

Dane do omawianych programów możemy pozyskać (na wniosek lub po dokonaniu darmowej rejestracji konta na serwerze, z którego korzysta dana instytucja) w formatach m.in. Shapefile, GeoTIFF, WMS, WMTS, csv, txt na stronach internetowych instytucji, takich jak: Urząd Morski w Gdyni, Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska, Lasy Państwowe, Państwowy Instytut Geologiczny, Główny Urząd Statystyczny, DanePubliczne.gov.pl, urzędy niektórych miast, OpenStreetMap, Europejska Agencja

Środowiskowa EEA, Copernicus, Sentinel oraz ze stron internetowych: https://gis-support.pl/, naturalearthdata.com, gdex.cr.usgs.gov/gdex, mapcruzin.com, geoportal.gov.pl, earth.esa.int/EOLi/EOLi.html, data.geocomm.com/catalog. Dane posiadają różną rozdzielczość, ponieważ generowane są dla map w różnej skali. Dane dla Europy tworzone są w skali nawet 1:50 000, przy czym rozdzielczość ta jest wystarczająca również w skali lokalnej, a bardzo dobra dla skali kraju.

Interpolacja

ArcMap oferuje nam zdecydowanie więcej metod interpolacji: IDW, Kriging, Natural Neighbor, Spline, Spline With Barriers, Topo to Raster, Topo to Raster by File, Trend, a w rozszerzeniu Spatial Analyst dodatkowo: Diffusion Interpolation With Barriers, EBK Regression Prediction, Empirical Bayesian Kriging, Empirical Bayesian Kriging 3D, Global Polynominal Interpolation, Kernel Interpolation With Barriers, Local Polynominal Intyerpolation, Moving Window Kriging oraz Radial Basis Functions, kiedy w QGIS mamy możliwość skorzystania jedynie z interpolacji metodą DW oraz TIN. Natomiast dzięki wtyczkom możemy skorzystać z innych metod interpolacji, niestety ich instalacja jest dodatkowym utrudnieniem. Jednak może to właśnie te rodzaje interpolacji są najbardziej uniwersalne? Warto w tym miejscu dodać, że ArcGIS, posiada również dodatkowe opcje przy zapisywaniu. Sposób tworzenia interpolacji, w każdym z programów jest podobny (Ryc. 2 i 3). Interpolacje w ArcMap tworzy się za pomocą następującej ścieżki Geoprocessing -> ArcToolbox -> Spatial Analyst Tools -> Interpolation -> wybór konkretnej interpolacji. Natomiast w QGIS:



Ryc. 2. Warstwa punktowa stanowiąca dane wejściowe do przeprowadzenia interpolacji (A –QGIS, B –ArcMap)

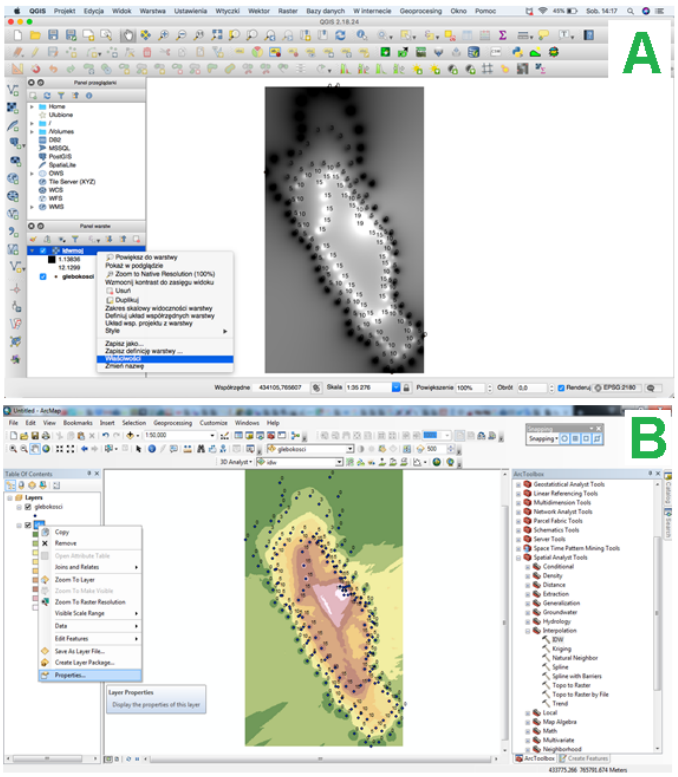
Raster -> Interpolacja -> Interpolacja.

W obu programach można zmienić sposób wyświetlania danych, kolor, liczbę klas, wartość maksymalną i minimalną poprzez zmianę właściwości wyświetlanych warstw (rastrów wynikowych), co przedstawia rycina 4.

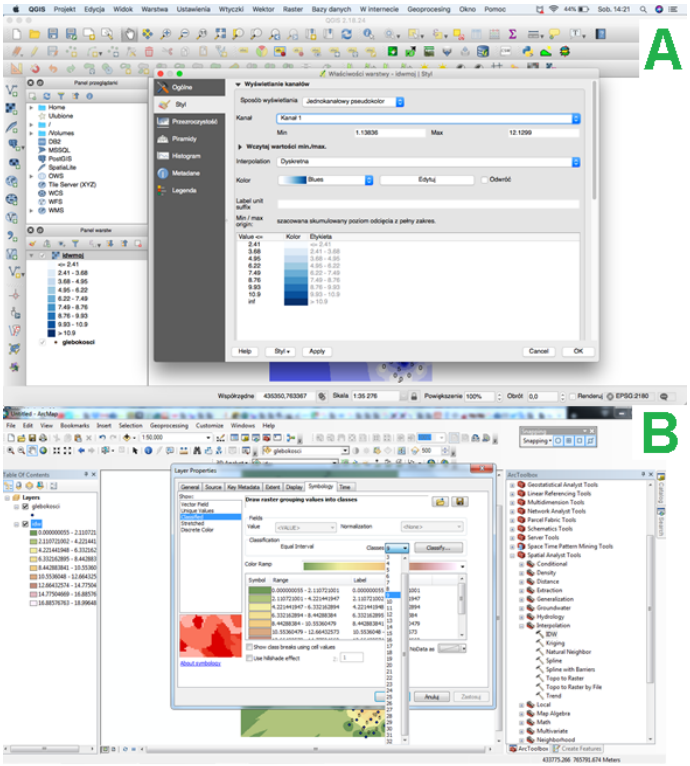
Każdy z omawianych programów ma wiele zalet. QGIS jest łatwy w obsłudze, ponieważ w menu komendy są opisane sygnaturami np. do tworzenia nowej warstwy, dodatkowo przetwarza dane szybciej niż konkurencyjny program, natomiast ArcMap ma bardziej rozwinięte narzędzia służące do analizy przestrzennej oraz wiele zaawansowanych funkcji, których nie zawiera oprogramowanie QGIS. Ponadto warty podkreślenia jest fakt, iż ArcMap ma znacznie więcej możliwości np. mamy szerszy wachlarz narzędzi do wyboru. Narzędzia obu programów są podobne do siebie. W ArcMap przeszkodą dla niektórych użytkowników może być to, że aplikacja nie występuje w polskiej wersji językowej. Mimo tego, iż programy różnią się interfejsem, każdy z nich posiada odpowiadającą sobie funkcję, dlatego też możemy robić te same zadania w każdym z nich i to do nas należy decyzja, które oprogramowanie wybierzemy. Opcje etykietowania prezentują się tak samo w obu programach. Podczas pracy w ArcMap, bardzo zaciekawił mnie panel ToolBox, dzięki któremu możemy poradzić sobie z każdą napotkaną przeszkodą, ponieważ jest to swego rodzaju pomoc przy wyszukiwaniu narzędzi, których chcemy użyć, oprócz tego, że ToolBox podpowie nam gdzie szukać wybranego narzędzia, otrzymamy również krótki opis, co możemy dzięki niemu wykonać.

Proces interpolacji przebiega podobnie w obu programach, z tym że w ArcMap od razu wybiera się wykorzystywaną metodę interpolacji, a w QGIS wyboru tego dokonuje się już w oknie narzędzia interpolacji. Otrzymane warstwy wynikowe są bardzo podobne, jednak w ArcMap jest ona bardziej wygładzona. W QGIS zasięg koloru jest w pobliżu interpolowanych punktów, a w ArcMap powstały obraz tworzy spójną całość. Wynika to z tego, że w QGIS barwy przypisane są w sposób klasowy, a w ArcGIS w ciągły. Jednak nie wpływa to na metody interpolacji.

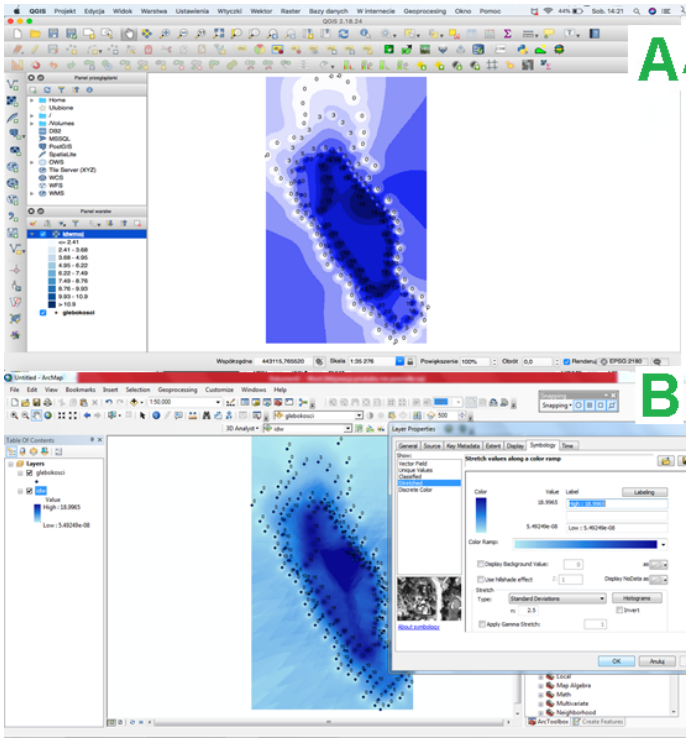
Największą zaletą QGIS jest to, że jest to darmowe oprogramowanie, a oferuje podobną funkcjonalność jak ArcGIS, jednak po zainstalowaniu odpowiednich wtyczek. W przypadku wykonywania interpolacji w ArcGIS trzeba kupić wersję podstawową programu + rozszerzenie Spatial Analyst (licencja komercyjna to koszt kilkudziesięciu tysięcy złotych), a QGIS wystarczy pobrać z sieci. ArcGIS preferowany jest dla firm - oferuje duże wsparcie, ma większy wybór funkcji i mapy wyglądają lepiej, bez dużej ingerencji w symbolizację.



Ryc. 3. Tworzenie interpolacji IDW: A - QGIS; B – ArcMap
Objaśnienia: 1 -W obu programach- Warstwa wejściowa, którą stanowi warstwa punktowa (warstwa shapefile) z tabelą atrybutów; 2 - QGIS- Atrybut do interpolacji, ArcMap- Z value field; 3* - W programie QGIS należy zatwierdzić poprzez Dodaj; 4* - W programie QGIS dopiero na tym etapie jest możliwość wyboru interpolacji: TIN lub IDW; 5 - W obu programach- Warstwa wyjściowa, czyli jak zostanie ona nazwana i gdzie zapisana. Plik wyjściowy zapisuje się w formacie rastra, który można odpowiednio wyświetlać; 6 - W obu programach- dane dotyczące kolumn, ich rozmiaru i liczby



Ryc. 4. Zmiany właściwości rastra, będącego wynikiem interpolacji: A – QGIS, B ArcMap



Ryc.5. Wynik interpolacji IDW: A – QGIS, B ArcMap
Podsumowanie

Literatura

Szczepanek R., 2017, *Systemy informacji przestrzennej z QGIS część I i II*, Politechnika Krakowska.

Piechota A., Szypuła B., 2014, *Podstawy pracy z oprogramowaniem GIS*, Uniwersytet Śląski.

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 58-63 ISSN 2451-1862

Szóste wymieranie

Agata Kowalewska
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
agata.kowalewska96@interia.pl

Tutor: dr Ewa Szymczak
Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii, Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – *masowe wymieranie organizmów, wymieranie tła, zmiany klimatu, antropocen*

Wstęp

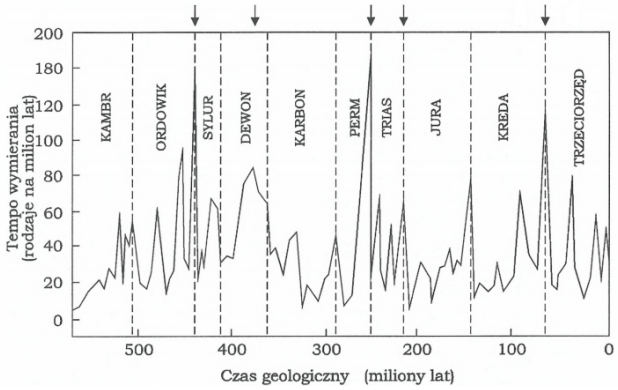
Żaden gatunek nie jest wieczny. Jeden pojawia się, inny bezpowrotnie ginie. Przyjmuje się, że to proces całkowicie naturalny. Czasem jednak gatunki zaczynają nagle i masowo wymierać, co wywołane jest np. przez gwałtowne zmiany klimatu, wielkie kataklizmy. Większość naukowców uważa, że w historii Ziemi miało miejsce pięć wielkich wymierań. To właśnie podczas nich wyginęły m.in. trylobity i dinozaury. Tymczasem od kilkudziesięciu lat znów obserwuje się podwyższone tempo wymierania gatunków (Ceballos i in., 2015). Wśród specjalistów trwają dyskusje dotyczące oszacowania tempa, prawdopodobnie jest to przynajmniej kilka tysięcy rocznie. W związku z tym niektórzy z nich zastanawiają się czy świat nie jest na progu szóstego masowego wymierania.

Wymierania w historii Ziemi

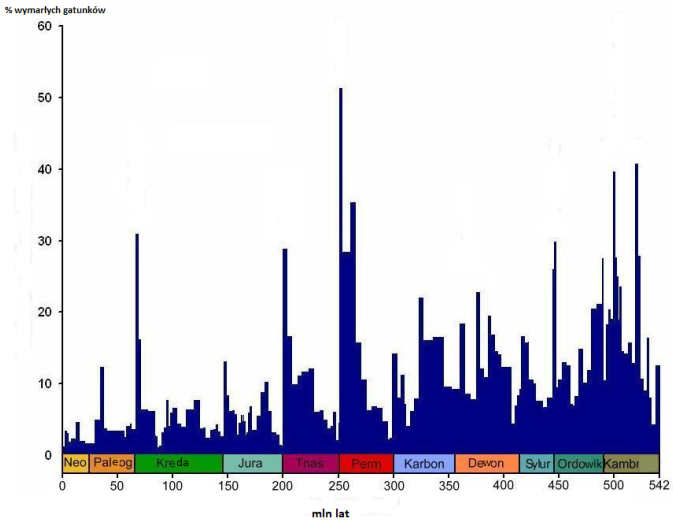
Terminem „masowe wymieranie" określa się takie wymieranie gatunków, które w skali geologicznej jest gwałtowne i ma szeroki zasięg. Przyjmuje się, że aby móc mówić o wielkim wymieraniu, powinno ono przekraczać tempo tzw. wymierania tła, czyli naturalnego i ciągłego procesu zanikania gatunków, które związane jest m.in. z selekcją naturalną, czy też powolnymi zmianami zachodzącymi w środowisku. Z reguły jest to do 20 rodzajów na milionlat. Dla porównania, podczas wymierania permskiego tempo wynosiło ponad 180 rodzajów na milion lat (Peryt, 1996) (Ryc. 1). Z kolei na poziomie gatunkowym o wielkich wymieraniach mówi się, gdy w danym epizodzie wymiera około ponad 20% gatunków (mineralienatlas.de) (Ryc.2).

Wymieranie ordowickie

Pierwszym wielkim wymieraniem w historii Ziemi było ordowickie, które nastąpiło w późnym ordowiku, a dokładnie hirnancie. Wymarło wówczas około 60% rodzajów i 85% gatunków. Najbardziej dotknęło ono koralowce, ramienionogi, łodzikowate, trylobity, graptolity, mszywioły i konodonty. Prawdopodobnie wywołane było gwałtownymi zmianami klimatu. W tym czasie nastąpiło istotne ochłodzenie klimatyczne, które spowodowało zlodowacenie Gondwany, a w konsekwencji obniżenie poziomu morza (Clarkson, 2007). W drugim etapie wraz z deglacjacją Gondwany wskutek wzrostu temperatury nastąpiło podniesienie poziomu morza (Stanley, 2002). Możliwe także, że do wymierania ordowickiego przyczynił się wybuch supernowej albo rozbłysk gamma, który zniszczył warstwę ozonową (nasa.gov).



Ryc. 1. Tempo wymierania organizmów w czasie geologicznym (Peryt, 1996)



Ryc. 2. Wymieranie gatunków (%) (mineralienatlas.de dostęp: 25.07.2019)

Wymieranie dewońskie

Kolejne wielkie wymieranie nastąpiło w późnym dewonie na granicy fanu i famenu. Wyginęło wówczas około 40% ro-

dzajów (Stanley, 2002) i około 80% gatunków m.in. 75% rodzajów ramienionogów (Clarkson, 2007). Prawie całkowicie wymarły stromatoporoidy – rafotwórcze gąbki, powszechne w dewonie. Dotknęło ono także sporą część koralowców, trylobitów, amonitowatych i akritarchów. Wśród kręgowców częściowo wymarło wiele grup tzw. ryb, wśród nich ryby plakodermowe i akantody należące do szczękowców. Całkowicie zanikło wiele grup prymitywnych bezszczękowców, wśród nich anapsydy, telodonty i pteraspidomorfy (Ginter, 2012). Za główną przyczynę uważa się epizody anoksyczne w głębokich częściach oceanów, utrwalone w warstwach Kellwasser. Wymieranie dotknęło również faunę płytszych stref mórz, czego prawdopodobną przyczyną było ochłodzenie wód, a skutkiem zanik powszechnych w dewonie struktur rafowych (Stanley, 2002). Niektórzy naukowcy wskazują także na wpływ uderzenia meteorytu przed kryzysem Kellwasser (pierwszy epizod wymierania dewońskiego, związany m.in. z anoksją, nazwa pochodzi od warstw Kellwasser tworzących się w okresie wysokiego poziomu morza na granicy franu i famenu (Clarkson, 2007).

Wymieranie permskie

Trzecie masowe wymieranie miało miejsce na przełomie paleozoiku i mezozoiku, pod koniec permu. Określane jest jako największe w historii Ziemi. Obecnie dzieli się ono na dwa epizody, które łącznie spowodowały śmierć około 80% rodzajów i 90% gatunków fauny bezkręgowej i kręgowej. Wówczas wyginęły bezpowrotnie trylobity, koralowce czteropromienne, denkowce, pączkowce, fuzulinidy. Kryzys dosięgnął także małże i ślimaki, ale w znacznie mniejszym stopniu. Przetrwały tylko nieliczne amonitowate, ramienionogi, mszywioły, szkarłupnie. Wśród kręgowców redukcji uległa duża część płazów i gadów, zaś we florze część widłaków, skrzypów i paproci. Przyczyn wymierania permskiego mogło być bardzo dużo. Jedną z nich mógł być bardzo intensywny wulkanizm i duża emisja trujących gazów, o czym świadczą rozległe trapy syberyjskie. Ogromne znaczenie miały liczne kolizje paleozoicznych kontynentów, czego skutkiem było powstanie superkontynentu Pangei i zanik licznych mórz szelfowych. Inną konsekwencją ruchu płyt litosferycznych była kontynentalizacja klimatu (Stanley, 2002). W ostatnich latach coraz częściej mówi się także o upadku ciała niebieskiego (space.com). Wymierania permskiego, podobnie jak pozostałych, nie można jednak postrzegać wyłącznie negatywnie, bowiem zapoczątkowało ono pojawienie się licznych nowych linii ewolucyjnych.

Wymieranie triasowe

Następne wymieranie miało miejsce pod koniec triasu, na przełomie karniku i noryku. Dotknęło ono zarówno organizmy morskie, jak i lądowe (Clarkson, 2007). Przyjmuje się, że wyginęło w tym czasie około 50% rodzajów i 75% gatunków, w tym 80% gatunków morskich. Wśród morskich bezkręgowców byli to przede wszystkim przedstawiciele małży i amonitowatych, zaś wśród kręgowców m.in. ichtiozaury i plezjozaury. Całkowicie wyginęły konodonty i gady plakodontowe. Wśród zwierząt lądowych nie przetrwały m.in. aetozaury, fitozaury oraz rauizuchy (Stanley, 2002). Najbardziej prawdopodobną przyczyną wymierania był efekt cieplarniany spowodowany intensywną działalnością wulkaniczną, co skutkowało nagłą zmianą klimatu i rozwojem warunków beztlenowych (Clarkson, 2007).

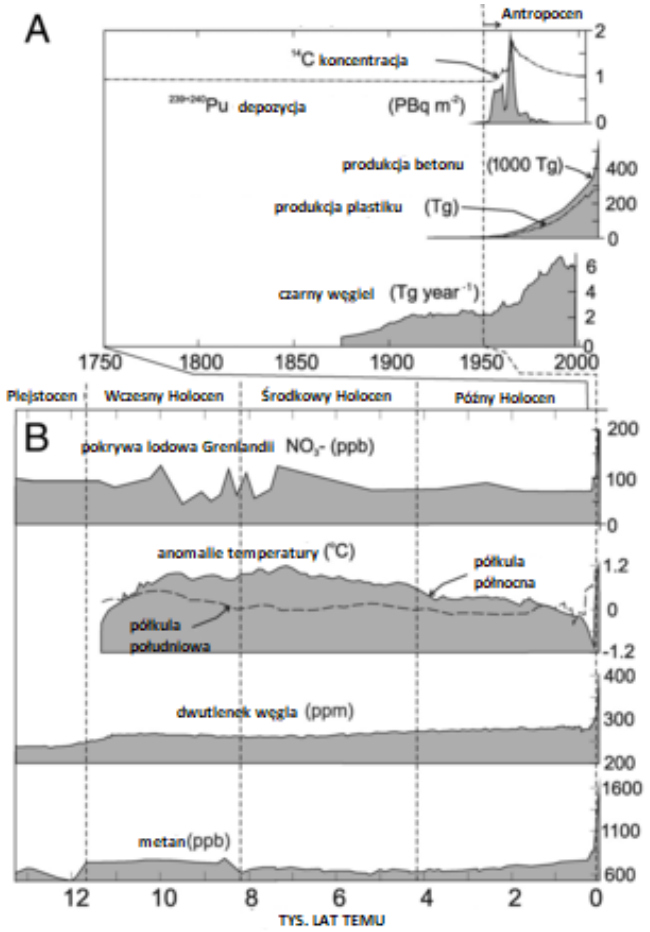
Ryc. 3. Rekonstrukcja krateru Chicxulub (astropolis.pl dostęp 12.07.2019)

Wymieranie kredowe

Co najmniej 50% rodzajów i 75% gatunków żyjących na Ziemi wyginęło podczas wielkiego wymierania kredowego. Prawdopodobnie było ono najbardziej gwałtowne. Zredukowany został zarówno świat zwierzęcy, jak i roślinny. Wśród morskich bezkręgowców całkowicie wymarły m.in. amonity i rudysty, a wśród kręgowców mozazaury i plezjozaury. Dotknięte wymieraniem zostały także ryby. Z powierzchni Ziemi zniknęło także wiele zwierząt lądowych, m.in. część owadów oraz dużo kręgowców, przede wszystkim dinozaury i część pozostałych gadów, ale również część ssaków, płazów i ptaków. Hipotez odnośnie przyczyn tej katastrofy jest bardzo wiele, ale obecnie przyjmuje się, że główny powód to zderzenie Ziemi z dużą planetoidą na granicy półwyspu Jukatan i Zatoki Meksykańskiej (Ryc. 3), które zapoczątkowało szereg kataklizmów (m.in. wielkie pożary), anomalii i zmian środowiskowych (kwaśne deszcze, ciemności, oziębienie, a następnie ocieplenie). Przedłużająca się zima uniemożliwiała fotosyntezę, a to z kolei zaburzyło łańcuchy pokarmowe (Stanley, 2002). Prawdopodobnie zderzeń z planetoidami było więcej, o czym świadczą liczne kratery podobnego wieku m.in. na Ukrainie, Morzu Północnym, Morzu Arabskim (astrobio.net). Do wymierania z pewnością przyczyniła się także wysoka aktywność wulkaniczna i wylewy lawy bazaltowej. Właśnie w tym czasie powstały trapy bazaltowe w rejonie Indii (Clarkson, 2007). Trzecią istotną przyczyną była regresja morska w mastrychcie związana z obniżoną aktywnością grzbietów oceanicznych. W jej wyniku zredukowane zostały szelfy kontynentalne, zanikły morza epikontynentalne, nastąpiło ocieplenie, a także znacznie zmieniły się siedliska (Li i Keller, 1998).

Antropocen

Zgodnie z obowiązującym podziałem geochronologicznym dziejów Ziemi żyjemy w epoce zwanej holocenem. Niemniej od kilkunastu lat trwają dyskusje nad wydzieleniem nowej epoki – antropocenu (Carey, 2016). Ma to związek z globalnymi zmianami spowodowanymi działalnością człowieka. Jednym z głównych wskaźników przemian jest wzrost zawartości dwutlenku węgla w atmosferze (Ryc. 4). Aktywność gatunku ludzkiego została także zapisana w warstwach tworzących się współcześnie osadów, czy też znacznych zmianach krajobrazu.



Ryc. 4. Zmiany związane z działalnością człowieka A – od 1750 r., B – od kilkunastu tysięcy lat

(opracowano na podstawie Carey, 2016)

Część badaczy twierdzi, że wprowadzenie antropocenu byłoby nadinterpretacją i wyolbrzymieniem wpływu człowieka na Ziemię (Carey, 2016). Kwestią sporną jest czy człowiek dokonuje globalnych zmian. Część naukowców uważa, iż antropocen to termin pasujący bardziej do jednostki kulturowej, jak np. paleolit. Problemem jest również to, że dyskusje związane z jego wprowadzeniem bardzo często nabierają charakteru typowo politycznego. Poza tym o ewentualnym antropocenie powinni raczej zdecydować geolodzy, którzy będą badać Ziemię za kilkaset lat. Kłopotów przysparza też określenie, kiedy antropocen się rozpoczął. Dolną granicą mogłaby być np. rewolucja przemysłowa w XVIII wieku albo połowa XX wieku, kiedy to nastąpił znaczny wzrost koncentracji dwutlenku węgla w atmosferze, rozpoczęła się produkcja plastiku, a także podwyższyła się średnia roczna temperatura (Carey, 2016).

Obecne wymieranie

Coraz częściej mówi się, że antropocen związany jest z szóstym wielkim wymieraniem (Bacon i Swindles, 2016). Trwają spory dotyczące terminu rozpoczęcia się tego procesu. Niektórzy są zdania, iż wymieranie paradoksalnie zaczęło się wraz z pojawieniem się człowieka (Ceballos i in., 2015). Inni twierdzą, że trwa ono dopiero od kilkudziesięciu lat (Steffan i in., 2007). Zdarzają się też opinie, iż masowy zanik gatunków nastąpi w przyszłości (kopalniawiedzy.pl). Jeszcze inni uważają, że przesadą jest porównywanie obecnej sytuacji do największych wymierań w historii Ziemi (Bacon i Swindles, 2016).

Dane

Już od XVII wieku dokumentuje się zanik dużych ssaków, ptaków i gadów. Wymarły wtedy m.in. dodo. Jeszcze więcej gatunków ssaków i ptaków zaczęło zanikać od XIX wieku. Z początkiem XX wieku ginie również wiele gatunków płazów i ryb. Nie ulega wątpliwości, że tempo wymierania jest wyższe niż tła, które powinno wynosić 0,1-1 gatunków na milion żyjących gatunków na rok (oznaczane jako E/MSY – wymarłe gatunki/milion istniejących gatunków rocznie). Normy te są jednak różne dla poszczególnych gromad, toteż często zwiększa się dopuszczalne wymieranie tła do 2 E/MSY. Obecnie wymiera od 8 do nawet 100 razy więcej gatunków niż powyższa norma (Ceballos i in., 2015)

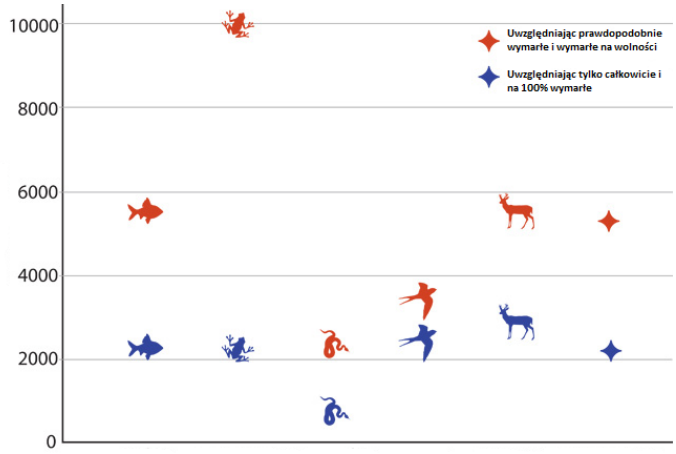
Od 1900 roku wyginęło prawie 200 gatunków kręgowców, z czego najwięcej ryb, bowiem aż 66 (Tab. 1). Niewiele niższy wynik dotyczy ptaków – 57 gatunków. Dla porównania, od 1500 roku z powierzchni Ziemi zniknęło 338 gatunków kręgowców, a wśród nich 140 gatunków ptaków. Gdyby jednak wziąć pod uwagę także gatunki, których nie ma już na wolności oraz te, które prawdopodobnie wyginęły, byłoby ich od 1900 roku 477 gatunków z czego aż 158 stanowią ryby, a 146 płazy. Z kolei od 1500 roku wyginęło 617 gatunków. Wyższe tempo wymierania płazów i ryb jest obserwowane od początku XX wieku. Wśród płazów, które liczą około 7300 gatunków, ponad 100 wyginęło zaledwie od 1980 roku (Ceballos i in., 2015), m.in. ropucha złota. W ostatnich latach pożegnaliśmy także żółwia olbrzymiego z Pinty (Ryc. 5), koziorożca europejskiego, nosorożca czarnego zachodniego (iucnredlist.org).

Ryc. 5. Żółw olbrzymi z Pinty (wikipedia.org dostęp 12.07.2019)

Gdyby miało miejsce naturalne wymieranie tła wynoszące 2 E/MSY to od 1900 roku powinno wyginąć tylko 9 gatunków kręgowców. Gatunki, które wymarły w ubiegłym wieku wymierałyby przynajmniej przez 800, a nawet 10 000 lat (ryc. 6). Problemem w szacunkach jest przede wszystkim to, iż nie znamy dokładnej liczby istniejących gatunków na Ziemi. Możliwe także, że wiele zwierząt zdążyło wyginąć zanim je odkryliśmy (Ceballos i in., 2015). Porównywanie do dawnych wymierań również jest problematyczne, ponieważ nie jesteśmy w stanie określić jaka dokładnie część organizmów podczas nich zanikła, gdyż nie wszystkie mogły zachować się w formie skamieniałości. W zapisie kopalnym znajdowane są przede wszystkim te, które miały duży potencjał fosylizacyjny oraz występowały dość licznie i charakteryzowało je znaczne rozprzestrzenienie.

Tab. 1 Liczba wymarłych gatunków poszczególnych grup zwierząt (opracowano na podstawie Ceballos i in., 2015)

	Gatunki wymarłe		Gatunki wymarłe oraz prawdopodobnie wymarłe i wymarłe na wolności	
	Od 1500 r.	Od 1900 r.	Od 1500 r.	Od 1900 r.
Kręgowce	338	198	617	477
Ssaki	77	35	111	69
Ptaki	140	57	163	80
Gady	21	8	37	24
Płazy	34	32	148	146
Ryby	66	66	158	158

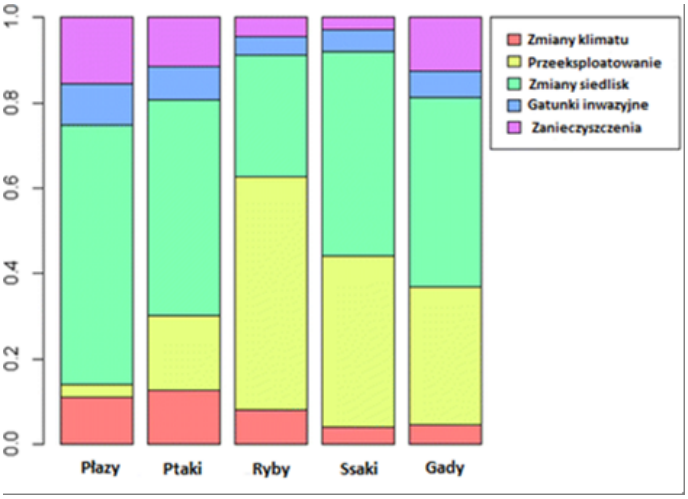


Ryc. 6. Czas potrzebny do wyginięcia gatunków wymarłych w ubiegłym wieku, gdyby uwzględniać wymieranie tła 2 E/MSY (opracowano na podstawie Ceballos i in., 2015)

Niepokojem napawają przewidywania naukowców. Przyjmuje się, że w ciągu 1000 lat może wyginąć połowa gatunków ssaków. Jeśli te, które są zagrożone, faktycznie będą ginęły, masowe wymieranie nawet jeżeli jeszcze się nie zaczęło, to może nastąpić już za kilka stuleci (kopalniawiedzy.pl). Bardzo narażone są gatunki występujące w lasach tropikalnych. Ginie ich nawet 10% na dekadę. Z kolei globalne ocieplenie dziesiątkuje faunę arktyczną. W niebezpieczeństwie są m.in. niedźwiedzie polarne (ziemianarozdrozu.pl). Jeśli wziąć pod uwagę duże grupy taksonomiczne występujące na całym świecie to Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody za najbardziej zagrożone uznała płazy, które tracą swoje siedliska, a oprócz tego są wrażliwe na zanieczyszczenia, promieniowanie oraz zmiany temperatur. Obecnie 40% gatunków płazów jest na czerwonej liście m.in. abystoma meksykańska, żaba gigant, salamandra olbrzymia chińska (iucnredlist.org). Problem dotyczy również bezkręgowców. Przyjmuje się, że w najbliższym czasie wyginąć może około 40% gatunków owadów. Szczególny spadek zaobserwowano wśród motyli, pszczół, a także owadów wodnych, które potrzebują czystych zbiorników. Dla owadów niebezpieczne są też pestycydy, gatunki inwazyjne, pasożyty, choroby oraz niszczenie siedlisk, m.in. wycinanie lasów (Bayo i Wyckhuys, 2019). Zagrożone mogą być również rafy koralowe, którym nie służą zmiany klimatu. Wysoka temperatura prowadzi do zaburzenia symbiozy z glonami, a w efekcie do bielenia koralowców (ziemianarozdrozu.pl).

Przyczyny

Przyjmuje się, że główną przyczyną współczesnego wymierania gatunków jest antropopresja. Wiele grup współczesnych organizmów nie jest w stanie przystosować się do nagłych zmian wywołanych działalnością człowieka, a także wszechobecnymi zanieczyszczeniami (nawozy sztuczne, plastik, gazy związane z industrializacją, odpady elektroniczne, jednorazowe opakowania itd.. Wyliczono, że zmiany ewolucyjne potrzebują około 25 pokoleń aby mogły w pełni się rozwinąć (Pelletier i Coltman, 2018), ale jest to duże uogólnienie, gdyż organizmy tachyteliczne ewoluują w tempie kilku milionów lat, horoteliczne 10 razy wolniej, a bradyteliczne 100 razy wolniej (Clarkson, 2007).



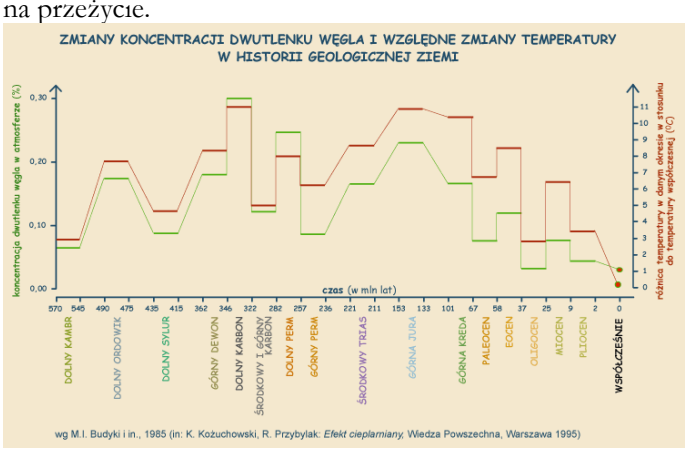
Ryc. 7. Pięć głównych przyczyn współczesnego wymierania i ich wpływ na poszczególne grupy zwierząt (opracowano na podstawie Pelletier i Coltman, 2016)

Wyróżnia się pięć głównych przyczyn szóstego wymierania (Ryc. 7). Należą do nich nadmierna eksploatacja (polowania, rybołówstwo itp.), niszczenie naturalnych siedlisk (m.in. wycinanie lasów, zaburzanie naturalnych wędrówek zwierząt przez np. budowę autostrad), zmiany klimatu (przesuwanie się stref biogeograficznych, inny okres wegetacji roślin), zanieczyszczenia oraz obecność gatunków inwazyjnych. Zdaniem Pelletiera i Coltmana (2018) największe znaczenie mają dwie pierwsze przyczyny, ale można zauważyć różnice wśród poszczególnych grup taksonomicznych. Nadmierna eksploatacja szczególnie dotyka ryb, ssaków i gadów, a w niewielkim stopniu płazów. Zmiany związane z siedliskami są dotkliwe praktycznie dla wszystkich rozpatrywanych grup, w mniejszym stopniu dla ryb. Zanieczyszczenia są problemem przede wszystkim dla płazów, gadów i ptaków. Zmiany klimatu najbardziej odczuwają ptaki i płazy, z kolei gatunki inwazyjne najbardziej zagrażają płazom, a najmniej rybom (Pelletier i Coltman, 2018). Niektórzy naukowcy sugerują jednak, że obecnie rozróżnienie między gatunkami rodzimymi a inwazyjnymi jest trudne. Nie wiadomo czy osobniki, które zmieniają siedliska na skutek zmian klimatu lub niszczenia ich rodzimych siedlisk są inwazyjne. Trzeba zatem zdecydować, czy o inwazyjności decyduje konkretny obszar, czy też warunki i rodzaj siedliska, w którym dany gatunek żyje (Hill i Hadly, 2018).

Dyskusja

Do tej pory naukowcy nie potrafią dojść do wspólnego stanowiska w kwestii szóstego wymierania. Przeciwnicy kolejnego wymierania twierdzą, iż nie wymarło więcej niż 35% gatunków, a podczas wielkich wymierań ginęło ponad 70%. Inni z kolei twierdzą, że tempo stale rośnie, a czas obecnego wymierania jest bardzo ograniczony. Wcześniej takie epizody trwały miliony lat, a obecny zauważalny jest już w przeciągu kilkudziesięciu lat (Bacon i Swindles, 2016).

Sporna jest także rola człowieka w procesie współczesnego wymierania. Nie ulega wątpliwości, że bardzo ingeruje on w naturę i w krótkim czasie modyfikuje krajobraz i niszczy siedliska m.in. poprzez wycinanie lasów, budowanie autostrad, osiedli, wprowadza nowe substancje, zanieczyszcza wodę, powietrze, glebę, wyjaławia ją, generuje hałas, niszczy szatę roślinną itd. Roślinom i zwierzętom nie sprzyja turystyka, urbanizacja, a nawet rolnictwo i hodowla zwierząt. Trudno jednak stwierdzić czy organizmy zdołają przystosować się do tych zmian. Dla przykładu, wykazano, iż ryby mają stosunkowo dużą zdolność adaptacji do różnego rodzaju zanieczyszczeń. Mikroewolucję jest bardzo trudno badać i poza tym wymaga to czasu. Nie można zatem już dziś stwierdzić, że większość gatunków wyginie, bo nie zdąży przystosować się do zmian (Pelletier, 2018). Bez wątpienia jednak w gorszej sytuacji są gatunki bardzo wyspecjalizowane. Te o szerszej tolerancji np. termicznej mają większe szanse na przeżycie.



Ryc. 8. Zmiany koncentracji dwutlenku węgla i względne zmiany temperatury w historii geologicznej Ziemi (museum.pgi.gov.pl dostęp 12.07.2019)

Problemem jest również to, iż trwają spory dotyczące stopnia ocieplenia klimatu. Badania wykazały, że od 1880 roku dwutlenek węgla w atmosferze wzrósł o 130 ppm, a temperatura o 1° (Bacon i Swindles, 2016). Dla porównania, podczas wymierania permskiego dwutlenek węgla wzrósł o 2000 ppm, temperatura o 8°. Z kolei wymieranie triasowe charakteryzowało się wzrostem dwutlenku węgla o 1500 ppm i wzrostem temperatury o 4° (Bacon i Swindles, 2016). Były to wartości znacznie wyższe niż obecnie (Ryc. 8). Współcześnie jeszcze nie zaobserwowano takiego wzrostu, ale nie jest on wykluczony, bowiem temperatura na Ziemi ma tendencję rosnącą. Szacuje się, że tempo ocieplania wzrasta do 0,5° na dekadę. Poza tym dane te różnią się w zależności od źródeł. Pytanie także czy wyłącznie człowiek jest przyczyną ocieplenia klimatu. Wpływ na zmiany może mieć chociażby aktywność słoneczna.

Podsumowanie

Bez wątpienia w ostatnich kilkudziesięciu latach tempo wymierania gatunków jest bardzo duże. Wydaje się jednak, że proces ten jest obserwowany w zbyt krótkim odcinku czasu, aby mówić o szóstym wielkim wymieraniu. Można za to uznać, że stanowi zagrożenie, szczególnie biorąc pod uwagę tempo zachodzących zmian. Warto mieć świadomość tego, że jesteśmy w stanie spowolnić ten proces. Różnorodne formy ochrony przyrody pozwalają ratować zagrożone gatunki. Ogrody zoologiczne starają się zwiększać populacje tych zwierząt, które są na skraju wyginięcia. Poza tym inwestowanie w ekologiczne rozwiązania spowoduje mniejszy stopień zanieczyszczeń, mniejszą ingerencję w naturalne siedliska itp. Człowiek nie powinien być obojętny na ginięcie gatunków, bowiem kiedyś może się okazać, że zagrożony jest również on.

Literatura

Bacon, K., Swindles, G. T., 2016, Could a potential Anthropocene mass extinction define a new geological period?, *Anthropocene Review*, 3 (3), 208-217.

Bayo, F., Wyckhuys, K., 2019, Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers, *Biological Conservation*, vol. 232, 8-27.

Carey, J., 2016, Are we in the „Anthropocene"?, *PNAS*, vol. 113, no. 15, 3908-3909.

Ceballos, G., Ehrlich, P., Barnosky, A., Garcia, A., Pringle, M., Palmer, T., 2015, Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction, *Science Advances* 1 (5).

Clarkson, E. N. K., 2007, *Invertebrate Palaeontology and Evolution*, Blackwell Science.

Ginter, M., 2012, *Ryby kopalne,* Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego

Hill, A. P., Hadly, E. A., 2018, Rethinking „Native" in the Anthropocene, *Frontiers in Earth Science,* vol. 6 (2018)

Li, L., Keller, G., 1998, Abrupt deep-sea warming at the end of the Cretaceous, *Geology*, vol. 26, no. 11, 995-998.

Pelletier, F., Coltman, D. W., 2018, Will human influences on evolutionary dynamics in the wild pervade the Anthropocene?, *BMC Biology*, (2018) 16:7.

Peryt, D., 1996, Wielkie wymierania we fanerozoiku, *Kosmos*, 45 (4), 769-781.

Stanley, S. M., 2002, *Historia Ziemi*, Warszawa.

Steffan, W., Crutzen, P., McNeill, J., 2007, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the 335 Great Forces of Nature, *A Journal of the Human Environment* 36(8), 614-621.

https://www.astrobio.net/meteoritescomets-and-asteroids/multiple-impacts/ (dostęp 25.07.2019)

https://www.nasa.gov/vision/universe/starsgalaxies/gammaray_extinction.html (dostęp 12.07.2019)

https://www.space.com/2452-giant-crater-tied-worst-mass-extinction.html (dostęp 12.07.2019)

https://www.iucnredlist.org/ (dostęp 12.07.2019)

https://kopalniawiedzy.pl/masowe-wymieranie-gatunkow-Ziemia-Anthony-Barnosky,12635 (dostęp 12.07.2019)

https://ziemianarozdrozu.pl/encyklopedia/96/masowe-wymieranie-gatunkow (dostęp 12.07.2019)

https://www.mineralienatlas.de/ (dostęp 25.07.2019)

Notatka o Autorze

Absolwentka geologii, zainteresowana przede wszystkim paleontologią oraz procesami endogenicznymi Ziemi. W wolnych chwilach czyta książki i próbuje pisać własne teksty. Chętnie podróżuje, szczególnie w polskie góry..

Tutoring Gedanensis

Tutoring Gedanensis 4(2)/2019 64-70 ISSN 2451-1862

System wartości *homo sovieticus*. O *Czasach secondhand* Swietłany Aleksijewicz

Agnieszka Możejko
Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny, Instytut Filologii Polskiej
mozejko2211@gmai.com

Tutor: dr hab. Magdalena Horodecka profesor Uniwersytetu Gdańskiego
Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny/Instytut Filologii Polskiej

Słowa kluczowe – *Homo sovieticus, Swietłana Aleksijewicz, Czasy secondhand, Głosy utopii, reportaż*

Dziesięć historii w czerwonym wnętrzu, fragment książki *Czasy secondhand. Koniec czerwonego człowieka* (2013) Swietłany Aleksijewicz, to seria reportaży przedstawionych w formie monologów opartych o wywiady z mieszkańcami byłego ZSRR. *Homo sovieticus* – typ człowieka stworzony przez propagandę i realia Związku Radzieckiego – ma konkretne potrzeby, aspiracje oraz wartości. Został przystosowany do życia w określonym środowisku, które przestało istnieć po przebudowie politycznej. Sposób, w jaki Aleksijewicz przedstawia bohaterów *Czasów secondhand* przy użyciu ich własnych słów, opowieści o samych sobie oraz czasach współczesnych i minionych, służy w dużej mierze uwypukleniu różnic pomiędzy systemem wartości człowieka sowieckiego a systemem wartości oferowanym przez kapitalizm.

Intencje autorskie literackiego projektu, jakim są *Czasy secondhand* zostały określone przez noblistkę w wywiadzie *Kwartet posowiecki* udzielonym Agnieszce Wójcińskiej w 2015 roku: „Staram się przekazać prawdę konkretnych ludzi i jednocześnie prawdę czasów. Ale to też moja prawda, bo to ja dokonuję selekcji" (Wójcińska, 2015). Słowem kluczowym jest selekcja, ponieważ obecność autorki w tekście przejawia się głównie w doborze i kompozycji materiału uzyskanego w trakcie wywiadów. Powstający w tekście obraz nadawcy zawsze jest pewną kreacją. W sytuacji, w której pomiędzy podmiotem wypowiedzi a czytelnikiem staje dziennikarka narratywizująca mówione opowieści, może jednak pojawić się dysonans między auto obrazem bohatera a jego tekstowym wizerunkiem.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że efekt pracy Aleksijewicz nie zawsze uzyskuje akceptację ze strony rozmówców, o czym autorka mówi otwarcie. W wywiadzie z Wójcińską czytamy o pracy nad reportażem *Wojna nie ma w sobie nic z kobiety:*

„Napisałam tę opowieść i wysłałam jej [bohaterce – A.M.] do przeczytania. Skreśliła wszystko. I, Boże drogi, przychodzi paczka, pięć grubych zeszytów, w których ona pisze o społeczno-politycznej pracy jakiejś Wiśniewskiej w moskiewskich szkołach i list ze słowami: „Tamto tylko tobie opowiedziałam, a pisać trzeba o tym". Zagrałam wtedy *vabanque*, przestałam wysyłać teksty bohaterkom i opublikowałam je tak, jak to widziałam. Książka na początku nie spodobała się moim rozmówczyniom. Pytały: „Czemu napisałaś o takich rzeczach? Że miałyśmy okres, że się bałyśmy?" A czytelnicy je przekonywali, że to jest prawda i ona jest ciekawa (Wójcińska, 2015).

W przytoczonym fragmencie Aleksijewicz deklaruje nadrzędność autorskiej wizji tekstu nad wolą interlokutorów. W świetle tego wywiadu reportaże Aleksijewicz jawią się jako autorskie wypowiedzi zbudowane ze słów innych ludzi.

Przez rekonstrukcję świata wewnętrznego i hierarchii wartości komunistów Aleksijewicz pozwala czytelnikom lepiej zrozumieć ludzi sowieckich. Dzięki ukazaniu systemu wartości oraz sposobów, w jakie był on kształtowany przez mechanizmy polityczne i propagandowe możliwe jest wywołanie u odbiorcy współczucia i pokazanie, że komuniści byli jednocześnie budowniczymi i ofiarami Związku Radzieckiego.

Homo sovieticus w ujęciu Aleksijewicz

W interpretacji *Czasów secondhand* szczególnie istotna jest kategoria homo sovieticus, którą wprowadza sama autorka we wstępie do utworu. Na gruncie polskim pojęcie to przeszło przemianę znaczeniową, na co uwagę zwraca Natalia Bloch w tekście *Między terenem a tekstem, czyli o siedmiu grzechach głównych w tworzeniu narracji o światach innych ludzi,* podając używanie etykiety *homo sovieticus* przez neoliberalnych kapitalistów jako przykład patologizacji reprezentowanego w tekście środowiska polegającej na na sprowadzeniu byłych mieszkańców PGR-ów do roli ofiar systemu, roszczeniowych i nieporadnych życiowo (Bloch, 2013). Pojęcie *homo sovieticus* może być stereotypizujące i przed takim jego użyciem ostrzega Bloch.

Aleksijewicz nie traktuje *homo sovieticus* tylko jako ofiary systemu – pokazuje ludność ZSRR jako doświadczoną komunizmem, ale przez oddanie głosu jednostkom unika stereotypu. Sama autorka identyfikuje się z terminem, co pozwala jej wydobyć od interlokutorów opowieści, który-

mi, jak twierdzą, nie podzieliliby się z kimś obcym. Jej książki, jak mówi, składają się z wypowiedzi wyjawianych przez rozmówców wyłącznie jej (Jabłońska, 2014). Nie oznacza to jednak, że utożsamia się ze wszystkimi poglądami ludzi sowieckich; czasem wprost przyznaje, że nie rozumie swoich rozmówców. Kreowany przez nią obraz *homo sovieticus* nie jest monolityczny, co czyni go bardziej wiarygodnym – człowiek sowiecki jawi się jako część grupy, ale nie zostaje pozbawiony cech indywidualnych.

Magdalena Horodecka w tekście *Monologowa forma reportażowa Swietłany Aleksijewicz* określa metodę pracy Aleksijewicz jako terapeutyczną (Horodecka, 2017). Opowiedzenie własnej historii pomaga odzyskać podmiotowość ofiarom systemu, którego działanie opierało się na instrumentalizacji człowieka. Indywidualizowanie losów ludzkich działa na przekór mechanizmom ideologicznym, którym podlegali wypowiadający się bohaterowie. Jak opisuje Horodecka, sama decyzja o zaufaniu reporterce jest sygnałem przezwyciężenia wpajanego przez system modelu komunikacji opartego na mowie propagandy i ciągłym nadzorze wywołującym nieufność.

W znanej pracy *Homo sovieticus* Józef Tischner wyróżnił trzy wartości szczególnie istotne dla człowieka sowieckiego: pracę, udział we władzy i poczucie własnej godności (Tischner, 1992). Jak wyjaśnia Tischner, praca w ustroju komunistycznym nie miała sensu produkcyjnego, lecz była narzędziem przekształcającym każdego pracownika w część kolektywu wypełniającego plan dziejowy. Człowiek stawał się własnością społeczną, ograniczał swoją wolność, ale nadawało to jego życiu znaczenie. Podobnie jak udział we władzy oraz poczucie własnej godności, ranga tak pojętej pracy wynikała z założeń ideologicznych komunizmu, takich jak podporządkowanie celów jednostki celom zbiorowości oraz wiara w szczególną rolę historyczną ludu. Pod pewnymi względami system wartości *homo sovieticus* przedstawiony przez Aleksijewicz rysuje się analogicznie jak system opisany przez Tischnera.

Komunizm i świat wartości duchowych

System polityczny ZSRR za pomocą propagandy budował u ludzi sowieckich poczucie wartości oparte o przynależność do wspólnoty, która jest w stanie sprostać największym wyzwaniom i osiągnąć rzeczy niemożliwe w żadnej innej części świata. Przekonanie o potędze państwa staje się częścią tożsamości *homo sovieticus*, negatywna ocena ZSRR staje się więc niemożliwa bez wyparcia się części samego siebie, co prowadzi do potrzeby stworzenia linii obrony dla minionej epoki.

W rozdziale *O pięknie dyktatury i o tajemnicy motyla w cemencie* Jelena Jurjewna S., trzeci sekretarz komitetu dzielnicowego partii, wypowiada się na temat skłonności do poświęceń w imię pracy dla kraju: „Człowiek radziecki był zawsze dobrym człowiekiem, gotów był pojechać na pustynię czy za Ural wyłącznie dla idei, nie za dolary. Nie za obce zielone papierki. Dnieproges, bitwa stalingradzka, loty w kosmos – wszystko to zrobił człowiek radziecki.

Wielki Sowek" [49][1]. Wartościowanie bohaterki jest podobne do opisywanego przez Tischnera; praca dla idei jest dobra i szlachetna w przeciwieństwie do pracy dla pieniędzy, która jest niegodna.

Tischner, mówiąc o pracy jako o wartości wyznawanej przez *homo sovieticus*, zwrócił uwagę na znaczenie propagandy. Zakłady pracy były nierentowne i marnowały ludzki czas oraz wysiłek, pracownicy żyli jednak w przekonaniu, że dokonują wielkich rzeczy. Kwestia iluzoryczności osiągnięć Związku Radzieckiego zostaje poruszona w monologu Margarity Pogriebickiej w rozdziale *O szepcie i krzyku... i o zachwycie*. „Kochaliśmy, bezgranicznie kochaliśmy naszą Ojczyznę – najukochańszą! Pierwszy radziecki samochód – hurra! Radziecki robotnik analfabeta zgłębił tajemnicę stali nierdzewnej – zwycięstwo! O tym, że owa tajemnica od dawna była znana całemu światu, dowiedzieliśmy się później" [104].

To samo zjawisko budowania za pomocą propagandy dumy narodowej w mieszkańcach bloku wschodniego przy jednoczesnym poczuciu dużych ograniczeń możliwości radzieckiej myśli technologicznej opisał w *Zniewolonym umyśle* Czesław Miłosz:

Przeciwko temu przemawia również natrętność, z jaką propaganda przypisuje większość wynalazków Rosjanom (chociaż równocześnie kopiuje się technikę amerykańską, od konstrukcji mostów zaczynając, a na motorach kończąc, w najdrobniejszych szczegółach). Taki wysiłek propagandowy, posuwany często do śmieszności, nie świadczy o dobrym samopoczuciu – ani nie świadczy o dobrym samopoczuciu np. sprzedaż demokracjom ludowym maszyn szwedzkich z zamalowanymi znakami, jako rosyjskich. Niemniej wysiłek propagandy, aby zwalczać rosyjski kompleks niższości i podnosić „techniczne morale", stanowi dowód, jak wielką wagę Centrum przywiązuje do naukowego wyścigu (Miłosz, 1989).

Miłosz opisuje fenomen od strony decyzji politycznych, które stoją za propagandą, zwraca uwagę na wartości, którymi kierują się władze państwa. Aleksijewicz w centrum zainteresowania stawia człowieka, który był odbiorcą propagandy.

Pomimo świadomości, że osiągnięcia Związku Radzieckiego były w dużym stopniu wytworem propagandy, ich wspomnienie budzi u Pogriebickiej okrzyki radości. Wartościowanie w monologu Pogriebickiej oparte jest w dużej mierze na tęsknocie za dzieciństwem i młodością – swoją miłość do Związku Radzieckiego bohaterka wielokrotnie uzasadnia opowieściami o pierwszej wizycie z matką w mauzoleum Lenina, pięknych obchodach, w których uczestniczyła jako mała dziewczynka, czy swojej pierwszej idealistycznej miłości przeżytej w wieku nastoletnim. Dobre wspomnienia są największym skarbem Pogriebickiej, mówi, że może obyć się bez wielu dóbr materialnych oferowanych przez aktualny system, ale nie może „bez tego, co było" [111] – minionego systemu wartości.

Jednym z elementów budujących kontrast pomiędzy światem wspomnień a światem obecnym jest rola przypi-

1 S. Aleksijewicz, Czasy secondhand. Koniec czerwonego człowieka, przeł. J. Czech, Czarne, Wołowiec 2014. Wszystkie analizowane cytaty pochodzą z tego wydania, w nawiasie kwadratowym podaję numer strony.

sywana przez bohaterów przedmiotom. Czasy dzieciństwa łączą się ze zniszczonymi, tanimi rzeczami, a czasy współczesne z drogą żywnością i modnymi ubraniami. Pogriebicka wyżej ceni zapisane w pamięci zapachy, widoki i uczucia budujące niematerialne bogactwo świata wspomnień niż zastaną rzeczywistość kapitalistyczną, która jawi się jako jego zupełne przeciwieństwo. Współczesność zostaje całkowicie odrzucona zarówno w oferowanej przez nią sferze materialnej, jak i ideowej. Wspomnień nie może zniszczyć współczesna ocena działań Związku Radzieckiego, byłaby to zbyt wielka strata. Wiedza o przewinieniach ZSRR nie sprawia, że Pogriebicka patrzy na swój kraj krytycznie. Wywołuje raczej reakcję obronną – bohaterka nie chce naruszać podstaw swojego systemu wartości.

Słuszność ideologii komunistycznej funkcjonuje na zasadzie religijnego dogmatu, czego bohaterowie przedstawieni przez Aleksijewicz są w różnym stopniu świadomi. W rozdziale *O innej biblii i innych wierzących* wielokrotnie zostaje nakreślona analogia pomiędzy religią a ideologią. Centralna postać monologu – Wasilij Pietrowicz N. – wprost mówi: „Legitymacja to moja Biblia" [183], jego fanatyczne przywiązanie do dokumentu obrazuje również reakcja na przeprosiny partii po jego pobycie w więzieniu i torturowaniu. Pietrowicz oraz jego żona zostali aresztowani i byli przesłuchiwani w sposób podobny do opisanego w *Archipelagu GUŁag* – bez żadnego realnego powodu, ale ze szczególnym okrucieństwem (Sołżenicyn, 2017). Pietrowicz komentuje zdarzenia w ten sposób:

Na wojnie byłem dwukrotnie ranny. Wróciłem do domu z trzema orderami i medalami. Wezwali mnie do komitetu dzielnicowego. „Niestety nie możemy wam zwrócić żony. Wasza żona nie żyje. Ale honor wam zwracamy..." Oddali mi legitymację partyjną. A ja byłem szczęśliwy! Szczęśliwy... [199].

Oskarżony pozostał wierny władzy i, jak się dowiadujemy z epilogu wywiadu, nie pozwolił na publikację całości tekstu w obawie, że „rzuci cień na partię". Monolog w obecnej formie Aleksijewicz wydała dopiero po jego śmierci, uzasadniając, że „to wszystko należy już bardziej do epoki niż do jednego człowieka" [201]. W epilogu znajdujemy też wzmiankę o tym, że Pietrowicz zapisał swoje duże trzypokojowe mieszkanie w centrum miasta nie wnukom, ale „na potrzeby ukochanej partii komunistycznej, której wszystko zawdzięcza" [201]. Takie postępowanie nie jest zrozumiałe dla osoby, która nie podziela wartości zmarłego. Pietrowicz sam mówi: „Nas nie można sądzić według reguł logiki. Buchalterzy! Zrozumcie to! Można nas sądzić tylko według praw religii. Wiary!" [199].

Wierność partii jest równoznaczna z wiernością krajowi, obie są w odczuciu ludzi sowieckich wartościami niepodważalnymi. Jako źródło poczucia godności *homo sovieticus* Tischner wskazuje dumę z przynależności do określonej warstwy społecznej. Czytając *Dziesięć historii w czerwonym wnętrzu*, możemy jednak zauważyć, że dla bohaterów reportaży powodem do dumy częściej niż pochodzenie klasowe jest oparcie tożsamości na przekonaniu, że żyją w najwspanialszym kraju na świecie. Przykłady cytatów ilustrujących to zjawisko można mnożyć: „Ja do tej pory z radością piszę litery Z-S-R-R" [49], „Całe życie przeżyłam z wiarą, że jesteśmy najszczęśliwsi, bo urodziliśmy się w przepięknym, zupełnie wyjątkowym kraju" [99], „Nigdy nie przywyknę do trójkolorowej rosyjskiej flagi, przed oczami zawsze będę miał czerwony sztandar. Sztandar wielkiego kraju!" [120]. Przywiązanie do Związku Radzieckiego podkreślone zostaje przez zestawienie z nową Rosją, która nie zaspokaja potrzeb tożsamościowych bohaterów.

Możemy jednak znaleźć w *Dziesięciu historiach*... głosy opowiadające się za systemem po przebudowie. W rozdziale poświęconym rewolucji z 1991 roku jedna z kobiet, z którymi Aleksijewicz przeprowadzała wywiady na Placu Czerwonym, daje świadectwo postawy zupełnie odmiennej od poglądów Pietrowicza czy Pogriebickiej. Bohaterka mówi: „Zaczęłam być dumna ze swojego kraju, kiedy ludzie wyszli na ulicę przeciw czołgom" [116]. Jednakże większość osób, których opowieści zebrano w reportażach, gloryfikuje komunizm, ich wypowiedzi są również dłuższe. Stosunek ilościowy pomiędzy słowami przeciwników i zwolenników przemian dobrze obrazuje rozdział *O pięknie dyktatury i o tajemnicy motyla w cemencie*, w którym zestawiono głosy dwóch przyjaciółek o przeciwnych poglądach politycznych. Wypowiedzi Jeleny Jurjewny – komunistki – są, licząc łącznie, ponad trzy razy dłuższe niż demokratki Anny Iljinicznej. Aleksijewicz poświęca więcej uwagi komunistom, bo to ich spojrzenie na świat jest obecnie niezrozumiałe i wymaga przybliżenia masowemu odbiorcy.

Propaganda a tożsamość

Propaganda była istotnym czynnikiem mającym wpływ na konstruowanie tożsamości *homo sovieticus*. Ilustracją tego fenomenu w *Dziesięciu historiach*… jest przytoczone wcześniej wyznanie Margarity Pogriebickiej łączące w sobie świadomość skali kłamstw władzy z bezgraniczną wiarą w potęgę ZSRR. Przekonanie o naukowej i technologicznej potędze Związku Radzieckiego podnosiło samoocenę jego mieszkańców, najważniejsza była jednak budowa armii, bo to dzięki niej utrzymywano wysoką pozycję na arenie międzynarodowej.

W rozdziale *O samotnym czerwonym marszałku i trzech dniach zapomnianej rewolucji* Aleksijewicz umieściła reportaż z rozmowy z N., wysoko postawionym człowiekiem z Kremla, który prosił, by nie ujawniać jego imienia ani stanowiska. W reportażu tym poruszony zostaje temat napięcia pomiędzy nauką a militariami:

Kraj mieliśmy wojenny, siedemdziesiąt procent gospodarki tak czy owak pracowało dla wojska. No i najlepsze umysły... fizycy, matematycy... Wszyscy pracowali przy produkcji czołgów i bomb. [...] Nie minister gospodarki pierwszy meldował Biuru Politycznemu, ale minister obrony – ile wyprodukowano uzbrojenia, a nie magnetowidów. Dlatego magnetowid kosztował u nas tyle, co mieszkanie [134].

Cały kraj zorientowany był na budowę militarnej potęgi, przedmioty użytku codziennego czy służące rozrywce nie były istotne. Tego typu wartościowanie wielokrotnie uwidacznia się w *Dziesięciu historiach*...: „Teraz w sklepach jest mnóstwo wszystkiego. Obfitość towarów. Ale góry kiełbas nie dają szczęścia. Jakaż to chluba? Nasz naród był wielki! A zrobili z niego handlarzy i spekulantów... sklepikarzy

i menedżerów..." [54], „Pijcie wolność! Jedzcie wolność! Taki kraj oddali! Mocarstwo! Bez jednego strzału..." [95], „W sklepach pełno kiełbasy, ale nie ma szczęśliwych ludzi. Nie widzę takich, którzy by mieli płonące oczy" [190], „Robiliśmy najlepsze na świecie czołgi, ale nie było proszku do prania i papieru toaletowego. [...] Cóż, to była cena! Cena rakiet i pojazdów kosmicznych. Cena wielkiej historii!" [294]. Źródłem dumy i szczęścia jest uczestnictwo w idei. Życie, w którym ważniejsze stają się potrzeby materialne niż realizowanie mocarstwowych aspiracji państwa, jest godne pogardy.

Istniało przekonanie, że w socjalizmie można odnaleźć uniwersalny klucz pozwalający dogonić i prześcignąć amerykański kapitalizm w krótkim czasie. Michał Heller w pracy *Maszyna i śrubki. Jak hartował się człowiek sowiecki*, omawiając gospodarkę sowiecką, posługuje się kategorią cudu. Władza przekonywała, że ogromne inwestycje zapewnią państwu cud gospodarczy możliwy tylko w komunizmie. Heller porównuje obietnicę cudu do opium, które pozwalało człowiekowi radzieckiemu pogodzić się z jego sytuacją (Heller, 1989). Retoryka cudu miała również za zadanie nadać komunizmowi cechy religii. „Po pierwszych sowieckich lotach kosmicznych w ZSRR wydano plakat, na którym widniał kosmonauta w niebie mówiący: <<Boga nie ma!>>. Nauka i technika obaliły przesądy i wiarę w cuda. Popierać zatem należy wiarę w <<prawdziwe>> cuda nauki, w magię nauki i techniki" (Heller, 1989). W *Dziesięciu historiach*... znaleźć możemy ślady tego oczekiwania na obiecany cud. Marina Tichowna Isajczyk opowiada: „W radiu kiedyś mówili, że po wojnie wszyscy będziemy szczęśliwi [...] A ja czekałam na to dobre życie i czekałam. [...] Krótko mówiąc, wszyscy mnie oszukali, a życie jest jeszcze gorsze. Poczekaj, pocierp, poczekaj, pocierp" [87].

Życie religijne człowieka sowieckiego

Religijne traktowanie osiągnięć techniki przejawia się w wypowiedzi Margarity Pogriebickiej: „Odwrócimy bieg gigantycznych rzek... Nawodnimy wieczne pustynie... Wiara! Wiara! Wiara! Coś większego niż rozum" [104]. Bohaterka z perspektywy czasu jest świadoma, że radziecką technikę postrzegać należy w kategoriach religijnych, a nie rozumowych, jest jednak oddana doktrynie.

Podobieństwa między ideologią i religią są u Aleksijewicz wielokrotnie tematyzowane. Jeden z monologów, Wasilija Pietrowicza N., przyjmuje za główny koncept porównanie legitymacji partyjnej do Biblii. Podobnych porównań w *Dziesięciu historiach*... znajdziemy więcej: „A kiedyś w szkole uczyli nas, że Lenin to jeden Bóg, a Karol Marks – drugi" [87], „Urządzaliśmy komsomolskie śluby. Bez świec, bez koron. Bez popów. Zamiast ikon – portrety Lenina i Marksa" [185]. Dokonano apoteozy Lenina i Marksa. Pozostawiono prawosławne obrzędy i obiekty kultu, wymieniono jednak boga na innego; nowy porządek zajął miejsce zarezerwowane uprzednio w psychice człowieka dla religii.

Stosunek władzy państwa stalinowskiego do religii został sportretowany przez Ryszarda Kapuścińskiego w *Imperium* poprzez relację z (zakończonej fiaskiem) budowy Pałacu Sowietów na miejscu Świątyni Chrystusa Zbawiciela (Kapuściński 1993). Symbol nowej władzy i olbrzymi pomnik Lenina stanąć miały na miejscu symbolizującym jednocześnie władzę boską i carską. Zaplanowano wielką inwestycję, na którą państwa nie było stać, żeby pokazać potęgę systemu komunistycznego i zaznaczyć jego przewagę nad Stanami Zjednoczonymi. Megalomania rządów niedysponujących wystarczającymi środkami oraz ich boskie aspiracje miały wpływ na codzienne życie ludzi, co znajduje odzwierciedlenie w wywiadach zebranych przez Aleksijewicz.

Wielkie postaci komunizmu, nowi bogowie, wkraczają nie tylko w religijną sferę życia człowieka. Margarita Pogriebicka wyznaje: „Przeglądałam niedawno papiery i natknęłam się na swój młodzieńczy dziennik: pierwsza miłość, pierwszy pocałunek i całe stronice o tym, jak kocham Stalina i jestem gotowa umrzeć, żeby go zobaczyć" [107]. Ze zwierzeniem Pogriebickiej porównać można opowieść o dzieciństwie Anny M-a z rozdziału *O małej czerwonej chorągiewce i o uśmiechu topora*. Anna opisuje: „Patrzyliśmy na jego portret, a na nim wydawał się nam taki piękny. Najpiękniejszy na świecie! Kłóciliśmy się nawet, kto ile lat życia oddałby za jeden dzień życia towarzysza Stalina" [274]. Godna uwagi jest również reakcja bohaterki na śmierć przywódcy: „Ja – płakałam... Wiedziałam już, co to znaczy żyć bez mamy. Ale jak żyć bez Stalina?" [280]. Wielka miłość do wodza nie ogranicza się do miłości, jaką darzy się boga, Stalin zajmuje również miejsce opiekuna, rodzica czy ukochanego.

Tożsamość zbiorowa a indywidualna

Stawianie zbiorowości wyżej nad indywiduum leży u podstaw ideologii komunistycznej. Postaci przedstawione przez Aleksijewicz nierzadko bardzo pozytywnie oceniają ten aspekt systemu, za przykład może służyć wypowiedź bohatera podpisanego jako konstruktor, którego wypowiedź zamieszczono w rozdziale *O samotnym czerwonym marszałku i trzech dniach zapomnianej rewolucji*. „<<To okropne radzieckie wychowanie...>> Nauczyło mnie myśleć nie tylko o sobie, ale i o innych. O słabszych, o tych, którym źle się dzieje" [146]. Konstruktor jest świadom, że współczesność ocenia czasy ZSRR negatywnie, jego wypowiedź przyjmuje znamiona apologii. Z pamięci cytuje zarzuty, jakie najczęściej kieruje się do minionego systemu.

Temat pozytywnych wartości radzieckiego wychowania porusza również Olga W., główna bohaterka *O czasie, w którym każdy, kto zabija, myśli, że służy Bogu*. Jej świadectwo nie jest jednak panegiryczne, monolog obrazuje dysonans pomiędzy teoretycznymi szkolnymi naukami a dramatycznymi wydarzeniami wojny w Abchazji.

Na sąsiedniej ulicy mieszkał jeden chłopak... Oczywiście znałam go, ale nie po imieniu, tylko z widzenia. Witaliśmy się. Na pozór normalny. Wysoki, przystojny. Zabił swojego starego nauczyciela gruzińskiego. Że stawiał dwójki. No jak to? Czy pani to rozumie? Wszystkich w radzieckiej szkole uczono, że człowiek człowiekowi przyjacielem... przyjacielem, towarzyszem i bratem... [262].

Heller relacje pomiędzy narodami ZSRR przedstawia inaczej. Pisząc o mitologii radzieckiej, zwraca uwagę na mit monolitu, dla którego podtrzymania nie pozwalano sowieckim ideologom na publikacje prac o charakterze nacjonalistycznym, zaznacza jednak, że kiedy do publikacji dochodziło, pojawiały się teksty nieustępujące pod względem

nienawiści okazywanej innym narodom publikacjom hitlerowskim (Heller, 1989). Wrogów monolitycznego systemu radzieckiego szukano poza krajem.

Tischner komunistyczne nierozróżnianie dobra wspólnoty od dobra jednostki skomentował, mówiąc, że *homo sovieticus* „może podpalić katedrę, byle sobie przy tym ogniu usmażyć jajecznicę" (Tischner, 1992). Relacje zgromadzone przez Aleksijewicz przedstawiają zagadnienie w odmienny sposób. Opowieść Wasilija Pietrowicza N. stanowi obraz życia pełnego wyrzeczeń podjętych dla dobra państwa: „Na wpół głodni, na wpół nadzy... Ale na czyny społeczne w soboty chodziliśmy przez okrągły rok, także zimą" [187]. Zestawienie tych dwóch narracji wywołuje wrażenie, że opowiadają one o różnych komunizmach.

W *Dziesięciu historiach*... temat poświęcenia pojawia się wielokrotnie, szczególnie często powraca kwestia oddania życia za ojczyznę. Margarita Pogriebicka opowiada o swoim wychowaniu w ten sposób: „Właśnie – tak! Tak! Tak! Największe marzenie to umrzeć! Złożyć życie w ofierze. Przysięga komsomolska: <<Gotowa jestem oddać życie, jeśli przyniosę pożytek swemu narodowi>>. I nie były to tylko słowa, nas tak naprawdę wychowano" [105]. We fragmencie widzimy nie tylko gotowość do złożenia ofiary z własnego życia, ale również towarzyszący jej wielki entuzjazm połączony z zapewnieniem, że słowa bohaterki to nie powtórzenie propagandowych frazesów, ale szczera deklaracja. Ten sam zapał do bohaterstwa przejawia się w rozdziale *O innej biblii i innych wierzących*: „Ginęli wcześnie, kiedy mieli trzydzieści czy nawet dwadzieścia lat... Umierali szczęśliwi... Pełni wiary! Z rewolucją w sercu, jak wtedy mówiono. Zazdroszczę im" [180]. Z perspektywy długiego życia, bohater wyznaje, że wolałby umrzeć młodo jak jego przyjaciele, gdyż na swoje nieszczęście dożył czasów upadku komunizmu.

Motyw wartości ofiary z życia łączy się z motywem kultu wojny i potęgi militarnej w rozdziale *O jałmużnie wspomnień i żądzy sensu* poświęconym Igorowi Pogłazowowi – czternastoletniemu samobójcy. Matka chłopca opowiada:

Chciałam, żeby rósł mężny, silny, więc wybierałam mu wiersze o wojnie, o bohaterach. O ojczyźnie. I pewnego razu osłupiałam, kiedy moja mama powiedziała: „Wiera, dosyć tych wojennych wierszy. On bawi się tylko w wojnę". „Wszyscy chłopcy lubią się bawić w wojnę". „Tak, ale Igor lubi, żeby do niego strzelali, a on wtedy upada. I umiera! Upada z taką ochotą, z takim upojeniem, że mnie to przeraża. Krzyczy do innych chłopców <<Wy strzelacie, a ja padam>>. Nigdy na odwrót". (Po długiej przerwie). Dlaczego nie posłuchałam mamy? Kupowałam mu militarne zabawki: czołg, ołowiane żołnierzyki, karabin snajperski... Przecież to chłopiec, powinien zostać wojownikiem. [...] Wszyscy mieliśmy wojenną psychikę. „Jeśli jutro na bój..." Nie umiem tego inaczej wyjaśnić. Nie mam innego wytłumaczenia... Teraz już rzadziej daje się dzieciom w prezencie szabelki... pistoleciki... pif-paf! A my... Pamiętam, jaka byłam zdziwiona, kiedy ktoś z nauczycieli w szkole opowiedział, że chyba w Szwecji zakazano sprzedaży zabawek militarnych. To jak wychować mężczyznę? Obrońcę ojczyzny? [155].

W reportażu bohaterka łączy wartości, w jakich wychowała syna, z jego decyzją o samobójstwie, nie sprawia to jednak, że jest sobie w stanie wyobrazić inny model wychowania. Warto zauważyć, że zachowanie Igora podczas zabaw przypomina postawę Pogriebickiej i Piotrowicza, którzy odnosili się do śmierci jako do największego marzenia.

Czerwony człowiek wobec świata materialnego

Przedmioty, jak określiła to Elżbieta Skokowska, składają się nie tylko z części materialnej, ale także ze znaczeń (Skokowska, 2016). Bohaterowie *Czasów secondhand* Swietłany Aleksijewicz operują sferą znaczeń przedmiotów, aby opisać otaczającą ich zmieniającą się rzeczywistość; te same obiekty w perspektywie różnych postaci nabierają innej wymowy, punkty widzenia krzyżują się. Ideowi komuniści wielokrotnie określają epokę kapitalizmu jako czasy, w których najważniejszy stał się pieniądz i wszystko to, co można za niego kupić, ze szczególnym wyróżnieniem dóbr sprowadzonych z Zachodu. Bohaterowie postrzegają wzgardę dla świata materialnego i przywiązanie do abstrakcyjnych idei jako część swojej tożsamości, a przedmioty, do których wyrażają pozytywny stosunek emocjonalny, w przeważającej części reprezentują ZSRR i ustrój komunistyczny. W tekście *Dziesięciu historii w czerwonym wnętrzu* Aleksijewicz literacko wykorzystuje symboliczne znaczenie obiektów do zobrazowania przemian, jakie zaszły w systemie wartości w czasach pieriestrojki.

W monologach wielokrotnie wspominane są ordery wojskowe. Te elementy służą prezentacji postaci, stanowią część ekspozycji. W rozdziale *O pięknie dyktatury i o tajemnicy motyla w cemencie* znajduje się fragment: „W takich chwilach ludzie bardzo dobitnie pokazywali, kim są. Przyszedł frontowiec... Cały w orderach bojowych. Ikonostas na piersi!" [74–75]. Podobną funkcję odznaczenia pełnią w rozdziale *O szepcie i krzyku... i o zachwycie*: „Na ustawionych na asfalcie cegłach siedział jakiś staruszek i grał na akordeonie. Miał ordery." [103]. Margarita Pogriebicka zwraca uwagę na odznaki i dokonuje klasyfikacji postaci za pomocą krótkiego zdania „Miał ordery". Dalej scena rozwija się. Ranga nadana medalom przez Pogriebicką zostaje skonfrontowana ze znaczeniem przewidzianym dla nich w Rosji po przebudowie.

Śpiewał pieśni z czasów wojny, a przed nim leżała czapka z monetami. Nasze ukochane piosenki... [...] Zapragnęłam podejść do niego, ale już go otoczyli cudzoziemcy... zaczęli się fotografować. Coś krzyczeli do niego po włosku, po francusku i po niemiecku. Klepali po plecach. „Dawaj, dawaj!" Było im wesoło, byli zadowoleni. No a jakże! Tak się nas bali... a teraz... Proszę – kupa chłamu... Trach i nie ma imperium! Obok matrioszek i samowarów kupa czerwonych flag i proporców, legitymacje partyjne i komsomolskie. I radzieckie ordery bojowe! Ordery Lenina i Czerwonego Sztandaru. Medale! „Za Odwagę" i „Za Zasługi Bojowe". Dotykam ich... głaszczę... i... Nie wierzę! „Za Obronę Sewastopola" i „Za Obronę Kaukazu". Wszystko prawdziwe. Drogocenne. Radzieckie mundury i płaszcze wojskowe... Czapki z gwiazdkami... A ceny – w dolarach... „Ile?" zapytał mąż i pokazał medal „Za Odwagę". „Po dwadzieścia dolarów. A zresztą... oddam i za patyka – tysiąc rubli". „A Order Lenina?"„Sto dolców". „A sumienie?!" Mąż gotów był zrobić awanturę. „Coś ty, nierówno masz pod sufitem? Skąd się urwałeś? To wszystko z epoki totalitaryzmu". Tak właśnie powiedział... To już, mówi, są tylko blaszki, ale cudzo-

ziemcom się podobają, taka moda na radziecką symbolikę. Chodliwy towar. Zaczęłam krzyczeć... [103].

Świat kapitalistyczny wpisuje ordery w kategorię mody, historycznego „gadżetu", osobliwości, co przez Pogriebicką i jej męża odbierane jest jako bluźnierstwo. Dla bohaterki flagi, proporce i mundury to symbole jej własnej tożsamości, sprowadzenie ich do roli towaru sprzedawanego jako pamiątki zachodnim turystom rodzi oburzenie, gdyż redukuje przedmiot reprezentujący ideologię do jego warstwy materialnej. Marek Krajewski w artykule *Przedmiot, który uczłowiecza*... pisze, że świat przedmiotów pełni ważną rolę w definiowaniu ciągłości społeczności (Krajewski, 2008). Tutaj pojawia się pewne zaburzenie kontinuum – nowe pokolenie umieściło przedmiot w zupełnie innej funkcji, dokonało rekontekstualizacji, która spotyka się z odrzuceniem przez wyznających poprzedni ład.

Podobny zabieg Aleksijewicz zastosowała w rozdziale *O samotnym czerwonym marszałku i trzech dniach zapomnianej rewolucji*, umieszczając pomiędzy opowieściami na temat marszałka Siergieja Fiodorowicza Achromiejewa urywek opublikowanego niedługo po jego śmierci artykułu z gazety „Kommiersant" dotyczącego napaści na jego grób.

Śledczy z przekonaniem twierdzą, że grobu marszałka nie zbezczeszczono z powodów politycznych, ale komercyjnych. Mundury wyższych dowódców cieszą się bowiem wyjątkową popularnością wśród handlarzy. A już mundury marszałkowskie dosłownie wydzierają sobie z rąk... [145].

Scena obrazuje konflikt dwóch światów wartości. W perspektywie symboli ideologicznych bardziej adekwatną byłaby napaść z powodów politycznych, zwykłe szabrownictwo oznacza sprowadzenie pochówku wysokiego dowódcy wojskowego do sfery czysto materialnej.

Podobny przykład przeniesienia symbolu o wymowie ideologicznej do jego znaczenia czysto materialnego znajdziemy w rozdziale *O innej biblii i innych wierzących*. Czytamy: „Przez radio słyszałem, że pomnikowi Lenina w centrum miasta odpiłowano w nocy rękę. Na złom... za kopiejki... Lenin był ikoną. Bogiem! A teraz to metal kolorowy. Sprzedają go i kupują na kilogramy..." [188–189].

Kolejnym przedmiotem wywołującym duże emocje bohaterów ze względu na idee, jakie sobą reprezentuje, jest legitymacja partyjna. Dokument powiązany jest z systemem politycznym w bardzo jednoznaczny sposób, podobnie jak omówione wcześniej ordery, w większym jednak stopniu łączy się z tożsamością. Legitymacja stanowi fizyczny wyraz identyfikacji komunistycznej.

Pietrowicz, mówiąc o przedmiotach, które otacza kultem przez ich symboliczne powiązanie z ideologią, przejmuje zespół obiektów charakterystycznych dla prawosławia. Legitymacja została określona mianem biblii, w tym samym rozdziale opisany zostaje komunistyczny ślub: „Zamiast ikon – portrety Lenina i Marksa" [185]. W rozdziale *O pięknie dyktatury i o tajemnicy motyla w cemencie* ordery na piersi porównane są do ikonostasu. Komunizm, zajmując rolę religii, przejmuje nie tylko jej funkcję duchową i psychologiczną, ale również właściwy jej mechanizm działania w sferze materialnej. Obiekty reprezentujące komunizm stają się symbolami religijnymi czczonymi jak relikwie.

Pogriebicka wspomina również czerwoną chustę, którą otaczała czcią w młodości. Czytamy: „Z czerwoną chustą się nie rozstawałam, prałam i prasowałam ją co rano, żeby nie było ani jednej fałdki" [105]. Troska, jaką kobieta otaczała przedmiot, sytuuje się niemal na poziomie religijnego uwielbienia, chusta urasta do rangi obiektu świętego. Noszona na szyi pełni podobną funkcję, co medalik lub krzyż dla osoby religijnej.

Ordery, pomniki, legitymacje czy portrety Lenina to przedmioty przynależące do świata komunistycznego, do których silnie przywiązane są osoby wyznające reprezentowaną przez nie ideologię. Tracą one na wartości symbolicznej w porządku kapitalistycznym, wyceniającym je według reguł rynku i rozpatrującym w kategorii mody. W *Dziesięciu historiach*... istnieje jednak druga, opozycyjna kategoria przedmiotów. Obiekty reprezentujące nowy system gospodarczy przez komunistów wymieniane są z pogardą i często określane jako małowartościowy kicz, za który ludność ZSRR sprzedała swój wielki kraj. Ich pojawianie się w tekście ma inną specyfikę niż przedmiotów, do których wagę przywiązują komuniści. Rzeczy charakterystyczne dla porządku kapitalistycznego są wymienne względem siebie, ich symbolika nie opiera się na wymowie konkretnych rekwizytów jak legitymacja czy czerwona chusta, ale na figurze enumeracji podkreślającej ich mnogość i różnorodność.

Motyw upadku wielkiego kraju z powodu braku luksusowych towarów, zbędnych według opowiadającej, i powstanie nowej rzeczywistości, w której zdegradowano wartości wyznawane przez ludzi sowieckich wraca w tekście kilkukrotnie:

Kraj upadł przez brak damskich bucików i papieru toaletowego, przez brak pomarańcz. I tych cholernych dżinsów! Teraz nasze sklepy są podobne do muzeów. Do teatrów. A oni chcą mnie przekonać, że wszystko, czego człowiek potrzebuje to fatałaszki od Versacego i Armaniego. Że to mu wystarcza. Że życie to są piramidy finansowe i weksle. Wolność to pieniądze, a pieniądze to wolność [58].

Dumna jestem z tamtych czasów! Nie mieliśmy eleganckiego życia, za to mieliśmy normalne. Była miłość, była przyjaźń... sukienki i pantofle... [59].

Pochwalił się, że dziennie zarabia więcej niż u nas pierwszy sekretarz miesięcznie. Biznes bez ryzyka – dżinsy. Wynajęli z kolegą zwykłą pralnię i tam robili te „gotowane" dżinsy. Technologia jest prosta (bieda uczy rozumu): zwykłe, banalne dżinsy wrzucają do roztworu wybielacza albo wapna chlorowanego, dodają tam tłuczonej cegły. Parę godzin gotują – na spodniach powstają pasma, wzory, plamy... abstrakcjonizm! Suszą i naklejają metkę „Montana". Od razu mnie olśniło, że jeśli nic się nie zmieni, to oni, ci sprzedawcy dżinsów, będą wkrótce nami rządzić [71].

Szczególnie często powracającym w narracji bohaterów artykułem są dżinsy. Towar zachodni, niedostępny w Związku Radzieckim i przemycany zza granicy staje się ważnym punktem odniesienia w kontekście przemian gospodarczych i kulturowych. Na rynku wraz z oryginalnymi amerykańskimi dżinsami pojawiły się podróbki produkowane domowymi sposobami przez naciągaczy. Jurjewna zwraca uwagę na proces „gotowania" dżinsów i nadaje mu wymowę politycz-

ną. Producent podrabianych pokątnie towarów już zarabia więcej niż sekretarz komitetu, a wedle prognozy bohaterki tacy jak on niedługo będą rządzić krajem. Nowy system w tej perspektywie oparty jest na krętactwie i powierzchownym naśladowaniu zachodu, którym przez tyle lat pogardzano. Innym artykułem powracającym w monologu są damskie buty. Kraj upadł przez brak „damskich bucików", czytamy też, że kiedyś były pantofle. Wniosek, jaki czytelnik może wyciągnąć z lektury monologu, jest taki, że za czasów ZSRR było wszystko to, co było potrzebne, a odczuwany przez niektórych brak damskich bucików, ironicznie określonych zdrobniale, był wywołany chciwością.

Wprowadzona przez Aleksijewicz symbolika przedmiotów akcentuje różnice w podejściu do dóbr materialnych w minionych i obecnych czasach. Znaczenie przedmiotów reprezentatywnych dla epoki komunistycznej opiera się na ich wymowie ideowej, za to główną cechą rekwizytów charakterystycznych dla kapitalizmu jest ich wartość rynkowa. Aleksijewicz zderza ze sobą te dwa porządki i dzięki temu tworzy symboliczne obrazy czasów, w których rzeczywistość komunistyczna podlegała kategoryzacji kapitalistycznej.

Literatura

Aleksijewicz S., 2012. *Czarnobylska modlitwa. Kronika przyszłości,* przeł. J. Czech, Wołowiec, Czarne.

Aleksijewicz S., 2014. *Czasy secondhand. Koniec czerwonego człowieka*, przeł. J. Czech, Wołowiec, Czarne.

Aleksijewicz S., 2015. *Wojna nie ma w sobie nic z kobiety*, przeł. J. Czech, Wołowiec, Czarne.

Kapuściński R., 1993. *Imperium*, Warszawa, Czytelnik.

Sołżenicyn A., 2017. *Archipelag GUŁag 1918–1956. Próba dochodzenia literackiego*, przeł. J. Pomianowski, M. Kaniowski, Poznań, Rebis.

Bloch N., 2013. *Między terenem a tekstem, czyli o siedmiu grzechach głównych w tworzeniu narracji o światach innych ludzi* [w:] N. Bloch, A. W. Brzezińska (red.), *Sztutowo/Stutthof. Gdzieś pomiędzy plażą a obozem, Warszawa*, Scholar, s. 9–28.

Heller M., 1989. *Maszyna i śrubki. Jak hartował się człowiek sowiecki,* Warszawa, Wydawnictwo Pomost.

Horodecka M., 2017. *Monologowa forma reportażowa Swietłany Aleksijewicz. Reprezentacja bliskiego Innego w „Czasach secondhand". Zagadnienia Rodzajów Literackich*, 2 (122), s. 127–142.

Krajewski M., 2008. *Przedmiot, który uczłowiecza.... Kultura Współczesna*, 3 (57), s. 43–54.

Miłosz Cz., 1989. *Zniewolony umysł*, Warszawa, Krajowa Agencja Wydawnicza.

Skokowska E., 2016. *Synu, weź ten obraz na pamiątkę...* [w:] A. Rybus, M. W. Kornobis (red.), *Ludzie w świecie przedmiotów, przedmioty w świecie ludzi: antropologia wobec rzeczy*, Warszawa, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, s. 59–69.

Tischner J., 1992. *Etyka solidarności oraz Homo sovieticus*, Kraków, Znak.

Wójcińska A., 2015. *Kwartet posowiecki [w:] Perspektywa mrówki. Rozmowy z reporterami świata*, Wołowiec, Czarne.

Źródła internetowe:

Jabłońska U., 2014. Swietłana Aleksijewicz: Zbierając wywiady czułam, że jest w nich ocean nienawiści [online] http://www.wysokieobcasy.pl/wysokie-obcasy/1,96856,17001204,Swietlana_Aleksijewicz__Zbierajac_wywiady_czulam_.html?disableRedirects=true [dostęp: 17.12.2017]

Notatka o Autorze

Agnieszka Możejko to studentka II roku studiów magisterskich filologii polskiej. Studia łączy z praca zawodową jako redaktor i korektor, a do jej zainteresowań należą rękodzieło, malarstwo i kultura popularna.

ISSN 2451-1862