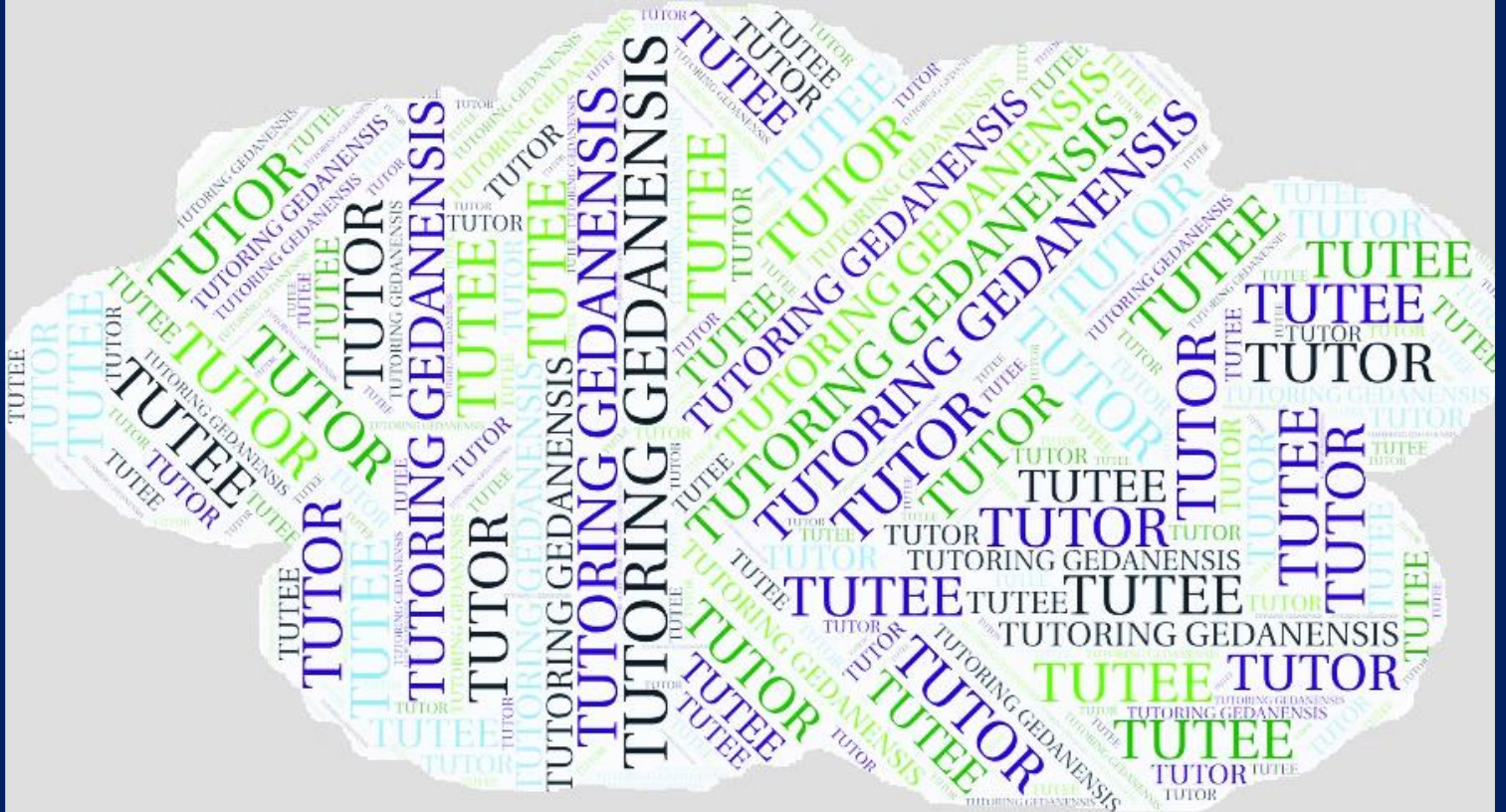


TUTORING GEDANENSIS

CZASOPISMO TUTEES I TUTORÓW



Tutoring Gedanensis

Czasopismo Tutess i Tutorów

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny

dr Ewa Szymczak (WOiG)

dr hab. Lucyna Przybylska (WOiG)

dr Sylwia Śliwińska-Wilczewska (WOiG)

dr Beata Karpińska-Musiał (WF)

Recenzenci

dr hab. Joanna Fac Beneda, prof. UG

dr hab. Sławomir Borek

dr Agata Błaszczyk

dr hab. Magdalena Horodecka

dr hab. Urszula Janas, prof. UG

dr Beata Karpińska-Musiał

dr Agnieszka Knopik-Skrocka

dr hab. Anita Lewandowska, prof. UG

dr Anna Lizińska

dr hab. Robert Nawrot

dr Anna Panasiuk

dr hab. Lucyna Przybylska

dr Ewa Szymczak

dr Anna Toruńska-Sitarz

dr Sylwia Śliwińska-Wilczewska

Kontakt

Wydział Oceanografii i Geografii

al. Marszałka Piłsudskiego 46

81-378 Gdynia

e-mail: tutee@ug.edu.pl

www.tutee.ug.edu.pl

ISSN 2451-1862

Spis treści

<i>Od redakcji</i>	4
Komórki nowotworowe – mocny przeciwnik. Czy potrafimy stworzyć skuteczną terapię przeciwnowotworową? – <i>M. Krakowiak</i>	6
Czy nowe technologie medycyny molekularnej będą skutecznym remedium przeciwko chorobom przewlekłym i nowotworom? – <i>A. Kubiak</i>	16
Rośliny modyfikowane genetycznie - zmierzch cywilizacji czy zbawienie ludzkości? – <i>A. Adamczyk, E. Banaszak, M. Rozynek, K. Rybacka</i>	24
Bioart, czyli mariaż sztuki i nauki – <i>M. Rozynek</i>	29
Najlepsi rybi rodzice – <i>N. Miernik</i>	33
Czy wiesz, że w morzu świeci? – <i>A. Gajo</i>	39
Strefa przybrzeżna Morza Bałtyckiego jako filtr – <i>R. Brzana, M. Tykarska, A. Borecka, U. Janas</i>	45
Niesamowity świat Nudibranchia – <i>I. Przednowek, L. Bielecka</i>	53
O energetyce wodnej, jak według mnie wpływa na środowisko – <i>N. Miernik</i>	65
Czy plastiki są wrogiem człowieka? – <i>A. Radziszewska</i>	70
Tektonika płyt czy ekspansja Ziemi? – <i>G. Gorczyński</i>	74
Pochodzenie i klasyfikacja pióropuszy płaszczka oraz hot spotów – <i>A. Kowalewska</i>	83
Parabola w literaturze popularnej. <i>Powrót</i> Erica Emmanuela Schmitta – <i>K. Marczak</i>	87

Szanowny Czytelniku,

Oddajemy w Twoje ręce czwarty numer czasopisma *Tutoring Gedanensis. Czasopismo Tutees i Tutorów*, którego celem jest udokumentowanie wyróżniających się prac studenckich powstałych podczas tutoriali prowadzonych na uczelniach wyższych. W tym numerze znalazły się teksty studentów Wydziału Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, które powstały w trakcie realizacji pilotażowego programu tutoringu oraz studentów Wydziału Oceanografii i Geografii oraz Wydziału Filologicznego Uniwersytetu Gdańskiego.

Mamy nadzieję, że *Tutoring Gedanensis. Czasopismo Tutees i Tutorów* będzie inspiracją dla Studentów i Nauczycieli do rozwoju tutoringu akademickiego nie tylko w Uniwersytecie Gdańskim, ale także na innych uczelniach wyższych w całym kraju.

Redakcja



Komórki nowotworowe – mocny przeciwnik. Czy potrafimy stworzyć skuteczną terapię przeciwnowotworową?

Michalina Krakowiak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii, Instytut Biologii Eksperymentalnej
E-mail: m.n.krakowiak@gmail.com

Tutor: dr Agnieszka Knopik-Skrocka

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

Słowa kluczowe – nowotwór, mikrośrodowisko, terapia celowana, przeciwciała monoklonalne

Wstęp

Choroba nowotworowa od wielu lat stanowi trudny do rozwiązania problem ogólnoswiatowy. Jest to spowodowane między innymi częstym występowaniem nowotworów: w ciągu roku wykrywa się 10 milionów zachorowań, a według WHO w 2020 roku liczba ta wzrośnie do 15 milionów. W krajach rozwijających się u 57% pacjentów zdiagnozowano guzy, a 65% zgonów było spowodowanych nowotworem (Jarosz i Szala, 2013; Ke i Shen, 2017). Duża zapadalność i śmiertelność występująca w przypadku tej choroby jest związana ze zwiększonym występowaniem czynników ryzyka, takich jak nadwaga, palenie, starzenie się społeczeństw (Ke i Shen, 2017). Należy również zaznaczyć, że obecnie występuje potrzeba informowania o tym, czym jest choroba nowotworowa, jak powstaje i jak trudna jest w leczeniu. Przeciętny Kowalski zna tylko pojęcie „chemia”, w odniesieniu do najbardziej znanego typu terapii, oraz „rak”, błędnie używanego do nazywania wszystkich rodzajów nowotworów. Tymczasem omawiana choroba występuje w wielu postaciach, może zaatakować wszystkie tkanki i w sposób zróżnicowany odpowiada na te same leki. Naukowcy od wielu dekad próbują opracować skuteczną terapię przeciwnowotworową, jednak ze względu na skomplikowaną budowę guza i jego plastyczność trudno jest znaleźć niezawodny sposób na całkowitą jego eliminację. Powszechnie znana chemioterapia jest zastępowana przez nowe techniki terapii celowanej, łączącej biochemię, biotechnologię i fizykę. Wydaje mi się, że jest to właściwy kierunek w poszukiwaniach leku idealnego, czyli w pełni skutecznego.

Komórka nowotworowa i jej mikrośrodowisko – rozpoznanie celu

Przed rozpoczęciem badań nad terapią idealną należy odpowiednio poznać obiekt, który chcemy unieszkodliwić. Potrzebna jest do tego analiza wielu publikacji naukowych, zapoznanie się z możliwie wszystkimi typami choroby, spojrzenie na temat nowotworu z szerszej perspektywy.

Komórki nowotworowe powstają głównie w wyniku mutacji genetycznych uniemożliwiających zatrzymanie podziałów, co skutkuje ich niekontrolowaną proliferacją. Można powiedzieć, że komórki te znalazły sposób na obejście systemu apoptozy, w zdrowym organizmie służącemu wymianie komórek i eliminowaniu tych niepoprawnie działających. W przypadku nowotworu cykl komórkowy jest zdeorganizowany, dzięki czemu zmienione komórki mogą powiększać objętość guza, a akumulowane modyfikacje genetyczne i epigenetyczne umożliwiają wykształcanie cech zapewniających np. rekrutację komórek organizmu gospodarza, unaczynienie nowotworu lub migrację jego części przez układ krwionośny (Reece i in., 2016). Komórki nowotworowe ponadto wydzielają i wykorzystują własne czynniki wzrostu, przez co stają się niewrażliwe na zewnętrzne czynniki wzrostowe (Jarosz i Szala, 2013).

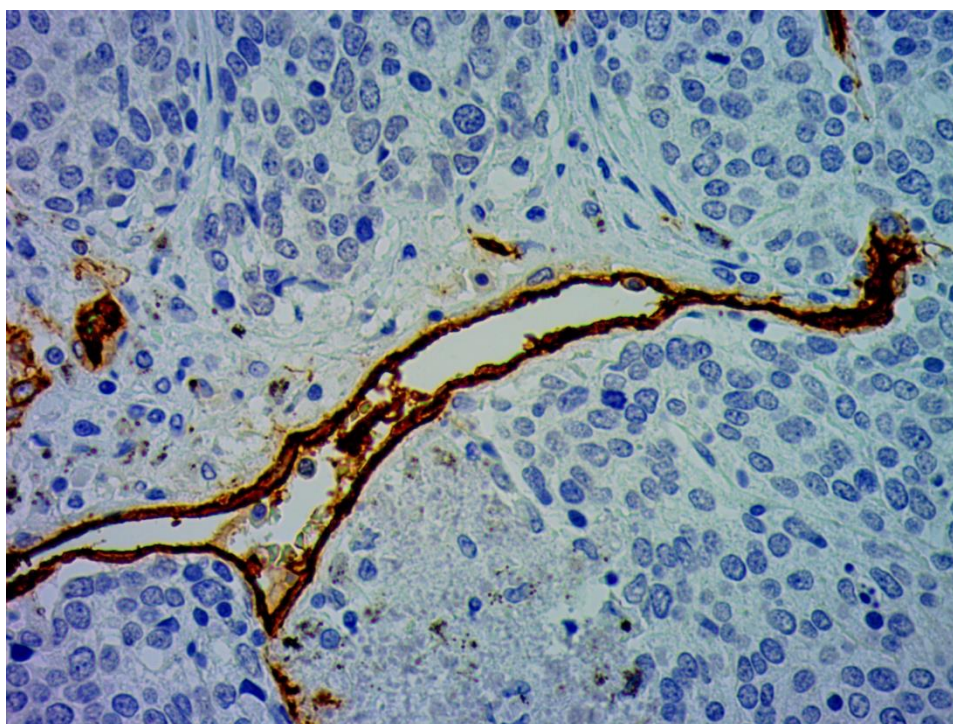
Komórki nowotworowe charakteryzują się nie tylko zmienionym DNA, lecz również inną strukturą błony komórkowej w stosunku do zdrowej części tkanki. Jednym z przykładów jest nadekspresja receptora HER-2 należącego do rodziny receptorów naskórkowego czynnika wzrostu EGF (ang. *epidermal growth factor*), co czyni komórkę wrażliwszą na sygnały do proliferacji. W efekcie guz może narastać, co wiąże się z bardziej agresywnym przebiegiem choroby (Albanell i Baselga, 1999). Inną cechą błony komórkowej nowotworu może być nadekspresja endogliny (antygeny CD105) (Knopik-Skrocka i in., 2017). Jest to glikoproteina będąca kofaktorem dla transformującego czynnika wzrostu beta TGF- β (ang. *transforming growth factor beta*). CD105 charakteryzuje tylko część typów nowotworów, ponadto obserwowano dużą różnorodność jej działania. W czerniaku i mięsaku Ewinga endoglina stymuluje inwazyjność i przerzutowanie komórek (Pardali i in., 2011), jednak w przypadku nowotworów prostaty, piersi i raka płaskonabłonkowego przełyku CD105 hamuje te procesy (Jarosz i Szala, 2013). Przykład endogliny pokazuje, że każdy nowotwór może mieć specyficzne cechy, dlatego ten sam lek może nasilić lub osłabić chorobę w zależności od pochodzenia tkankowego guza.

Nowotwory mogą powstawać z komórek różnych tkanek, np. z nabłonków (nazywane są wtedy rakiem), i bytować w każdym narządzie organizmu. Nie występują one jednak samodzielnie – tworzą wokół siebie mikrośrodowisko, czyli niszę uczestniczącą w podstawowych procesach progresji nowotworowej (Szala, 2009) – hamowaniu reakcji obronnych układu immunologicznego, tworzeniu naczyń krwionośnych dostarczających tlen i substancje odżywcze, oporności na czynniki apoptotyczne i inwazyjności. Tworzą je nie tylko włókna kolagenowe, siateczkowe, elastynowe i pozostała, bezstrukturalna część substancji międzykomórkowej, ale też komórki gospodarza zrekrutowane przez nowotwór (Podstawka i Kopeć-Ślęzak, 2009). Wiele z nich to elementy układu immunologicznego: TAMs (ang. *tumor associated macrophages*), limfocyty, komórki tuczne, neutrofile. Pozostałe komórki działające na korzyść nowotworu to fibroblasty związane z nowotworem – CAFs (ang. *cancer associated fibroblasts*) oraz komórki śródbłonna, ECs (ang. *endothelial cells*) (Knopik-Skrocka i in., 2017). Nie dość więc, że podczas rozwoju choroby pojawiają się komórki o podziałach niemożliwych do kontrolowania, to elementy organizmu, które powinny pełnić funkcje obronne, tracą właściwości reakcji na zagrożenie i podporządkowują się nowotworowi. Rozwój guza jest wynikiem komunikacji między komórkami nowotworu a komórkami przez niego zrekrutowanymi, która zachodzi na drodze chemicznej za pomocą cytokin, chemokin i prostaglandyn. Ponadto nowotwór może tak zadziałać na makrofagi i fibroblasty, że stają się jego „swoistą” częścią (Weręża, 2016). Komórki mikrośrodowiska i ich aktywność przedstawia tab.1.

Tab.1. Komórki mikrośrodowiska nowotworowego i ich aktywność promująca rozwój nowotworu
(źródło Weręza, 2016, zmienione)

Typy komórek	Aktywność promująca rozwój nowotworu
TAMs <i>ang. tumor-associated macrophages</i>	<ul style="list-style-type: none"> • immunosupresja • angiogeneza • wzrost i migracje komórek nowotworowych • wytwarzanie MMPs sprzyjających przerzutowaniu • wytwarzanie MMPs indukujących przełom naczyniowy
CAFs <i>ang. cancer-associated fibroblasts</i>	<ul style="list-style-type: none"> • wzrost i migracje komórek nowotworowych • angiogeneza • immunosupresja
Tregs <i>ang. regulatory T lymphocytes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • zahamowanie cytotoksyczności T CD8+, limfocytów B, komórek dendrytycznych, komórek NK, makrofagów

Podczas rozwoju guza dochodzi także do angiogenezy (Ryc. 1.) mającej na celu lepsze zaopatrzenie komórek nowotworowych w tlen. Przełom naczyniowy, czyli moment, w którym przechodzi on z fazy awaskularnej do waskularnej, jest uzależniony od rozmiarów guza – uważa się, że wartość graniczna wynosi 2 mm^3 , a o stopniu unaczynienia świadczy tzw. gęstość mikrounaczynienia – MVD (ang. *microvessel density*). Angiogeneza następuje wtedy, kiedy w środowisku komórkowym występuje duże stężenie substancji proangiogennych takich jak czynnik wzrostu śródbłonka VEGF (ang. *vascular endothelial growth factor*) i metaloproteinaz MMPs (Knopik-Skrocka i in., 2017).



Ryc. 1. Rak neuroendokryny płuca (Large cell neuroendocrine carcinoma)
– pomiędzy gniazdami komórek rakowych widoczne naczynie krwionośne z rozgałęzieniami.
Reakcja immunohistochemiczna z przeciwciałem anti-CD34, barwienie hematoksylina, pow. x 10.
Kolor niebieski – jadra komórek, kolor brązowy – antygen CD34 komórek śródbłonka naczyń krwionośnych
(Jarmołowska-Jurczyszyn D. i in, 2017).

Istnieje kilka mechanizmów angiogenezy. Jednym z nich jest tzw. *sprouting angiogenesis*, czyli kiełkowanie. Polega na tworzeniu w wyniku proliferacji i migracji komórek śródbłonka nowych odgałęzień od istniejącej już sieci naczyń krwionośnych (Knopik-Skocka i in., 2017). Kiełkowanie zachodzi w wyniku współdziałania elementów mikrośrodowiska guza. Inicjuje je niedotlenienie, podczas którego jest uwalniany czynnik transkrypcyjny HIF-1 α . Odpowiada on za nadprodukcję VEGF (Knopik-Skocka i in., 2017), liganda dla receptorów VEGFR znajdujących się na powierzchni proliferujących ECs. Wspomniany czynnik jest produkowany przez TAMs stanowiące nawet 50% masy guza (Szala, 2009).

Zrekrutowane makrofagi są niezwykle ważne dla rozwijającego się nowotworu. Wytwarzają metaloproteiny, np. MMP-9, które indukują tzw. przełom naczyniowy i umożliwiają przejście z fazy awaskularnej do waskularnej, a także VEGF, sygnalizujący ECs potrzebę utworzenia kapilar. MMPs są również ważnym czynnikiem degradującym błonę podstawną naczynia maczynego, co wyznacza szlak dla przyszłego naczynia doprowadzającego krew do guza. Ponadto nowotwór może zrekrutować progenitorowe komórki śródbłonka EPCs ze szpiku kostnego za pomocą wydzielanych przez CAFs chemokin SDF-1 (Knopik-Skocka i in., 2017).

Wspomniana już endogлина również ma swój udział w procesie angiogenezy. Występuje na proliferujących komórkach śródbłonkowych naczyń krwionośnych, również tych zaangażowanych w tworzenie kapilar guza. W przypadku nowotworu CD105 przyczynia się do aktywowania antyapoptotycznych sygnałów w warunkach hipoksji, lecz przede wszystkim jej obecność na receptorze TGF- β w błonie komórek śródbłonka umożliwia ich aktywację i zajście angiogenezy. Powyższe zależności nowotwór - mikrośrodowisko pokazują, że guz działa jak samonapędzający się mechanizm. Wyjęty spod jakiegokolwiek kontroli, ograniczony jest tylko dostępem do substancji odżywczych – jednak, jak widać, także z dostarczaniem składników do rozrostu potrafi świetnie sobie poradzić.

Komórki nowotworowe charakteryzują się również wysoką plastycznością, objawiającą się na przykład w procesie zwanym przejściem epitelialno-mezenchymalnym (EMT, ang. *epithelial-mesenchymal transition*). Odpowiada ono za zdolność nowotworu do tworzenia przerzutów – komórka zamiast łączyć się z podłożem (fenotyp komórki epitelialnej), opuszcza pierwotną niszę i przedostaje się do naczyń krwionośnych lub limfatycznych – zyskuje możliwość przemieszczenia się (fenotyp komórki mezenchymalnej). EMT towarzyszy przede wszystkim zatrzymaniu wytwarzania białka E-kadheryny odpowiadającej za połączenia między komórkami i zwiększenie produkcji N-kadheryny, co uaktywnia połączenia między komórką a stromą (Szala, 2009). Substancje sprzyjające przejściu epitelialno-mezenchymalnemu to między innymi czynniki wzrostu pochodzące od komórek mikrośrodowiska takie jak EGF, TGF- β , PDGF. Ponadto do zajścia EMT niezbędne są wspomniane już metaloproteiny, w tym MMP-9, które umożliwiają poruszanie się komórek nowotworowych w macierzy zewnątrzkomórkowej.

Po przeanalizowaniu tylko kilku cech komórek nowotworowych można stwierdzić, że są one niezwykle trudnym przeciwnikiem. Wykazują nadekspresję wielu receptorów np. TGF- β z towarzyszącą mu endogliną i HER-2, skutecznie reagując na czynniki wzrostu wysyłane przez mikrośrodowisko. Mają zdolność tworzenia przerzutów i tworzenia wokół siebie naczyń krwionośnych. Leczenie powinno więc być na tyle silne, by dotrzeć do każdej komórki nowotworowej i ją unieszkodliwić. Niestety współczesne terapie pozostawiają wiele do życzenia.

Terapia tradycyjna i uniki nowotworu

Współcześnie stosuje się wiele rodzajów terapii przeciwnowotworowej. Są to zabiegi chirurgiczne, radioterapia, oraz najbardziej znana chemioterapia, której celem jest zatrzymanie podziałów komórkowych lub replikacji DNA (Ke i Shen, 2017). Mimo że powyższe metody praktykuje się od wielu lat, nadal nie są wystarczająco skuteczne. Charakteryzują się niską selektywnością w stosunku do komórek nowotworowych – leki używane w chemioterapii działają nie tylko na zmienione fragmenty tkanek, lecz również na zdrowe komórki, co powoduje osłabienie organizmu i zmniejsza szansę na wyleczenie (Aryal i Bisht, 2017). Paradoksalnie, forma terapii tradycyjnej sprzyja dostosowaniu się nowotworu do nowych warunków i jeszcze efektywniejszemu rozwojowi.

Przyczyną niepowodzenia wielu terapii substancjami chemicznymi jest zjawisko oporności wielolekowej MDR (ang. multidrug resistance) cechującej komórki nowotworowe. Jednym z jego głównych mechanizmów jest tzw. *drug efflux*, czyli zdolność do wypompowania substancji leczniczej z wnętrza komórki. Za tę właściwość odpowiedzialne są białka z rodziny ABC, występujące w błonie komórkowej. W zdrowym organizmie mają za zadanie uniemożliwić akumulację toksyn w komórkach, występują na przykład w tkance epitelialnej jelit lub w wątrobie. Odgrywają również ważną rolę w poprawnym funkcjonowaniu bariery krew-mózg (Housman i in., 2014).

Transportery ABC występują również w błonie niektórych komórek nowotworowych i ulegają nadekspresji. Zidentyfikowano 3 białka należące do wspomnianej grupy: MDR1 (ang. *multidrug resistance protein*), MRP1 (ang. *multidrug resistance-associated protein*) oraz BRCP (ang. *breast cancer resistance protein*). Mogą one usuwać z wnętrza komórek wiele ksenobiotyków, w tym niektóre alkaloidy, epipodofilotoksyny, antracykliny, taksany oraz inhibitory kinaz, zatem chronią one przed wieloma substancjami używanymi w chemioterapii, nie dopuszczając, by lek osiągnął oczekiwane stężenie. Co ciekawe, komórki, które w zdrowej formie nie produkują MDR1, takich jak komórki nabłonka płuc, piersi i prostaty, często po procesie nowotworzenia wykazują oporność lekową wynikającą z nadekspresji wspomnianego białka. Obecność transporterów ABC w obrębie guza pogarsza rokowania dla pacjentów i stanowi czynnik osłabiający efekt chemioterapii (Housman i in., 2014).

Innym sposobem na przetrwanie komórek nowotworowych podczas chemioterapii jest ich przejście w stan uśpionia, a po ustaniu działania leków dalszy wzrost. Według badań grupy Li krótka ekspozycja komórek rakowych piersi oraz prostaty zarówno na docetaksel, jak i doksorubicynę prowadzi do pojawienia się uśpionych komórek. Charakteryzują się spowolnionym cyklem, lecz zachowują aktywność metaboliczną. Po zakończeniu chemioterapii *in vitro* komórki, które wydawały się niezdolne do proliferacji, wznowiły wzrost. Przypomina to nawrót nowotworu spotykany często po wieloletnim, pozornym wyciszeniu choroby u pacjenta (Li i in., 2014).

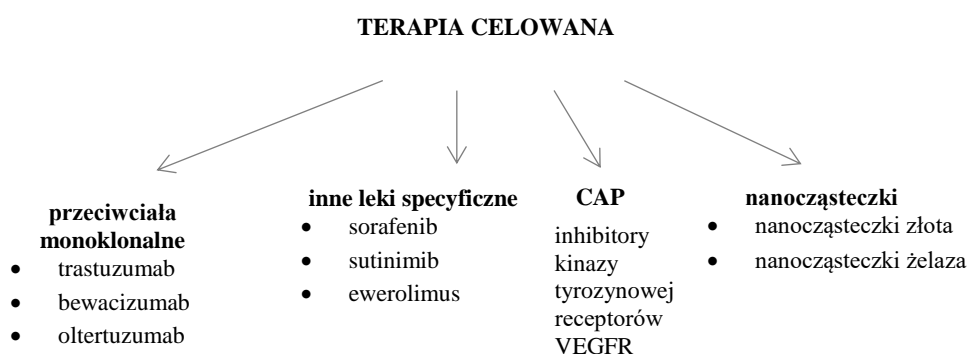
Ponadto komórki nowotworowe mogą wytwarzać substancje inaktywujące podawane leki. Enzymy z rodziny GST (ang. glutathione-S-transferase) w zdrowych komórkach mają za zadanie chronić makromolekuły przed działaniem czynników elektrofilowych. W przypadku nowotworów nadekspresja GST powoduje wzmożenie detoksykacji leków, co obniża ich skuteczność i zagraża powodzeniu terapii (Housman i in., 2014).

Terapia (wy)celowana, czyli jak przechrzyć wroga

Relację lekarz – nowotwór można przyrównać do wyścigu zbrojeń, w której jedna strona próbuje wymyślić jak najlepszy sposób na zniszczenie drugiej, nieprzewidywalnej i wykorzystującej każdą okazję do nabycia cech służących przetrwaniu. Na pewnym etapie tego wyścigu zdano sobie sprawę, że wpuszczanie do krwioobiegu pacjenta substancji chemicznych atakujących nie tylko nowotworowe, lecz i zdrowe komórki, traci sens. Ile osób można wyleczyć, wyniszczając ich organizm i mając nadzieję, że do guza szczęśliwie dotrze taka dawka substancji, która wystarczy do uśmiercenia nowotworu? Odpowiedź na to pytanie jest oczywista i niejako zmusiła zespoły naukowe do poszukiwań nowych rozwiązań. Obecnie dysponujemy wieloma metodami terapii celowanej, mającymi swoje zalety i wady.

Terapia celowana to taki sposób leczenia, który uwzględnia konkretne cechy komórek nowotworowych lub ich środowiska i wykorzystuje je do zwalczania choroby. W przeciwieństwie do chemioterapii, najnowocześniejsze techniki nie mają atakować zdrowych części tkanki, lecz tylko fragmenty zmienione nowotworowo. Dzięki rozwojowi medycyny, biochemii i biotechnologii możliwa jest produkcja różnorodnych leków nowej generacji i stosowanie ich w konkretnych przypadkach. O dużym postępie metod terapii celowanej może świadczyć fakt, że Amerykańska Agencja Żywności i Leków (FDA) w ciągu kilku ostatnich lat zatwierdziła więcej selektywnych leków, niż podczas dwóch dekad XXI wieku (Ke i Shen, 2017).

Terapię celowaną można podzielić na kilka typów metod w zależności od czynnika używanego do zwalczania nowotworu (Ryc. 2.). Wyróżniamy zatem leczenie przeciwciałami monoklonalnymi i ich pochodnymi, innymi substancjami ściśle ukierunkowanymi, złotymi nanocząsteczkami i wreszcie metodę CAP (ang. cold atmospheric plasma).



Ryc. 2. Rodzaje terapii celowanej w leczeniu przeciwnowotworowym

Pierwszą i chyba najbardziej rozbudowaną metodą terapii celowanej jest leczenie przeciwciałami monoklonalnymi mAbs (ang. *monoclonal antibodies*). Są to cząsteczki o masie ok. 150 kDa o charakterze immunoglobulin G (IgG). Mają trzy fragmenty funkcjonalne: dwa fragmenty Fab przyłączające antygen i jeden Fc odpowiedzialny za interakcję np. z komórkami układu immunologicznego (von Mehren i in, 2003). Cząsteczki przeciwciał monoklonalnych powstają w wyniku fuzji komórki nieśmiertelnej, np. komórki szpiczaka, z limfocytym B wytwarzającym swoiste przeciwciała i pobranym od poddanego immunizacji zwierzęcia (Sosińska-Mielcarek i Jassem, 2005). mAbs mogą być wycelowane w wiele elementów guza.

Przeciwciałem monoklonalnym obierającym za cel receptor HER-2, występujący na komórkach raka piersi, jest trastuzumab. Łączy się on z zewnątrzłonową częścią HER-2 i uniemożliwia zajście ścieżki sygnałowej proliferacyjnej RAS/Raf/MAPK (Ke i Shen, 2017). Ponadto pobudza cytotoksyczność uzależnioną od przeciwciał i układu dopełniacza. Trastuzumab wykorzystuje się w terapii kojarzonej z innymi, tradycyjnymi lekami, np. docetakselem, co pozwala zmniejszyć ryzyko nawrotu choroby o 50% (Powroźnik i in., 2012). Powyższe przeciwciało ma jednak pewne ograniczenia: nie jest skuteczne w przypadku chorych z przerzutami do ośrodkowego układu nerwowego, ponieważ ze względu na dużą masę cząsteczkową nie przechodzi przez barierę krew-mózg. Ponadto jednym z najpoważniejszych działań niepożądanych jest kardiotoxyczność trastuzumabu (Sosińska-Mielcarek i Jassem, 2005).

Innym celem mAbs jest receptor czynnika wzrostu naskórka, czyli EGFR (ang. *epidermal growth factor receptor*). Występuje on na powierzchni komórek nowotworowych pochodzenia nabłonkowego i odpowiada za zdolność komórek do proliferacji. Cetuksimab utrudnia wiązanie się ligandu z EGFR, sprzyjając jego internalizacji i degradacji, co prowadzi do zatrzymania wzrostu guza. Niestety w przypadku również tego przeciwciała monoklonalnego zaobserwowano efekty niepożądane, takie jak wysypka, która może być spowodowana wrażliwością pacjenta na leczenie (Sosińska-Mielcarek i Jassem, 2005).

Zdolność do angiogenezy jest cechą nowotworu, która umożliwia mu nieprzerwany wzrost i pogarsza rokowania dla chorującego. Czynnikiem decydującym o zajściu tego procesu jest VEGF, czynnik wzrostu śródbłonna, dlatego uznano bewacizumab za odpowiedni związek na lek. Substancja ta działa jako bloker VEGF-A i została dopuszczona do terapii m. in. raka jelita grubego i raka piersi. Bewacizumab okazał się środkiem dobrze hamującym angiogenezę, do której przyczyniają się ECs. Niestety inne badania ujawniły, że inhibicja tworzenia naczyń krwionośnych tworzy hipoksję, której konsekwencją nie była śmierć komórki, lecz zjawisko mimikry naczyniowej, czyli VM (ang. *vasculogenic mimicry*). Jest to proces, w którym powstają struktury naczyniopodobne formowane bezpośrednio przez komórki nowotworowe oparte na błonie podstawnej. Nie jest to jedyne podobieństwo do naczyń włosowatych gospodarza – w świetle VM stwierdzono obecność erytrocytów, co oznacza, że nowotworowe kapilary mają zdolność do łączenia się ze zdrowymi naczyniami. Ponadto wzrost aktywności MMPs sprzyja tworzeniu przerzutów (Knopik-Skrocka i in., 2017).

Przypadek bewacizumabu pokazuje, jak plastyczne mogą być komórki nowotworowe. Wydawałoby się, że zastosowanie tak swoistej metody jak terapii przeciwciałami monoklonalnymi zapewni sukces leczenia, jednak okazuje się, że guz potrafi wykształcić mechanizmy przeżyciowe, których nie można się spodziewać.

Skuteczność terapii mAbs zależy nie tylko od cech nowotworu, takich jak nierównomierne rozłożenie receptorów lub słabe ukrwienie, ale również od czynników związanych z samymi przeciwciałami. Początkowo terapie wykorzystywały immunoglobuliny mysie, które były odrzucane przez organizm i nie mogły zadziałać leczniczo. Na dodatek słabo pobudzały układ odpornościowy pacjenta. Poza tym podczas terapii występuje zagrożenie powstawania reakcji krzyżowych z antygenami prawidłowych tkanek (Sosińska-Mielcarek i Jassem, 2005).

Nie tylko przeciwciała monoklonalne można wykorzystać jako specyficzne blokery receptorów. Sorafenib hamuje proliferację komórek nowotworowych i angiogenezę, ponieważ działa na receptor czynnika wzrostu śródbłonna, VEGFR. Substancja ta była pierwszym lekiem efektywnie hamującym angiogenezę stan pacjentów z rakiem wątrobowokomórkowym i rakiem nerki. Podobną

substancją jest sirolimus wykorzystywany do inhibicji HIF-1 α . Blokuje to ścieżkę sygnałową mTOR, a w konsekwencji – zjawisko mimikry naczyniowej (Ku i Shen, 2017).

Niedawno postanowiono połączyć różne dziedziny nauki, by opracować leki nowej generacji. Jednymi ze składników tych medykamentów miałyby być złote nanocząsteczki, czyli GNPs (ang. gold nanoparticles). Cechuje je łatwość w kontroli i modyfikowaniu, biokompatybilność oraz bardzo niska toksyczność. Mogą one być wykorzystane jako nośniki leków, lokalizatory komórek nowotworowych, a także czynniki hamujące angiogenezę. GNPs mogą również łatwo przenikać do zmienionych tkanek. Złote nanocząsteczki niszczą komórki rakowe poprzez ich fototermalną ablację, uszkodzenia mechaniczne lub za pomocą leków. Należy jednak zaznaczyć, że zanim terapie wykorzystujące nanocząsteczki będą rutynowo stosowane, należy przeprowadzić szereg badań klinicznych, by wykluczyć na przykład negatywny wpływ na równowagę płynów ciała (Aryal i Bisht, 2017).

Innym ciekawym pomysłem jest wykorzystanie tzw. CAP, czyli zimnej plazmy atmosferycznej. Jest to odmiana czwartego stanu skupienia materii, w którym podgrzewa się ją tak mocno, że elektrony odrywają się od jądra atomowego, tworząc plazmę termiczną lub zimną (CAP). Jej temperatura niższa niż 40°C pozwala na użycie wobec żywych tkanek. Zimna plazma może zahamować aktywność komórek lub po prostu zniszczyć ich kluczowe struktury (Aryal i Bisht, 2017). Duże nadzieje budzi połączenie metod GNPs oraz CAP. Według niektórych badań zastosowanie plazmy wzmacnia aktywność nanocząsteczek, stymulując je do uśmiercenia komórek nowotworowych, na przykład czerniaka złośliwego (Kim i in., 2008). Terapię łączoną można zastosować w przypadku glejaka wielopostaciowego (Cheng i in., 2014), możliwe jest więc ominięcie trudnej do przejścia dla przeciwciał monoklonalnych bariery krew-mózg. Również w przypadku raka jelita grubego otrzymano satysfakcjonujące wyniki – połączenie CAP i GNPs poskutkowało zwiększoną śmiertelnością komórek nowotworowych (Irani i in., 2015). Najnowsze badania potwierdzają, że zastosowanie powyższej kombinacji prowadzi do apoptozy lub zmniejsza proliferację. Niewątpliwym jest, że ten kierunek w medycynie, a raczej nanomedycynie, stanowi poważną alternatywę dla dotychczas znanego leczenia. Oczywiście należy przeprowadzić badania kliniczne, by określić, w jakim stopniu zaproponowana terapia GNPs/CAP jest możliwa do realizacji na szerszą skalę.

Podsumowanie

Wieloletnie badania służące poznaniu komórek nowotworowych i ich mikrośrodowiska mają na celu odnalezienie takiej ich cechy, która pozwoliłaby opracować lek idealny, skuteczny, a zarazem nieszkodliwy dla zdrowych tkanek. Dzięki postępowi medycyny, nanotechnologii i biotechnologii jesteśmy coraz bliżej odnalezienia Świętego Graala onkologii.

Moim zdaniem aby opracować skuteczną terapię należy skupić się nie na jednym elemencie nowotworu, lecz na wielu jego cechach, ponieważ plastyczność guza pozwala mu na przetrwanie w skrajnie niekorzystnych warunkach. Jednym z przykładów terapii kombinowanej może być połączenie działania chemioterapii i przeciwciał monoklonalnych. W badaniach Robaka porównano działanie bendamustyny oraz połączenia bendamustyny i oltertuzumabu, humanizowanego przeciwciała monoklonalnego, które indukuje bezpośrednią apoptozę złośliwie zmienionych limfocytów B. Okazało się, że terapia łączona przyniosła lepsze rezultaty, niż chemioterapia samą bendamustyną (Robak i in., 2017). Stosuje się również połączenia kilku przeciwciał monoklonalnych lub kilku leków o dużej swoistości. Tego typu kombinacje również przynoszą pozytywne skutki terapeutyczne (Ke i Shen, 2017).

Niewątpliwym jest, że rozwój nauki i nieustające wysiłki lekarzy przyczynią się do odkrycia skutecznego leku na chorobę nowotworową, jednak należy również pamiętać o realnych możliwościach służby zdrowia i pacjentów. Cóż z tego, że dana metoda przyniesie bardzo dobre rezultaty, jeśli przeciętny obywatel nie będzie mógł sobie na nią pozwolić? Roczna kuracja trastuzumabem kosztuje kilkadziesiąt tysięcy funtów (Jeziorski, 2011), ponieważ produkcja przeciwciał monoklonalnych jest droga i czasochłonna. Podobnie może się zdarzyć w przypadku metody GNPs/CAP – produkcja nanocząsteczek oraz zimnej plazmy wymaga odpowiedniego sprzętu i wykwalifikowanych pracowników, co zwiększa cenę gotowego leku. Niestety wszelkie substancje mające pomóc chorym podlegają kontroli przemysłu farmaceutycznego, systemu podatkowego i woli sprzedającego. Trudno więc określić, czy skuteczna terapia tak powszechnej i trudnej choroby jak nowotwór będzie na tyle tania, by przeciętny Europejczyk lub Amerykanin mógł sobie na nią pozwolić.

Nowotwór jest trudnym przeciwnikiem, o skomplikowanej budowie i niekiedy nieprzewidywalnych reakcjach na leczenie. Jest zdolny do tworzenia przerzutów, wyrzucania substancji używanych w terapii, a nawet zmiany morfologii, aby móc przeżyć i rozwijać się. Mimo wielu lat badań nad jego cechami nadal stanowi zagadkę. Choroba nowotworowa występuje często, w wielu przypadkach kończy się śmiercią pacjenta, dlatego ważnym jest opracowanie skutecznego leku. Wydaje mi się, że holistyczne podejście do walki z guzem stanowi dobrą strategię i w przyszłości może zaowocować tym, że pacjent nie uzna tej choroby za wyrok, lecz czasowe, wyleczalne zaburzenie zdrowia.

Literatura

- Aryal, S., Bisht, G., 2017. New Paradigm for a Targeted Cancer Therapeutic Approach: A Short Review on Potential Synergy of Gold Nanoparticles and Cold Atmospheric Plasma. *Biomedicines*, 5 (3) 38.
- Albanell, J., Baselga, J., 1999. Trastuzumab, a humanized anti-HER2 monoclonal antibody, for the treatment of breast cancer. *Drugs Today (Barc)* 35, 931–946.
- Cheng, X., Murphy, W., Recek, N., Yan, D., Cvelbar, U., Vesel, A., Mozetič, M., Canady, J., Keidar, M., Sherman, J.H., 2014. Synergistic effect of gold nanoparticles and cold plasma on glioblastoma cancer therapy. *Journal of Physics D: Applied Physics* 47, [online]
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/47/33/335402/meta> [Dostęp: 16.12.2017]
- Housman, G., Byler, S., Heerboth, S., Lapinska, K., Longacre, M., Snyder, N., Sarkar, S., 2014. Drug Resistance in Cancer: An Overview. *Cancers*, 6, 1769–1792.
- Irani, S., Shahmirani, Z., Atyabi, S.M., Mirpoor, S., 2015. Induction of growth arrest in colorectal cancer cells by cold plasma and gold nanoparticles. *Archives of Medical Science*, 11, 1286–1295.
- Jarmołowska-Jurczyszyn D., Knopik-Skrocka A., Kluk A., Weręza K., 2017. Histological changes and cellular microenvironment of lungs in patients with squamous cell cancer, adenocarcinoma and neuroendocrine cancer – preliminary studies. *IVth International Conference on Research and Education, Faculty of Biology, A. Mickiewicz University of Poznań. Abstracts*, 94–95.
- Jarosz, M., Szala, S., 2013. Endoglin as a target of anti-tumor therapy. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 67, 79–89.
- Jeziorski, K.G., 2011. Rak żołądka – leczenie ukierunkowane monoklonalnie. *Onkologia w praktyce klinicznej*, 7 (5), 258–263.
- Ke, X., Shen, L., 2017. Molecular targeted therapy of cancer: The progres and future prospect. *Frontiers in Laboratory Medicine*, 1, 69–75.

- Kim, G.C., Kim, G.J., Park, S.R., Jeon, S.M., Seo, H.J., Iza, F., Lee, J.K., 2008. Air plasma coupled with antibody-conjugated nanoparticles: A new weapon against cancer. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42 [online], <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/42/3/032005/meta> [Dostęp: 16.12.2017]
- 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.
- Li, S., Kennedy, M., Payne, S., Kennedy, K., Seewaldt, V., Pizzo, S., Bachelder, R., 2014. Model of tumor dormancy/recurrence after short-term chemotherapy. *PLOS One*, 9 (5), e9802.
- Reece, J. B., (red.), 2016. *Campbell biology. Tenth Edition*. Poznań: Dom Wydawniczy REBIS.
- Robak, T., Hellmann, A., Kloczko, Loscertales, J., Lech-Maranda, E., Pagel J. M., Mato, A., Byrd, J. C., Awan, F. T., Hebart, H., Garcia-Marco, J. A., Hill, T. B., Hallek, M., Eisenfeld A. J., Stromatt, S. C., Jaeger, U., 2017. Randomized phase 2 study of oltretuzumab and bendamustine versus bendamustine in patients with relapsed chronic lymphocytic leukaemia. *British Journal of Haematology*, 176, 618–628.
- Pardali, E., Van Der Schaft, D., Wiercinska, E., Gorter, A., Hogendoorn, P., Griffioen, W., Ten Dijke, P., 2011. Critical role of endoglin in tumor plasticity of Ewing sarcoma and melanoma. *Oncogene*, 30, 334–345.
- Podstawka, U., Kopeć-Ślęzak, J., 2009. Komórki dendrytyczne, ich właściwości i pozyskiwanie do zastosowania w immunoterapii. *Postępy Nauk Medycznych*, 8, 541–546.
- Powroźnik, B., Kubowicz, P., Pękała, E., 2012. Przeciwciała monoklonalne w terapii celowanej. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 66, 663–673.
- Sosińska-Mielcarek, K., Jassem, J., 2005. Przeciwciała monoklonalne w terapii celowanej. *Onkologia w praktyce klinicznej*, 4 (1), 225–232
- Szala, S., 2009. Angiogeneza i immunosupresja: jin i jang progresji nowotworów?. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 63, 598–612.
- Von Mehren, K., Adams, G. P., Weiner, L. M., 2003. Monoclonal antibody therapy for cancer, *Annual Review of Medicine*, 54, 343–369.
- Weręza, K., 2016. *Mikrośrodowisko nowotworu – zróżnicowanie komórkowe, interakcje i cel terapeutyczny*. Praca licencjacka wykonana w Zakładzie Biologii Komórki Wydziału Biologii UAM w Poznaniu, pod kierunkiem dr A. Knopik-Skrockiej, we współpracy z Zakładem Patomorfologii Klinicznej Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu.

Krótką notką o autorze: Studentka pierwszego roku studiów licencjackich na kierunku Biotechnologia WB UAM w Poznaniu. Jej zainteresowania badawcze koncentrują się wokół biologii komórki, w szczególności procesów związanych z nowotworzeniem. Jest laureatką konkursu BESTStudentGRANT, w ramach którego realizuje projekt badawczy dotyczący poznawania nowych białek o potencjale przeciwwirusowym, przeciwnowotworowym i przeciwgrzybiczym.

Esej powstał podczas realizacji pilotażowego programu tutoring na WB UAM.

Czy nowe technologie medycyny molekularnej będą skutecznym remedium przeciwko chorobom przewlekłym i nowotworom?

Anna Kubiak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii
E-mail: anna.kubiak01@gmail.com

Tutor dr hab. Robert Nawrot

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

Słowa kluczowe - *Choroby przewlekłe, terapia genowa, komórki macierzyste*

1. Wprowadzenie

Choroby przewlekłe dotyczą dużej części społeczeństwa. Terapia większości z nich ciągle kojarzy się z nieustannym zażywaniem leków, które w głównej mierze łagodzą objawy, nie wpływając na ich przyczyny. Należą do nich między innymi choroby autoimmunologiczne, które związane są z produkcją przeciwciał rozpoznających własne komórki organizmu jako obce, w konsekwencji - niszczących je. Niektóre z nich dotyczą wyłącznie narządów, a inne całych układów. Niezależnie od typu, problem leży wciąż w zaburzonej autotolerancji komórek układu odpornościowego. Przyczyn takiego zachowania się komórek odpornościowych może być wiele i nadal nie wszystkie zostały dokładnie scharakteryzowane. Jedną z nich są nieprawidłowości komórek macierzystych, które produkując wadliwe limfocyty T i B prowadzą do zaburzeń ich funkcjonowania. Częstym czynnikiem zwiększającym prawdopodobieństwo rozwoju choroby autoimmunologicznej są predyspozycje genetyczne, ale autoagresja może zostać również wywołana przez drobnoustroje - przykładem takiego zjawiska jest powiązanie między wirusem Coxsackie B3, a cukrzycą typu I. Choroby autoimmunologiczne stanowią bardzo zróżnicowaną grupę, która ciągle jest badana i poznawana, a do wyleczenia na pewno potrzebny będzie ogromny nakład pracy badaczy i nowoczesne technologie (Głowacki, 2017).

Kolejny rodzaj schorzenia, które dotyczy coraz większej liczby osób, to nowotwory. Nie da się jednoznacznie określić przyczyny ich powstawania - do czynników stanowiących źródło nowotworzenia należą zarówno czynniki fizyczne, chemiczne, jak i biologiczne. Zjawiskiem przyczyniającym się do inicjacji procesów nowotworzenia są m.in. wirusy, należące do czynników biologicznych. Wirusy onkogenne mogą wpływać na komórki, na przykład poprzez zaburzenie procesów ich apoptozy, a także poprzez regulację ekspresji białek odpowiedzialnych za proliferację, czym prowadzą do nadmiernego jej zachodzenia i powstawania mutacji. Zjawiska te z kolei leżą u podstaw procesów nowotworzenia. Niektóre mutacje mogą prowadzić do przekształcenia protoonkogenów w onkogeny, które ulegając zwiększonej ekspresji powodują nadmierny wzrost i namnażanie się komórek, co prowadzi do przekształcenia się prawidłowych komórek

w nowotworowe. Stanowi to kolejną okoliczność sprzyjającą rozwojowi nowotworów. Zostały przeprowadzone badania nad zależnością między onkogenami, a nowotworami przez nie zainicjowanymi - u myszy dezaktywowano konkretne onkogeny. Wyniki tych badań były obiecujące - zahamowanie ekspresji jednego onkogenu, np. MYC lub RAS często skutkowało regresją nowotworu. Symptodem tej regresji było zatrzymanie proliferacji, zróżnicowanie się komórek nowotworu, starzenie, a nawet proces apoptozy (Głowacki, 2017; Khan i in., 2013).

2. Przykłady terapii

2.1 Wirusoterapia

Mimo, że wirusy przyczyniają się do rozwoju zarówno chorób autoimmunologicznych, jak i nowotworów, to niektóre z nich posiadają również właściwości, które pozwalają na walkę z tego typu chorobami. Taka terapia ma wielkie szanse na to, by okazała się remedium przeciwko wielu dolegliwościom. Przeprowadzone badania zarówno *in vitro*, jak i *in vivo*, wykazują skuteczność różnych rodzajów wirusów przeciwko poszczególnym chorobom. Jako przykład może posłużyć tutaj wspomniany już wirus Coxsackie B3 (CVB3), który wykazuje właściwości onkolityczne przeciwko niedrobnokomórkowemu rakowi płuc (*non-small-cell lung carcinoma* - NSCLC). Oznacza to, że wirus ten atakuje komórki nowotworowe, a następnie prowadzi do ich destrukcji. Po infekcji tym wirusem komórki nowotworu wydzielają białka uczestniczące w immunogennej apoptozie. CVB3 prowadzi również do aktywacji komórek NK i granulocytów, które uczestniczą w reakcji immunologicznej organizmu przeciwko temu rodzajowi raka. Badania te wykazały aktywność CVB3 jako dobrze tolerowanego przez organizm czynnika onkolitycznego, który dodatkowo stymuluje układ odpornościowy w walce z nowotworem (Inoue i in., 2012).

Innym wirusem mającym onkolityczne właściwości jest genetycznie zmodyfikowany wirus choroby Newcastle (rNDV). Działa on przeciwko nowotworowym komórkom macierzystym raka prostaty (*prostate cancer stem cells* - PSCs). Komórki tego typu nazywane są również komórkami inicjującymi nowotwór (*tumor initiating cells*), ponieważ uważa się, że to od nich zaczyna się inicjacja i progresja nowotworu. Mają one właściwości bardzo zbliżone do normalnych komórek macierzystych - przeprowadzają proces samoodnowy, są pluripotencjalne oraz posiadają mechanizmy chroniące komórkę. To właśnie przez istnienie tych mechanizmów, działanie konwencjonalnej terapii cytotoksycznej jest w stosunku do tych komórek macierzystych raka nieskuteczne. Wirusy onkolityczne umożliwiają korzystanie z innych sposobów niszczenia nowotworowych komórek macierzystych, które różnią się od mechanizmów, stosowanych w dotychczas znanych terapiach konwencjonalnych. Ponadto, rekombinowany rNDV aktywowany swoistym antygenem sterczowym (*prostate-specific antigen* - PSA) jest selektywnie cytotoksyczny dla komórek inicjujących nowotwór prostaty (DU145) (Allen i in., 2017). Ten typ komórek nowotworowych - w tym przypadku u glejaka - jest również celem kolejnego wirusa onkolitycznego - Zika (ZIKV). Należy on do flawiwirusów i w rozwijającym się centralnym układzie nerwowym prowadzi do różnicowania się prekursorowych komórek nerwowych, które w takim momencie tracą zdolność do proliferacji i umierają. U dorosłych natomiast, efekty infekcji tym wirusem są znacznie mniej poważne. Badania wykazały, że wirus ten w przeciwieństwie do innych flawiwirusów, które zabijały zarówno nowotworowe, jak i zdrowe komórki nerwowe, doprowadza do śmierci komórek macierzystych glejaka pobranych od pacjenta, pozostawiając zdrowe komórki nienaruszone. Jego działanie zostało zbadane także u myszy z glejakiem, u których stwierdzono dłuższą przeżywalność, kiedy zostały zakażone odpowiednio dostosowanym do tych zwierząt wirusem Zika (Chai i in., 2017).

2.2 Terapia genowa

Już w 2001 roku, Food and Drug Administration (FDA) zaakceptowała terapię przeciwko przewlekłej białaczce szpikowej przy pomocy innowacyjnego leku (imatinib). Lek ten jako pierwszy na rynku skierowany był przeciwko konkretnemu białku - kinazie tyrozynowej BCR-ABL. Kinaza ta jest zmutowaną wersją protoonkogenu *ABL*, a jej ekspresja prowadzi między innymi do niekontrolowanej proliferacji, zaburzeń w różnicowaniu komórek i uszkodzeń materiału genetycznego. Dopuszczenie tego leku do użytku stanowiło swego rodzaju przełom, gdyż zapoczątkowało odkrycia kolejnych terapii celowanych (*targeted agents*). Komórki nowotworowe mogą „uzależnić” się od zaburzonych sygnałów ze strony onkogenów (*aberrant oncogenic signaling pathways*), stąd ich wrażliwość na zatrzymanie procesu przekazywania tego typu informacji jest bardzo wysoka. Od imatinibu rozpoczął się rozwój kolejnych leków przeciwnowotworowych, o podobnym mechanizmie działania, co doprowadziło do tego, że obecnie istnieją leki skierowane przeciwko różnym rodzajom kinaz. Odkryto ponad 50 onkogenów, które częściowo już są celem terapii albo leki hamujące ich ekspresję są w fazie badań (Khan i in., 2013).

Terapia genowa to sposób leczenia polegający na modyfikacji ekspresji genów w komórkach pacjenta lub wprowadzeniu do jego komórek nowych sekwencji genetycznych. W przypadku nowotworów może być ona również skierowana przeciwko genom supresorowym. Ich uszkodzenia są najczęstszym genetycznym czynnikiem identyfikowanym w nowotworach u ludzi. Modyfikacja, mająca na celu wprowadzenie prawidłowych wersji genów supresorowych do komórek nowotworu może zostać przeprowadzona wewnątrznowotworowo (*intra-tumor*) przy użyciu wektora adenowirusowego. Badania kliniczne oparte na adenowirusie, który prowadził do ekspresji supresora nowotworów p53 (Onyx-015), niestety rozczarowały i zostały przerwane. Jednak badania nad kolejnymi terapiami wewnątrznowotworowymi, opartymi na wprowadzaniu wektora bezpośrednio do guza są dalej prowadzone, np. z użyciem OncoVex GM-CSF. Terapia ta daje obiecujące wyniki w badaniach klinicznych u pacjentów chorujących na czerniaka. Wspomniany wirus onkolityczny, oprócz kodowania tp53, przynosi również inne korzyści w walce z chorobą, indukując odpowiedź immunologiczną organizmu przeciwko komórkom nowotworowym (Khan i in., 2013).

Terapia genowa daje obiecujące efekty również w mysim modelu płasawicy Huntingtona (*Huntington's disease* - HD). Choroba ta spowodowana jest mutacją genów warunkujących ekspresję białka - huntingtyny (wtHtt), która normalnie bierze udział w wielu ważnych procesach zachodzących w komórkach. Należą do nich między innymi regulacja transkrypcji, utrzymywanie równowagi wapniowej, czy też synaptyczne przekazywanie sygnałów. Zmutowana wersja wtHtt - mHtt oprócz tego, że nie wykonuje prawidłowo swoich zadań, zaczyna dodatkowo oddziaływać z elementami komórek, co ma bardzo toksyczne działanie, skutkujące zaburzeniami w proteolizie, komunikacji międzykomórkowej, aktywności synaps i innych procesach komórkowych. Takie nieprawidłowe działanie mHtt jest przyczyną choroby Huntingtona, do której objawów należą problemy z motoryką, funkcjami poznawczymi oraz utrata wagi i zaburzenia psychiczne. Późne pojawianie się objawów HD sprawia, że istnieją szerokie możliwości związane z leczeniem presymptomatycznym, a to, że w ujęciu genetycznym choroba ta stosunkowo nie jest skomplikowana powoduje, że rozwój terapii genowej w jej przypadku powinien być szybki i skuteczny. Choroba Huntingtona prowadzi do degeneracji neuronów, co było jednym z celów opracowanej terapii genowej (Patterson i in., 2011). W badaniach próbowano uzupełnić utracone neurony poprzez podawanie czynnika wzrostu nerwów (*nerve growth factor* - NGF), który oprócz wspomaganie przetrwania komórek nerwowych, ogranicza ekspresję Htt. Drugim celem terapii genowej było zredukowanie poziomu mHtt, do czego wykorzystano między innymi przeciwciała anti-Htt. Badania te wykazały, że w przyszłości powstanie wiele możliwości związanych z terapią genową zarówno w odniesieniu do zapobiegania, jak i leczenia symptomów,

w przypadku tej choroby oraz innych chorób neurodegeneracyjnych, związanych z nieprawidłowościami w białkach (Patterson i in., 2011).

CRISPR/Cas9 to narzędzie służące do edycji genomu. Jego odkrycie stworzyło nowe możliwości w technikach modyfikacji materiału genetycznego, ponieważ metoda ta okazała się lepsza od swoich poprzedników, głównie ze względu na to, że jest tańsza i bardziej efektywna. Mechanizm jej działania pochodzi od bakterii, które dzięki CRISPR bronią się przed wirusami. Bakterie podczas infekcji pobierają DNA wirusowy i dzięki temu przy jego następnym pojawieniu się, rozpoznają wirusa i wytwarzają fragmenty RNA na podstawie pobranego wcześniej materiału genetycznego. Uczestniczy w tym procesie także enzym Cas9, który po ukierunkowaniu przez wytworzone RNA, unieczynnia wirusa. Białko Cas9 zostało również wykorzystane przez naukowców do edycji genomu. W celu jego zastosowania, tworzy się krótkie odcinki RNA (gRNA), które są komplementarne do wybranego odcinka genomu, a co za tym idzie przyłączają się do niego, jednocześnie wiążąc enzym. Następnie Cas9 rozcina DNA w określonym miejscu. Proces ten umożliwia wykonanie pożądanej modyfikacji materiału genetycznego. Mimo wielu zalet CRISPR/Cas9, metoda ta niestety również jest obciążona ryzykiem błędów, do których przede wszystkim należą mutacje w niezamierzonej lokalizacji. Takie zmiany mogą skutkować nawet śmiercią komórki, dlatego bardzo ważne są działania mające na celu udoskonalenie tej metody (Guo i in., 2014).

W przypadku zespołu nabytego upośledzenia odporności (*Acquired Immunodeficiency Syndrome* - AIDS), metoda CRISPR/Cas9 została wykorzystana do zmodyfikowania limfocytów T w taki sposób, aby zwiększyć ekspresję genu kodującego białko CCR5, co powoduje zwiększoną podatność takich limfocytów na zakażenie HIV-1. W ten sposób otrzymano komórki Jurkat-KI-R5. Będą one bardzo użyteczne zarówno w rozwoju metod terapii genowej AIDS, jak i badaniach nad HIV. Intensywnie wyczekiwaną i badaną strategią terapii genowej infekcji HIV, jest zaburzenie ekspresji CCR5 w limfocytach T CD4⁺, które miałyby zapewnić ich odporność na infekcję HIV oraz pomóc w eliminacji zainfekowanych komórek. Złożoność infekcji tym wirusem powoduje, że komórki Jurkat-KI-R5 są potrzebne, aby za ich pomocą badać mechanizmy rządzące samym wirusem, chorobą przez niego powodowaną – AIDS, oraz możliwości terapii. Należą do nich odporność wirusa na leki, efektywność terapii antyretrowirusowej oraz rozwój terapii genowej. Komórki te stanowią również doskonałe pole do dopracowania użycia metody CRISPR/Cas9 w przypadku modyfikowania genu *CCR5* (Fu i in., 2017).

Stwardnienie rozsiane (*multiple sclerosis* - MS) powoduje znaczne ubytki neurologiczne. Rozwój tej choroby rozpoczyna się od atakowania osłonki mielinowej przez układ immunologiczny, co prowadzi do problemów ze wzrokiem, mową, koordynacją ruchową i do osłabienia mięśni. Stosując model myszy, naukowcy dowiedli, że możliwe jest wyleczenie stwardnienia rozsianego, poprzez hamowanie reakcji odpornościowej, za pomocą kombinacji terapii genowej i leków immunosupresyjnych, stosowanych u biorców przeszczepów narządów. Gen kodujący białko budujące osłonkę mielinową (*myelin oligodendrocyte glycoprotein* - MOG) dostarczono do wątroby myszy, używając jako wektora wirusa związanego z adenowirusami (*adeno-associated virus* - AAV). Wątroba ma tutaj znaczenie, ponieważ celowanie terapii genowej w nią, zwiększa tolerancję immunologiczną. Terapeutycznie wprowadzone białko - MOG, efektywnie odwracało postęp choroby, a także zapobiegało jej wystąpieniu u myszy, które nie wykazywały objawów nawet po siedmiu miesiącach od przejścia takiej terapii. Jeszcze lepsze efekty odnotowano przy kombinacji terapii genowej z immunoterapią za pomocą rapamycyny. Lek ten stymuluje proliferację limfocytów T regulatorowych, przy hamowaniu limfocytów T efektorowych, które w przypadku tej choroby są niepożądane, ponieważ to one atakują komórki układu nerwowego. Badania te wykazały, że immunoterapia genowa po przeprowadzeniu badań, które poszerzą wiedzę na jej temat, może stanowić

skuteczny sposób leczenia zarówno stwardnienia rozsianego, jak i innych chorób autoimmunologicznych (Bennet, 2017).

2.3 Komórki macierzyste

Pęcherzowe oddzielanie się naskórka (*Junctional epidermolysis bullosa* - JEB) to choroba genetyczna spowodowana mutacjami w genach kodujących lamininę-332 - białko będące składnikiem błony podstawnej. Choroba ta ma ostry przebieg i często prowadzi do śmierci pacjenta. Wywołuje ona chroniczne rany skóry i błony śluzowej w odpowiedzi na nawet drobne urazy mechaniczne. Prowadzą one do przewlekłych infekcji i blizn, a także znacznie zwiększają ryzyko wystąpienia nowotworu skóry. Terapia dostępna obecnie polega na leczeniu objawowym, ponieważ nie ma lekarstwa na tę chorobę i ponad 40% chorych umiera jeszcze przed okresem dojrzenia. Bardzo ciekawym przypadkiem połączenia terapii za pomocą komórek macierzystych, czyli posiadających zdolność do podziałów i różnicowania się w różne typy komórek organizmu, oraz terapii genowej, jest przypadek 7-letniego chłopca, chorującego na JEB. Za pomocą transgenicznych kultur keratynocytów zregenerowano naskórek na powierzchni całego ciała tego pacjenta. W trakcie 21-miesięcznego okresu obserwacji, zregenerowany naskórek pozostał zdrowy i wytrzymały na uszkodzenia mechaniczne. Nie wystąpiły także pęcherze ani inne związane z tą chorobą uszkodzenia. Jest to w pełni funkcjonalny naskórek, utrzymywany przez ograniczoną liczbę transgenicznych komórek macierzystych, które potrafią się samodzielnie odnawiać. Ponadto wizualnie nie różni się on od normalnego naskórka (Bauer i in., 2017).

Przy okazji leczenia trudno gojących się ran, warto wspomnieć o pomysle polskiej badaczki - dr Honoraty Kraśkiewicz i jej zespołu z Instytutu Immunologii i Terapii Doświadczalnej im. L. Hirszfelda PAN, którzy prowadzą badania nad stworzeniem opatrunku hydrożelowego, który ma dodatkowo zawierać substancje lecznicze pochodzące z komórek macierzystych. Komórki te zostaną jednorazowo pobrane od zdrowego dawcy i hodowane w warunkach laboratoryjnych, tworząc linię komórkową. Ma to stanowić złoty środek pomiędzy kosztowną i problematyczną izolacją komórek macierzystych pacjenta, a trudnym procesem gojenia się rozległych ran bez użycia czynników terapeutycznych pochodzących z tych komórek (Krajczyńska, 2017).

3. Podsumowanie

Terapia genowa wymaga użycia narzędzi, za pomocą których można zmodyfikować wybraną część genomu. Rozwój takich metod rozpoczął się od białek zawierających palce cynkowe - *Zinc-Fingers*, które stanowiły pierwszą ukierunkowaną endonukleazę, za pomocą której można było edytować sprecyzowany fragment genomu ludzkiego. Na przestrzeni lat tego typu narzędzia bardzo dynamicznie się rozwijały, co doprowadziło do odkrycia technologii CRISPR/Cas9, która dzięki swojej uniwersalności, stała się jedną z najpopularniejszych narzędzi dzisiejszej biotechnologii. Wadą tej techniki jest to, iż powoduje ona mutacje prowadzące do zmiany ramki odczytu, co nie jest wykrywane w trakcie transkrypcji i może skutkować powstaniem skróconych wersji białek, które będą nieprawidłowo funkcjonowały. Istniejące strategie naprawy niepożądanych mutacji wywołanych przez nukleazę typu "dzikiego" SpCas9 nie są całkowicie skuteczne, stworzono jednak zmodyfikowaną SpCas9-HF1, która powoduje znacznie mniej mutacji niepożądanych niż SpCas9. Różnica występująca pomiędzy tymi dwoma typami nukleaz, polega głównie na ograniczeniu zbędnego kontaktu pomiędzy SpCas9-HF1, a DNA. Dokonano tego, poprzez obniżenie energii kompleksu w taki sposób, że w pełni wystarczy jej na prawidłowy kontakt pomiędzy odcinkiem genomu,

stanowiącym cel działania, a nukleazą, ale zdolność do interakcji z fragmentem DNA spoza określonego celu jest zdecydowanie niższa. Alternatywnym sposobem *knock outu* genów jest metoda łącząca CRISPR/Cas9 z CRISPR-Trap, która zapobiega powstawaniu problematycznych produktów ubocznych edycji genów, poprzez całkowite zahamowanie transkrypcji, za pośrednictwem usunięcia lub zastąpienia endogennej ramki odczytu (Benitez i in., 2017; Joung i in., 2016).

Wiele rodzajów terapii genowej daje obiecujące efekty zarówno *in vitro*, jak i na modelach zwierzęcych. Gdy jednak dochodzi do badań klinicznych z udziałem ludzi, często zdarza się, że wyniki zupełnie rozczarowują. Dlatego istotne jest, aby stosować jak najwięcej różnych rodzajów terapii genowej, ponieważ nie wiadomo, która z tych skutecznych u zwierząt okaże się równie efektywna u ludzi (Patterson i in., 2011).

Terapie z użyciem wirusów wykazują skuteczność przeciwko różnym chorobom. Wirusy onkolityczne prowadzą do zahamowania progresji nowotworów, a także indukują apoptozę komórek nowotworowych. Nie można jednak pomijać roli immunoterapii w takich procesach, ponieważ te dwa rodzaje leczenia, w połączeniu mogą dawać naprawdę niesamowite efekty. Dokładne zrozumienie udziału układu immunologicznego w mechanizmach terapeutycznych, może w przyszłości skutkować stworzeniem skutecznego remedium przeciwko wielu chorobom. Wykorzystanie wirusów onkolitycznych w immunoterapii daje nadzieje na nowe możliwości, ponieważ ze względu na zaburzenie przez nie struktury guzów, uważa się, że wirusy te mogą podwyższać skuteczność różnych immunoterapii. Ponadto, większość z nich pobudza układ immunologiczny do działania przeciwko komórkom nowotworowym, co brzmi obiecująco, biorąc pod uwagę potencjał, jaki może występować w różnych rodzajach leczenia, w których w jakikolwiek sposób może uczestniczyć układ odpornościowy. Jest to szansa na zrewolucjonizowanie terapii antynowotworowej, jednak najpierw trzeba dokładnie poznać interakcje pomiędzy komórkami układu immunologicznego, a wirusami onkolitycznymi, których mechanizmy działania są bardzo złożone (Boisgerault i in., 2017).

Uważa się, że komórki, które występują w nowotworach i są zdolne do samoodnowy oraz różnicowania się w różne typy komórek, odpowiadają za progresję nowotworu, a także jego przerzuty. Jest to na razie tylko hipoteza, ponieważ prowadzonym dotychczas badaniom brakuje jeszcze niektórych elementów, aby możliwe było naukowo udowodnienie występowania komórek o takich właściwościach w nowotworach. Mimo braku ostatecznego potwierdzenia tej teorii, takie komórki są coraz odważniej nazywane komórkami macierzystymi nowotworu lub też komórkami inicjującymi nowotwór. Dokładne zbadanie, a co za tym idzie zrozumienie ich potencjalnej roli w procesach nowotworzenia, stymulacji angiogenezy, a także w nadawaniu nowotworom charakteru złośliwego, daje duże możliwości na opracowanie skutecznych metod leczenia nowotworów (Sokołow, 2017).

Terapia z użyciem komórek macierzystych z jednej strony, daje nadzieje na wyleczenie wielu chorób, między innymi ortopedycznych, czy też neurologicznych. Jednak z drugiej strony, sugestie mówiące, że komórki te potrafią "wyczuć" środowisko, w którym się znajdują, czy też, że mogą naprawić każde uszkodzenie, nie są oparte na przekonujących dowodach, pochodzących z kontrolowanych badań klinicznych. Regulacje, które muszą zostać spełnione, aby taki proces mógł zostać uznany za kontrolowany, są zbyt wygórowane dla wielu małych instytucji przeprowadzających tego typu badania, stąd trudno jest zdobyć wystarczającą ilość wiarygodnych danych, aby terapia z użyciem komórek macierzystych mogła wejść do powszechnego użytku. Takie standardy są jednak zrozumiałe, chociażby ze względu na przypadki niepożądanych działań wywołanych przez komórki macierzyste, które miały miejsce. Za przykład może posłużyć próba leczenia zwyrodnienia plamki żółtej, za pomocą wprowadzenia komórek macierzystych bezpośrednio do oczu pacjentów. Po takiej terapii trzy osoby doświadczyły pogorszenia wzroku, z czego dwie stały się niewidome. Nie jest to

jednak powód, aby zupełnie zaprzestać badań nad nowymi technologiami medycznymi. Wręcz przeciwnie - takie przypadki dowodzą tego, jak istotne jest dokładne zrozumienie procesów, które zachodzą w organizmie ludzkim, który przecież jest niesamowicie złożony, a przewidzenie tego, jak poszczególne komórki zareagują na działanie z zewnątrz, jest ogromnym wyzwaniem, o ile w ogóle jest możliwe. Medycyna molekularna stanowi bardzo dynamicznie rozwijającą się gałąź z pogranicza biologii, biotechnologii i medycyny, która w przyszłości doprowadzi do powstania terapii dających możliwość całkowitego wyleczenia wielu chorób, które na chwilę obecną są nieuleczalne. Kierunków rozwoju jest wiele i co chwilę odkrywane są informacje owocujące nową gałęzią badań lub umożliwiające lepsze zrozumienie tych, które już istnieją, w konsekwencji ich - udoskonalenie (Califf i in., 2017).

Literatura:

- Allen A., Biswas M., Pudupakam R. S., Raghunath S., Sriranganathan N., 2017. Genetically engineered oncolytic Newcastle disease virus mediates cytolysis of prostate cancer stem like cells. *Journal of Biotechnology*, 260, 91–97.
- Bauer J. W., Bicciato S., Bondanza S., Carulli S., Contin R., De Luca M., De Rosa L., Enzo E., Fischer M., Hirsch T., Jacobsen F., Jurman I., Klausegger A., Kneisz D., Kueckelhaus M., Lehnhardt M., Luecke T., Morgante M., Pellegrini G., Quaglino D., Reichelt J., Romano O., Rothoef T., Scaglione D., Seconetti A. S., Teig N., 2017. Regeneration of the entire human epidermis using transgenic stem cells. *Nature*, 551, 327–332.
- Benitez J. A., Colombo M., Domanski M., Hedlund E., Jutzi D., Mechtersheimer J., Nasif S., Reber S., Ruepp M.D., 2017. CRISPR-Trap: A clean approach for the generation of gene knockouts and gene replacements in human cells. *Molecular biology of the cell*, 22(28).
- Bennet D., 2017. Unique gene therapy prevents, reverses multiple sclerosis in animal model. *University of Florida Health* [online], <https://ufhealth.org/news/2017/unique-gene-therapy-prevents-reverses-multiple-sclerosis-animal-model>
- Boisgerault N., Grégoire M., Fonteneau J. F., 2017. Viral cancer therapies: are they ready for combination with other immunotherapies?. *Future oncology*, 13(18), 1569–1571.
- Califf R. M., Marks P. W., Witen C. M., 2017. Clarifying Stem-Cell Therapy's Benefits and Risks. *The New England journal of medicine*, 376(11), 1007–1009.
- Chai J. N., Chheda M. G., Diamond M. S., Fernandez E., Gorman M. J., Hubert C. G., McKenzie L. D., Prager B. C., Rich J. N., Richner J. M., Shan C., Shi P. Y., Tycksen E., Wang X., Zhang R., Zhu Z., 2017. Zika virus has oncolytic activity against glioblastoma stem cells. *The Journal of experimental medicine*, 214(10), 2843–2857.
- Fu X., He J., Zhang T., 2017. Using a novel cellular platform to optimize CRISPR/CAS9 technology for the gene therapy of AIDS. *Protein Cell*, 8(11), 848–852.
- Głowacki Ł., 2017. Choroby autoimmunologiczne – mechanizmy powstawania, Wirusy i choroby nowotworowe. *Biotechnologia.pl* [online], <http://biotechnologia.pl/biotechnologia/choroby-autoimmunologiczne-mechanizmy-powstawania,17211>, <http://biotechnologia.pl/biotechnologia/wirusy-i-choroby-nowotworowe,16813>
- Guo X., Wen Y., Zhang F., 2014. CRISPR/Cas9 for genome editing: progress, implications and challenges. *Human molecular genetics*, 23, R40-R46.
- Inoue H., Marumoto T., Miyamoto S., Nakamura T., Nakanishi Y., Okazaki T., Sakamoto C., Shimizu H., Takahashi A., Takayama K., Tani K., Urata Y., Yamada M., 2012. Coxsackievirus B3 Is an Oncolytic Virus with Immunostimulatory Properties That Is Active against Lung Adenocarcinoma. *Cancer research*, 72(10), 2609–2621.

- Joung J. K., Kleinstiver B. P., Nguyen N. T., Pattanayak V., Prew M. S., Tsai S. Q., Zheng Z., 2016. High-fidelity CRISPR–Cas9 nucleases with no detectable genome-wide off-target effects. *Nature*, 529(7587), 490–495.
- Khan M., Pelengaris S., 2013 *The Molecular Biology of Cancer: A Bridge from Bench to Bedside*, Wiley-Blackwell
- Krajczyńska E., 2017. Stem cells will help to treat hard-to-heal wounds. PAP - Science and Scholarship in Poland [online], <http://scienceinpoland.pap.pl/en/node/25549>
- Patterson P. H., Southwell A. L., 2011. Gene Therapy in Mouse Models of Huntington Disease. *The Neuroscientist: a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, 17(2), 153–162.
- Sokołow A., 2017. Nowotworowe komórki macierzyste. *Biotechnologia.pl* [online], <http://biotechnologia.pl/biotechnologia/nowotworowe-komorki-macierzyste,17296>

Krótką notką o autorze: *Studentka pierwszego roku studiów licencjackich na kierunku biotechnologia. Zainteresowana głównie medycznymi aspektami biotechnologii i genetyki człowieka.*

Rośliny modyfikowane genetycznie - zmierzch cywilizacji czy zbawienie ludzkości?

Aleksandra Adamczyk, Ewa Banaszak, Marta Rozynek, Karolina Rybacka

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii
E-mail: aleksandra.adamczyk98@gmail.com, ewa.banaszak@icyber.pro,
rozynekmarta@gmail.com, rybacka.karolina1926@gmail.com

Tutor: dr hab. Sławomir Borek

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

Słowa kluczowe – *biotechnologia, GMO, rośliny transgeniczne*

Wysokie standardy rzetelności i skrupulatne przestrzeganie właściwego dla nauki systemu wartości muszą stanowić nieodłączny atrybut pracy naukowej, której główną inspiracją jest pogłębianie potwierdzonej wiedzy i poszerzanie jej horyzontu poza granice tego, co jest już znane, a także dzielenie się nią z innymi (Kodeks etyki pracownika naukowego, Komisja do spraw etyki w nauce, 2012). Istnieją jednak zagadnienia, które dzielą środowiska naukowe i wywołują liczne obawy wśród społeczeństwa. Jednym z nich są GMO (organizmy modyfikowane genetycznie, z ang. *genetically modified organism*). Jest to obecnie jeden z najbardziej rozpoznawalnych akronimów w dziedzinie biotechnologii. Oznacza on organizmy roślinne, zwierzęce oraz mikroorganizmy, których genomy zostały zmienione przez człowieka w sposób celowy. Bez wątpienia organizmy GM na stałe odmieniły losy ludzkości, a życie bez nich stało się niemal niewyobrażalne. Budzą one jednak wiele kontrowersji, a grono przeciwników GMO stale się powiększa. Jednak większość krytyki kierowanej w stronę działalności związanej z organizmami modyfikowanymi genetycznie dotyczy tak naprawdę rzeczy nie wynikających z natury samych organizmów, a z zabiegów człowieka wokół nich. Jednym z bardzo wczesnych takich działań była tzw. Zielona Rewolucja. Był to program Organizacji Narodów Zjednoczonych realizowany w latach 60-ych XX wieku mający na celu zlikwidowanie zjawiska głodu na Ziemi. Ważnym czynnikiem było właśnie wyhodowanie nowych odmian zbóż: pszenicy, ryżu i kukurydzy, charakteryzujących się dużą plennością i odpornością na choroby. Wynikł z tego szereg negatywnych następstw ekologicznych, ale ich przyczyną nie był zmieniony genom wyhodowanych roślin, lecz niekorzystne przekształcenia środowiska przyrodniczego w wyniku wprowadzania monokultur rolnych, przeprowadzania nieprzemyślanych melioracji czy nadmiernego zużycia wody w celu nawadniania, nadużywania nawozów sztucznych i pestycydów (Encyklopedia PWN, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/zielona-rewolucja;4001415.html>). Same rośliny nie były też stricte GMO, gdyż pierwsze organizmy nazwane w ten sposób powstały dopiero w 1973 roku.

Człowiek jako istota cudzożywna, praktycznie od zawsze był uzależniony od, między innymi, roślin. Modyfikacje genetyczne wprowadzane metodami hodowlanymi są znane od starożytności – w ten sposób za pomocą selektywnego krzyżowania wytworzono heksaploidalną pszenicę zwyczajną oraz szereg mieszańców, takich jak pierwsonek czy liczne międzygatunkowe krzyżówki wśród

zwierząt (np. muł). Dzisiejsza inżynieria genetyczna pozwala na szybsze i bardziej precyzyjne operacje, na przykład wybranie danego genu i umieszczenie go w genomie rośliny, co powoduje natychmiastowy efekt w postaci jego ekspresji i powstania białka. Głównym założeniem transgenizacji od 2005 roku stało się polepszanie wartości jakościowych plonów. Spośród wszystkich prób otrzymywania roślin GM o komercyjnym znaczeniu aż 51% przypada na ten właśnie cel. Modyfikacje genetyczne budzące najwięcej kontrowersji to przeważnie wprowadzenie genów pochodzących z innych gatunków, które nadają modyfikowanemu organizmowi pożądaną cechę, niewystępującą u niego naturalnie. Część naukowców oczywiście uznaje to za wręcz spektakularne odkrycie stwarzające ogromne możliwości, ale opinia publiczna jest podzielona. Można odnieść wrażenie, że u wielu ludzi takie modyfikacje budzą swego rodzaju lęk. Z czego jednak ten lęk wynika? Boimy się tego, czego nie znamy, a prawdą jest, że wielu z nas niewiele wie o organizmach powstających za pomocą technik inżynierii genetycznej. Większość z mitów dotyczących GMO dawno obalono, ale nadal są one powtarzane przez opinię publiczną. Najczęstszym zarzutem jest to, jakoby spożywanie transgenicznych roślin prowadziło do częstszych alergii, wpływało na płodność, czy wywoływało nowotwory, a nawet prowadziło do ingerencji w nasze DNA, czy DNA zwierząt, które pasłyby się paszami wytwarzanymi z transgenicznych roślin. Tymczasem powstało wiele opracowań naukowych zaprzeczających tym zarzutom, a nieliczne je potwierdzające, najczęściej okazywały się zmanipulowane lub opłacone – oczywiście pozytywne raporty również zdarzały się zmanipulowane, ale ich procent jest zdecydowanie mniejszy (Rotkiewicz, 2011).

Zalet organizmów modyfikowanych genetycznie jest całe mnóstwo, wiele użytecznych zmian zostało wprowadzonych na przykład w rolnictwie. Ingerowanie w materiały genetyczne poszczególnych gatunków roślin poprawia ich jakość pod względem sensorycznym, odżywczym, zmniejsza również straty wynikające z transportowania i przechowywania. Według danych FAO (Food and Agriculture Organization) nawet 20–30% plonów jest niszczone przez szkodniki i choroby. Dlatego nieuniknione było rozpoczęcie poszukiwań sposobu, w jaki możemy chronić rośliny przed różnego rodzaju patogenami, grzybami, wirusami, insektami czy herbicydami (Malepszy, 2001). Szczególnie interesujące są prace związane z uzyskiwaniem roślin odpornych na herbicydy – syntetyczne lub naturalne związki, które wykorzystywane są w niszczeniu chwastów. Mogą one jednak działać toksycznie na różne grupy roślin, w tym na rośliny uprawiane, zatem odporność na nie stała się powszechnie stosowaną modyfikacją w przemyśle biotechnologicznym. Najczęściej nadaje się roślinom odporność na herbicyd Roundup, który zawiera substancję czynną – glifosat, hamującą działanie bardzo ważnego dla roślin enzymu – syntazy EPSPS. Jest to kluczowy enzym w biosyntezie aromatycznych aminokwasów. Modyfikacja zapewniająca odporność na ten herbicyd zostaje uzyskana poprzez wprowadzenie do rośliny genu kodującego syntazę EPSPS niewrażliwą na herbicyd, lub przez wprowadzenie genu odpowiedzialnego za powstanie reduktazy glifosatu – enzymu rozkładającego glifosat (Mickiewicz i in., 2006). Glifosat niszczy chwasty zarówno jednoliścienne, jak i dwuliścienne, zatem jest on niezmiernie skuteczny. Kolejnym popularnym herbicydem jest fosfotrycyna (glufosynat), która niszczy chwasty jednoliścienne m. in. perz występujący w uprawach ziemniaków lub buraka cukrowego. Fosfotrycyna jest kompetycyjnym inhibitorem syntetazy glutaminy i w ten sposób powoduje raptowny wzrost poziomu amoniaku w komórkach chwastów, konsekwencją czego jest śmierć organizmu (Nowaczyk i Obrępańska-Stęplowska, 2006). Korzyścią z tego płynącą jest ograniczenie stosowania środków chemicznych oraz zmniejszenie nakładu pracy. Pośrednio zwiększa to wydajność upraw przy jednoczesnym zmniejszeniu ich kosztów.

Poważnym problemem, z jakim borykają się rolnicy są choroby grzybowe i bakteryjne roślin niszczące niekiedy całe uprawy. Odporność na nie można uzyskać poprzez wprowadzenie transgeny kodującego enzymy degradujące ścianę komórkową patogenu (np. chitynaza czy glukanaza) lub

białko, które wiąże się z błoną komórkową bakterii powodując jej zniszczenie (osmotyna). Straty w produkcji roślinnej powstają nie tylko na polach wskutek chorób i szkodników, ale też podczas transportu i przechowywania plonów. Aby wydłużyć np. trwałość owoców rolnych stworzono pomidora FlavrSavr, który w 1994 roku jako pierwsza transgeniczna roślina wprowadzona do powszechnego obrotu miała podbić świat. Cechą charakterystyczną tego pomidora było zmniejszenie ekspresji genu kodującego poligalaktouronazę – enzym odpowiedzialny za rozkład ściany komórkowej. Taka ingerencja w materiał genetyczny powoduje, że pomidory nie mięknią, a ich dojrzewanie jest wolniejsze, co umożliwia łatwiejszy ich transport. Ponadto, mogą być one przechowywane przez dłuższy czas.

Rośliny jadalne są modyfikowane dodatkowo w celu polepszenia ich wartości odżywczych, wzbogacenia o mikro- i makroelementy, a także poprawy walorów smakowych i estetycznych. Tworzone w ten sposób transgeniczne rośliny mają cechy, których nie można uzyskać metodami tradycyjnej hodowli, względnie proces hodowli trwałby zbyt długo. Jednym z najbardziej znanych przykładów roślin transgenicznych jest „złoty ryż” – odmiana ryżu siewnego uzyskana metodami inżynierii genetycznej syntetyzująca β -karoten w bielmie nasion. Odmiana powstała z myślą o niedożywionej ludności krajów rozwijających się, w których dzieci zapadają na ślepotę zmierzchową (powstającej wskutek upośledzenia czynności pręcików w siatkówce oka) z uwagi na brak witaminy A. β -karoten zawarty w jadalnych częściach ryżu jest właśnie prowitaminą A. Chociaż eksperyment nie w pełni przyczynił się do osiągnięcia zakładanych rezultatów, to był to krok w kierunku stworzenia całej gamy produktów określanych mianem „żywności funkcjonalnej”. Jest to żywność, której poza podstawowym zadaniem, jakim jest odżywianie, przypisuje się pozytywny psychologiczny lub fizjologiczny wpływ na ludzki organizm. Może np. obniżać poziom cholesterolu, wzmacniać układ odpornościowy, przywracać równowagę mikrobiologiczną układu pokarmowego, wspomagać leczenie zespołu jelita drażliwego, działać przeciwzapalnie czy chociażby nie wywoływać alergii, jak np. modyfikowane genetycznie orzeszki.

Zupełnie innym zagadnieniem jest agrofarmaceutyka polegająca na wykorzystaniu roślin transgenicznych jako bioreaktorów do produkcji białek, które mogą być wykorzystane w terapii lub diagnostyce medycznej. Szczególnie cennymi białkami pozyskiwanymi z roślin są interleukiny, cytokiny, hormony wzrostu, kolagen czy też antygeny wirusowe lub bakteryjne, mogące stanowić doustne szczepionki. Dowiedziono, że wiele substancji cennych z punktu widzenia medycyny – leki i szczepionki – może być produkowanych przez zwierzęta transgeniczne oraz rośliny wytwarzające np. białka wirusowe lub bakteryjne. Genetyczne modyfikacje pozwalają na zwiększenie spektrum produktów pozyskiwanych z tych roślin, które mogą wytwarzać przeciwciała, szczepionki i różnego rodzaju leki. Udowodniono, że podobnie jak ma to miejsce w przypadku tradycyjnych szczepionek doustnych, spożycie odpowiednio zmodyfikowanej rośliny indukuje odpowiedź odpornościową konsumenta na dany patogen. Antygen znajdujący się wewnątrz komórki roślinnej jest chroniony przed zbyt wczesnym strawieniem w układzie pokarmowym, zastosowanie liofilizatów sprawia, że szczepionka może być przechowywana długo, nawet w temperaturze pokojowej. Koszty wyprodukowania jadalnej szczepionki w roślinie są wbrew pozorom niższe od tradycyjnej produkcji szczepionek. Dowodem takiej szczepionki jest zmodyfikowany ziemniak wytwarzający podjednostkę termolabilnej enterotoksyny B enterotoksycznej *Escherichia coli*. W testach laboratoryjnych u myszy karmionych surowym transgenicznym ziemniakiem zaobserwowano indukcję odpowiedzi immunologicznej na antygen.

Środowisko naturalne również nie pozostaje obojętne na wpływ GMO. Niektóre procesy naturalne są wspomagane przez zmodyfikowane rośliny. Mimo iż działania w tym kierunku nie są prowadzone na dużą skalę, to przemysł biotechnologiczny nadal rozszerza swoje badania w tej

dziedzinie. Rośliny GM mogą być wykorzystywane m. in. do oczyszczania środowiska. Ponadto rośliny transgeniczne mogą przyczyniać się do ograniczenia wykorzystywania zasobów pochodzących ze środowiska. Procesem, dzięki któremu z wód i gleb mogą być usuwane zanieczyszczenia, jest fitoremediacja. Zazwyczaj wykorzystuje się przy tym mikroorganizmy np. bakterie, jednakże od pewnego czasu bioinżynierowie prowadzą pod tym kątem badania, które polegają na tym by do genomów roślin przenieść geny bakterii wykorzystywanych w fitoremediacji. Obecnie udało się już wygenerować m. in. gorczycę sarepską, która może usuwać ze środowiska ołów, czy tobołki polne rozkładające nikiel i cynk.

Czy inżynieria genetyczna jest „lepszym stwórcą”? Czy możemy się pokusić o tak daleko idące sformułowanie? Widać jak wiele przemawia za GMO, liczba przywołanych przez nas argumentów jest niczym ukłon w kierunku inżynierii genetycznej. Jesteśmy świadome tego, że technologia idzie do przodu, a świat potrzebuje pełnych zapasu do pracy młodych naukowców, którzy właśnie odkrywając nowe technologie, będą mogli tworzyć inteligentnie i w bezpieczny dla ludzkości sposób organizmy transgeniczne. Ludzie muszą tylko chcieć. Chcieć w ogóle zdać sobie sprawę, że GMO nie są tworzone „dla zabawy”, ale z myślą właśnie o ludzkości. Dlatego też nie powinno się wysuwać pochopnych wniosków i od razu podpisywać się pod zdaniem, że „inżynierowie genetycy powinni od zaraz zaprzestać swoich badań zanim Bóg czy Natura powezmą straszliwą zemstę”. Warto wspomnieć, że członkowie Papieskiej Akademii Nauk opowiadają się za pracami nad roślinami transgenicznymi oraz ich wykorzystaniem w rolnictwie (Rotkiewicz, 2011). Nie jest to więc sprzeczne przynajmniej z katolicką wiarą, która w naszym kraju dominuje. O bezpieczeństwie transgenicznych roślin świadczy również to jak duży procent funduszy, które pochłaniają badania nad nią przeznaczony jest właśnie na zagadnienia biobezpieczeństwa. Takie organizmy muszą spełniać szereg restrykcyjnych wymagań. Unia Europejska przeprowadza na dodatek osobne testy aby dopuścić takie rośliny do uprawy na jej terenie. Edwin Chargaff twierdzi, że „Era nauki, jako niekończącego się poszukiwania prawdy o naturze, poszukiwania, które miało pomóc nam zrozumieć funkcjonowanie świata, skończyła się. Zaczęła się nowa era; nauka jest teraz rzemiosłem, sztuką manipulowania, modyfikowania i ukierunkowywania sił natury”. Próby ucieczki przed nadchodzącą nową erą niezależnie czy wynikają z ignorancji, niewiedzy czy strachu są niebezpieczne, gdyż hamują rozwój wielu dziedzin naukowych. Co komu po nowych transgenicznych roślinach, gdy nie mogą one trafić na rynek? A będą nam one coraz bardziej potrzebne. Tradycyjne rolnictwo nie da rady wyżywić zwiększającej się populacji ludzkiej zwłaszcza, że w największym stopniu przyrasta ona w krajach rozwijających się, które już mają problem z zapewnieniem pożywienia dla swoich mieszkańców. Zwiększające się ceny żywności doprowadzą do większych podziałów społecznych, a tańsza, mocno przetworzona żywność do wzrostu częstości występowania chorób cywilizacyjnych, takich jak otyłość, miażdżycy czy cukrzyca. Należy niestety przyznać, że tylko rzetelna wiedza, umożliwiająca merytoryczną ocenę, determinuje zajęcie uzasadnionego stanowiska wobec GMO dla innowacyjnych rozwiązań nauki i techniki, dlatego mamy nadzieję, że wymienione przeze nas przykłady użycia GMO są wystarczającym potwierdzeniem, że powinno ono zostać przez wszystkich ludzi zaakceptowane, gdyż „ewolucja uczyniła nas niewolnikami naszych genów. W ciągu krótkich stu lat lub jeszcze szybciej to my staniemy się ich panami” (Newell, 1997) i to właśnie za sprawą inżynierii genetycznej, która umożliwia tworzenie genetycznie zmodyfikowanych organizmów.

Podsumowując, inżynieria genetyczna to ogromna szansa dla naszego świata, a zrozumienie jej jest dziś niezwykle ważne dla zauważenia jej potencjału oraz tego, że w tej dziedzinie nauki dokonano już tak wiele, że nie można w tej chwili całej tej wiedzy, całego doświadczenia związanego z GMO, wyrzucić do kosza. Wniosek jest jeden: genetycznie modyfikowane organizmy nie doprowadzą do zmięzchu cywilizacji, ale strach przed nimi może to zrobić.

Literatura

Encyklopedia PWN. Zielona rewolucja. <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/zielona-rewolucja;4001415.html>
[dostęp: 17.11.17r.]

Komisja do spraw etyki w nauce, 2012. Kodeks etyki pracownika naukowego. NAUKA 3/2012.

Malepszy S., 2001. Biotechnologia roślin. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Mickiewicz A., Twardowski T., Figlerowicz T. 2006. GMO - zyski i straty. BioTechnologia, 3(74): 145–153.

Newell J., 1997. W roli stwórcy? Dokąd zmierza inżynieria genetyczna. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.

Nowaczyk K., Obrępańska-Stęplowska A., 2006. Wybrane mechanizmy nabywania odporności organizmów na środki ochrony roślin. Postępy Biologii Komórki, 33(1): 137–158.

Rotkiewicz M., 2011. Gmatwanina wokół GMO.
<https://www.polityka.pl/tygodnikpolityka/nauka/1519208,1,gmo-fakty-i-mity-w-pigulce.read>
[dostęp: 17.11.17r.]

Krótką notką o autorkach:

Aleksandra Adamczyk: *Jestem studentką biotechnologii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Od kiedy pamiętam interesowałam się biologią, a nauka tego przedmiotu zawsze sprawiała mi dużo przyjemności. Postanowiłam więc wybrać kierunek biotechnologia, ponieważ uważam, że dzięki niej oraz technikom inżynierii genetycznej nasz świat może stać się lepszy.*

Ewa Banaszak: *Jestem studentką biotechnologii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Obszar moich zainteresowań obejmuje biochemię, biologię molekularną, a także inżynierię genetyczną oraz jej możliwe zastosowania w ochronie zdrowia.*

Marta Rozynek: *Jestem licencjonowanym krytykiem sztuki (Licencjat na kierunku Krytyka Artystyczna Wydziału Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu), ale mimo to wciąż amatorką. Obecnie jestem studentką na pierwszym roku biologii na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Biologia to moja miłość z dzieciństwa, do której powróciłam po latach, ale nie zamierzam porzucić dla niej sztuki. Szukam sposobu na egzystowanie w obu światach.*

Karolina Rybacka: *Jestem studentką I roku biotechnologii na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Interesuje się zagadnieniami dotyczącymi inżynierii genetycznej. W przyszłości chciałabym badać żywność oraz udoskonalać ją w taki sposób, aby zoptymalizować jej właściwości dla ludzi i zwierząt przy jednoczesnym zmniejszeniu wszelkich zagrożeń płynących m.in. z jej modyfikacji.*

Bioart, czyli mariaż sztuki i nauki

Marta Rozynek

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Biologii
E-mail: rozynekmarta@gmail.com

Tutor: dr hab. Sławomir Borek

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

Słowa kluczowe – sztuka, dziedziny interdyscyplinarne, biotechnologia

Bioart lub sztuka transgeniczna to nowa forma działań artystycznych, wykorzystująca techniki inżynierii genetycznej do transferowania naturalnego materiału genetycznego lub syntetycznych genów do organizmu w celu stworzenia nowej, unikalnej formy życia. Artyści tworzący dzieła bioartu, opierają swoją „twórczość” na wykorzystywaniu metod współczesnej biologii i biotechnologii. Bioartowskie dzieła niekiedy inspirowane są i wykorzystują kultury tkankowe, neuropsychologię, czy inżynierię genetyczną. Czym w takim razie różni się bioart od biotechnologii? W końcu biotechnologia również ma na celu tworzenie unikalnych form życia. Biotechnologia jest użyteczna. Organizmy tworzone przez biotechnologów mają spełniać określone zadanie – być odporniejsze, silniejsze czy pozbawione konkretnej cechy. Natomiast bioartysty chcą za pomocą swojej twórczości zwrócić uwagę na konkretny problem, wywołać dyskusję, ale stworzony przez nich organizm nie musi być w żaden sposób „użyteczny”. Dobrze ilustrującym przykładem tej różnicy, jest „Edunia”, transgeniczna roślina stworzona przez Eduardo Kaca. „Edunia” to petunia w wszczepionym DNA artysty pobranym z jego krwi. Dzieło to miało zwracać uwagę na etyczny wymiar biotechnologii. Miało stawiać pytanie o to w jaki sposób mamy traktować taką roślinę. W końcu ma ona w sobie ludzkie DNA, a zatem nie jest już tylko zwykłą petunią. Oprócz zwrócenia uwagi na kwestie etyczne, projekt ten nie wprowadził jednak nic użytecznego dla nauki, w podstawowym tego słowa znaczeniu.

Bioart można uznać za jeden z przejawów sztuki efemerycznej – wielopostaciowej tendencji w sztuce współczesnej, zakładającej nietrwałość i krótki czas trwania zdarzenia. Pierwszym jej nurtem był happening. Na przełomie lat 60. i 70. sztuka efemeryczna rozwijała się wielokierunkowo, ulegając wielu przeobrażeniom. Do nurtu tego należą: land-art (sztuka ziemi), akcje sztuki o charakterze społecznym czy politycznym, działania artystyczne takie jak bodyart (sztuka ciała), mitologie indywidualne (działania odnoszące się do samego twórcy, który utożsamia się z obiektem sztuki traktując siebie jak znak powszechności, podobny do wszystkich ludzi) czy performance. Bioart dużo czerpie także z transhumanizmu, zwłaszcza w kontekście postczłowieka. Transhumanizm to ruch intelektualny, kulturowy oraz polityczny postulujący możliwość i potrzebę (ale nie konieczność) wykorzystania nauki i techniki, w szczególności neurotechnologii, biotechnologii i nanotechnologii, do przezwyciężenia ludzkich ograniczeń i poprawy kondycji ludzkiej. Efektem tego ma być właśnie postczłowiek, czyli potomek lub następca człowieka, którego możliwości będą dzięki technologii tak bardzo poszerzone w stosunku do dzisiejszych ludzi, że utożsamianie go z nimi byłoby mylące.

Artystą który podnosi w swojej sztuce właśnie tematykę transhumanizmu jest np. Stelios Arcadiou (pseudonim Stelarc). Ten australijski artysta zajmuje się głównie body artem i performancem, ale trudno odmówić niektórym jego projektom znamion bioartu. Tematyka jego działań nierozzerwalnie dotyka problemu ludzkiego ciała w kontekście technologii, czy interfejsów łączących człowieka z maszyną. Prace Stelarca obejmują szereg eksperymentów, w oparciu o użycie nowoczesnych technologii medycznych, robotów i komputerów. Wykorzystuje on w swoich dziełach system wirtualnej rzeczywistości oraz internet, aby zgłębiać ich związek z ludzkim ciałem. Stelarc głosi pogląd body obsolete, czyli przestarzałego ciała, które w obliczu wysoce rozwiniętej techniki jest niewystarczające i słabe. Artysta zmierza do jego ulepszenia i przystosowania do nowych warunków przy użyciu postępującej technologii. Jednym z jego starszych, ale i najbardziej znanych działań jest projekt Third Hand (Stelarc, 1997, <http://video.wrocenter.pl>). Stelarc stworzył w nim dodatkową mechaniczną rękę dołączoną do swojego prawego przedramienia, która poruszała się dzięki sygnałom od stymulowanych elektrycznie mięśni. Przechwytywane impulsy elektryczne poddawane były wzmocnieniu, separacji i przesyłane do systemu przełączników. Ręka, zbudowana z aluminium, stali nierdzewnej i lateksu, potrafiła ścisnąć, chwycić i obracać się w nadgarstku. Przesyłała ona również zwrotne impulsy do ciała, dając prymitywne wrażenie czucia. Wydawać by się mogło, że nie jest to przy dzisiejszej technologii nic niezwykłego, dlatego należy dodać, że ręka powstała 1979 roku. Dokładnie projekt został ukończony w 1980 roku w Jokohamie na podstawie prototypu opracowanego w Uniwersytecie Waseda w Tokio oraz przy wsparciu firmy IMASEN w Nagoi. Ręka stała się symbolem całej grupy prac badających interfejs pomiędzy technologią i protetyką, rozumianych nie jako części zastępcze (protezy), ale dodane do ciała – symptom nadmiaru, a nie znak braku. Third Hand jest bardziej sztandarowym przykładem body artu niż bioartu, nie ma w tym działaniu tzw. mokrego medium – tkanek czy komórek. Zwłaszcza, że projekt powstał na dwa lata przed „oficjalnym” powstaniem bioartu, gdy w 1982 roku Joe Davis rozpoczął pracę nad Microvenus. Stelarc przetań szlaki w kontekście wykorzystania nauki do celów artystycznych, a także ośmielił środowisko naukowe do otwarcia się na artystów. Jeżeli Joe Davisa nazwiemy ojcem bioartu, a Eduardo Kaca jego ojcem chrzestnym, Stelarca można nazwać jego dziadkiem. Zdecydowanie bardziej bioartowską Stelarca pracą jest Extra Ear z 2007 roku. Artysta sam mówił o niej: „‘Dodatkowe ucho’ to ucho, które jest konstruowane na moim przedramieniu. W tej chwili to tylko płaskorzeźba ucha. Ale chcemy stworzyć w pełni trójwymiarowe organ. Chcemy podnieść małżowinę i wyhodować płatek uszny z moich dojrzałych komórek macierzystych. Kiedy to zostanie osiągnięte, możemy włożyć do środka ucha mały mikrofon, który podłączony do bezprzewodowego transmitera w jakimkolwiek punkcie wi-fi na świecie uruchomi ucho. Więc, jeśli ty będziesz tutaj we Wrocławiu, a ja w Melbourne w Australii, będziesz mogła usłyszeć co moje ucho słyszy gdziekolwiek będziemy. Tak więc to dodatkowe ucho nie jest dla mnie do słuchania, ale dla innych ludzi, żeby mogli się wsłuchiwać. To rodzaj organu internetowego. W przyszłości będzie dużo więcej tzw. ‘body hackingu’” (Mańkowska, 2011).

Nie wszystkim artystą udaje się nawiązać współpracę z dużymi ośrodkami naukowymi, nie wszyscy też tego chcą. Współpraca z wszelkiej maści instytucjami czy uniwersytetami, wiąże się z wieloma ograniczeniami, głównie formalnymi, ale również z dużymi funduszami. Powszechniej stosowanym rozwiązaniem jest biohakerstwo. Żeby wyjaśnić to pojęcie trzeba zacząć od określenia kim jest sam haker. Marek Hołyński definiuje hakera jako pasjonata, który zna system na wylot i niemal intuicyjnie, często wbrew logice, potrafi wydusić z niego maksymalną wydajność oraz uporać się z błędami (Hołyński, 2000). Nie jest to po prostu włamywacz, a raczej ktoś działający poza „systemem”. W dobry sposób ujął to Eugene Thacker pisząc o tym, że w końcu nawet Steve Jobs i Steve Wozniak byli kiedyś hakerami: w tym kontekście, amator czy hobbysta był kimś z ogromną wiedzą i zainteresowaniem niespecjalistycznym zastosowaniem wiedzy specjalistycznej (Thacker,

2005). I najczęściej z takimi ludźmi współpracują artyści – lub takimi ludźmi są. Jednym daje to możliwość zrealizowania swojego projektu, a drugim wykorzystania swojej wiedzy i umiejętności bez instytucjonalnych ograniczeń. Pozostaje jednak nadal kwestia funduszy. Sprzęt laboratoryjny jest drogi. Nie zawsze nawet grupa biohakerów jest w stanie sobie na niego pozwolić. Zwłaszcza, że bioartyści często działają na poziomie komórki i genomu do czego potrzebny jest bardziej skomplikowany i bardzo drogi sprzęt. Z pomocą przychodzą organizacje takie jak DIYbio (DIY, czyli Do it yourself – zrób to sam). DIYbio jak czytamy na stronie internetowej (Do-It-Yourself Biologist, <https://diybio.org>) jest organizacją założoną w 2008 roku, a jej misją jest stworzenie tętniącej życiem, produktywnej i bezpiecznej społeczności biologów DIY. Organizacja ta utrzymuje się z opłat za członkostwo, usług (np. organizacji warsztatów), grantów, crowdfundingu oraz komercjalizacji swoich wynalazków. Pod globalną organizację podpisane są oddziały miejscowe, a na blogu DIYbio amatorzy i hobbysci doradzają sobie, w jaki sposób tanio i efektywnie przeprowadzić różnego rodzaju eksperymenty, jak samodzielnie zbudować sprzęt laboratoryjny lub też kiedy i gdzie odbywają się wyprzedaże starego sprzętu laboratoryjnego.

To, że bioartyści działają poza „systemem” nie oznacza, że wykorzystują to aby tworzyć rzeczy nieetyczne. Wręcz przeciwnie, mało która forma sztuki jest tak kontrolowana. Artyści muszą pamiętać, że stosują narzędzia wywodzące się z całkiem innej dziedziny. Na dodatek mocno osadzonej prawnie. Muszą stosować się do przepisów, jeżeli chcą wystawić swoje dzieła w miejscu publicznym, a galerie sztuki mocno tego przestrzegają. Bardzo ważna jest również transparentność. Co jest dość nietypowe w świecie sztuki. Artyści rzadko ujawniają jakimi metodami pracują, zwłaszcza w przypadku technik własnych. Jeszcze rzadziej przedstawiają proces powstawania dzieła. Często bardzo mocno bronią dostępu do mniej „duchowej” części swojej twórczości. W przypadku użycia narzędzi naukowych do tworzenia prac artystycznych istotne jest aby techniki i metody zapożyczone z laboratoriów naprawdę w takiej pracy funkcjonowały. Oczywiście nie da się nikogo zmusić do określonego sposobu pracy, ale większość bioartystów prowadzi obszerną dokumentację swojej działalności i daje ją do wglądu na stronach internetowych. Są to nie tylko zapiski z pracy laboratoryjnej, ale też korespondencja z członkami różnorodnych instytucji zaangażowanych w projekt, również ludzi nauki. (Jeśmian J, 2015)

Współpraca artystów z badaczami jest również istotna w kontekście jednego z najczęściej zadawanych pytań: Czy sztuka biologiczna ma jakiegokolwiek znaczenie dla naukowców? I jakie jest to znaczenie? Odpowiedź nie zawsze jest oczywista. Nie wszystkie działania wniosły coś bezpośrednio do nauki. Potrafiły być jednak inspiracją. Wpłynąć nie tyle na dziedzinę co na człowieka. Widać to zwłaszcza na debatach komisji etycznych na temat poszczególnych projektów. Artyści zmuszają naukowców do spojrzenia na rzeczy z innej perspektywy. Nie zawsze jest to proste. Biolodzy często mają wrażenie, że podchodzi się do ich pracy niepoważnie, żartuje z nich. Naturalne jest to, że dziedzina której człowiek poświęca czasem i całe życie jest mu bliska. Trudno w takiej sytuacji zareagować otwarcie, gdy ktoś traktuje ją w sposób inny niż oczekiwany. Jeżeli jednak ktoś jest w stanie spojrzeć na to z szerszej perspektywy i zdać sobie sprawę, że zrobienie czegoś inaczej nie musi być złe, może dostrzec rozwiązanie o jakim wcześniej nie pomyślał. Bo tak naprawdę niezależnie od tego jaki problem chce artysta poruszyć, każdy bioartowski projekt ma jedną cechę wspólną – współpracę. I nie chodzi nawet o to, że artyści nie są w stanie pracować samodzielnie. Mają jednak tendencję do tworzenia wspólnoty, zespołów, czerpania twórczej inspiracji z wiedzy i obecności innych ludzi. Przy wzajemnych szanowaniu swoich odmienności i różnych perspektyw (Jeśmian, 2015). Mało jest dziedzin takiej „międzygatunkowej” współpracy. Mimo, że artyści często krytykują naukowców uważając ich za „bezdusznych” a z kolei naukowcy uważają artystów za

„niepoważnych”, przynajmniej część z nich jest w stanie osiągnąć nie porozumienia, która owocuje zmianą myślenia obu stron.

Literatura

Do-It-Yourself Biologist. Strona internetowa <https://diybio.org/> [dostęp: 07.12.17]

Hołyński, M., 2000. Hakerzy wszystkich krajów łączcie się. *Enter*, nr 8.

Jeśmian, J., 2015. *Żywa Sztuka*. Warszawa, Wydawnictwo Sedno.

Mańkowska, 2011. Jak ludzkie ciało będzie wyglądało za sto lat? Stelarc dla TOK FM.

http://www.tokfm.pl/Tokfm/1,102433,9609543,Jak_ludzkie_cialo_będzie_wygladalo_za_sto_lat__Stelarc.html [dostęp: 07.12.2017]

Stelarc, 1997. *The Third Hand*. Wideoteka WRO Art Center,

http://video.wrocenter.pl/wideo/dca_europeana/third_hand [dostęp: 07.12.17]

Thacker, E., 2005. *The Global Genome. Biotechnology, Politics and Culture*. Cambridge, Wydawnictwo MIT Press.

Krótką notką o autorze: *Jestem licencjonowanym krytykiem sztuki (Licencjat na kierunku Krytyka Artystyczna Wydziału Sztuk Pięknych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu), ale mimo to wciąż amatorką. Obecnie jestem studentką na pierwszym roku biologii na Wydziale Biologii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Biologia to moja miłość z dzieciństwa, do której powróciłam po latach, ale nie zamierzam porzucić dla niej sztuki. Szukam sposobu na egzystowanie w obu światach.*

Najlepsi rybi rodzice

Natalia Anna Miernik

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: natalkamiernik@gmail.com

Tutor: dr Anna Lizińska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii,
Instytut Oceanografii, Zakład Biologii i Ekologii Morza

Słowa kluczowe – *strategie rozrodcze, ryby, opieka nad potomstwem, gniazda, jajorodność, jajożyworodność*

Organizmy żywe łączy siedem wspólnych procesów fizjologicznych - są nimi zdolność do odżywiania się, przemiany materii, odpowiedzi na bodźce zewnętrzne, wydzielanie, oddychanie, wzrost oraz rozmnażanie się [1]. Uważa się, że instynkt rozrodczy u kręgowców jest wyjątkowo dobrze rozwinięty. W świecie zwierząt wykształciły się dwie strategie rozrodu - typ R i K. W typie R dorosłe zwierzęta wydają na świat wiele młodych osobników „licząc się” z ich dużą śmiertelnością. Typ K wiąże się z opieką nad potomstwem przynajmniej przez pewien okres życia młodych osobników, co zmniejsza śmiertelność wśród nich. Kiedy słyszymy o opiece nad potomstwem wśród zwierząt, pierwsze co przychodzi nam na myśl to opieka wśród ssaków i ptaków. Warto jednak zwrócić uwagę, że troska o młode jest zjawiskiem spotykanym również wśród zwierząt mniej zaawansowanych ewolucyjnie, np. ryb.

U ryb rozwój zarodkowy jest najczęściej związany ze złożeniem przez dorosłego osobnika ikry, z której po okresie inkubacji wylęgają się małe rybki. Ten typ reprodukcji nazywa się jajorodnością. Cały rozwój zarodkowy potomstwa odbywa się poza organizmem dorosłego osobnika, a młode czerpie pokarm z żółtka będącego częścią jaja. Drugim typem reprodukcji jest żyworodność, rzadziej spotykana u ryb niż jajorodność. Żyworodność polega na tym, że komórki jajowe są zapładniane w drogach rodnych samicy i cały rozwój zarodkowy przebiega wewnątrz jej ciała. Zarodek odżywia się pobierając pokarm z żółtka, lub np. jak u rekinów za pomocą łożyska. U ryb chrzęstnoszkieletowych, ten typ reprodukcji jest spotykany u 70% gatunków, jednak u ryb kostnoszkieletowych żyworodność występuje u jedynie 3% gatunków ryb. (Solomon i in., 2011; Pecio, 2012)

Wśród ryb bałtyckich spotyka się wiele rodzajów opieki nad potomstwem: budowanie gniazd, strzeżenie złożonej ikry oraz noszenie ikry na sobie. Każdy z tych typów opieki wiąże się z pewnym poświęceniem ze strony jednego, bądź obojga rodziców. Pozostając w miejscu złożenia ikry ograniczona zostaje mobilność dorosłych osobników, które nie oddalają się od gniazda nawet w obliczu zagrożenia własnego życia. Noszenie jajeczek przy sobie jest natomiast ryzykowne ze względu na powiększenie rozmiarów własnego ciała, co skutkuje większą widocznością ryby dla drapieżników oraz ogranicza i spowalnia ruchy rodzica (Winfield i Townsend, 1989; Magnhagen, 1990). Pomimo wielu zagrożeń, na które narażone są dorosłe ryby podczas opieki nad potomstwem, u wielu gatunków występuje strategia rozrodcza typu K.

Można więc zadać pytanie: które bałtyckie ryby spełniają się najlepiej w roli rodziców?

Doskonałym rybnym tatą jest żyjący w Bałtyku ciernik (*Gasterosteus aculeatus*), a także jego kuzyni cierniczek (*Pungitius pungitius*) i pocierniec (*Spinachia spinachia*). Samce wszystkich trzech gatunków budują dla ikry gniazda (Ryc. 1). Cierniki budują swoje gniazda na piaszczystym dnie, wykorzystując do tego celu fragmenty roślin. Samica składa ikrę w gnieździe, a następnie odpływa, pozostawiając opiekę nad potomstwem samcowi. Ciernik bardzo często przepływa przez gniazdo zapewniając do niego dopływ świeżej, dobrze natlenionej wody o odpowiedniej dla ikry temperaturze. Po wykluciu się narybku, samiec przez pewien czas się nim opiekuje. Jest to zjawisko dość rzadko spotykane wśród ryb bałtyckich. Ciernik pilnuje, żeby narybek nie oddalił się od gniazda, a jeśli do tego dojdzie, samiec łapie młode rybki do pyszczka i przenosi z powrotem do gniazda (van Iersel, 1953; Nelson, 2006).



Ryc. 1. Samica ciernika w przygotowanym przez samca gnieździe
(fot. Kim Taylor [4])

Cierniczek i pocierniec wykazują bardzo podobne mechanizmy opieki nad ikrą. Oba gatunki budują gniazdo zawieszane między łodyżkami roślin wodnych oraz przepływają przez gniazdo wywołując ruch wody, nie opiekują się jednak narybkiem.

Pocierniec wykazuje dodatkowo silny zmysł estetyczny - budowane przez niego gniazda są bogato ornamentowane. Samice pociernica są często obecne w okolicy w czasie budowy gniazda, lecz nie biorą udziału w budowaniu przytulnego schronienia dla ikry (Guy, 1989).

Kolejne gatunki ryb, opiekujące się potomstwem w Morzu Bałtyckim to: kilka ryb z rodziny babkowatych, kur diabeł, tasza, ostropletwiec, iglicznia, wężyńka oraz węgorzyca.

Wśród ryb babkowatych opieka nad ikrą jest dość powszechnym zjawiskiem. Samica babki byczej (*Neogobius melanostomus*) przykleja jajeczka od spodu do twardych elementów dna (na „suficie” gniazda) (Ryc. 2). Podłoże do złożenia jaj nie może być porośnięte organizmami sesylnymi, jednak nie obserwuje się czyszczenia podłoża przez żadne z rodziców. Samiec zapładnia jajeczka i opiekuje się nimi do momentu wyklucia narybku. Opieka polega na czyszczeniu gniazda z martwej

ikry i jego wentylacji. Wentylację można zaobserwować tylko przez pierwsze 48 godzin od złożenia jajeczek, po upływie tego czasu samiec przerywa to działanie. Brak dopływu świeżej wody skutkuje jednak dużą śmiertelnością wśród potomstwa. Samiec doskonale chroni ikrę przed drapieżnikami. Jest bardzo agresywny, jednak rzadko się zdarza, żeby ścigał napastnika. Zazwyczaj wystarczy stroszenie płetw i wydawanie „szczeknięć” za pomocą żuchwy (Mazzoldi i Rassoto, 2002; Nelson, 2006; Scaggiante i in., 2006; Meunier i in., 2009; Sapota i in., 2014).



Ryc. 2. Samiec babki byczej pilnujący gniazda
(Meunier i in., 2009)

Samce babki małej (*Pomatoschistus minutus*) i babki piaskowej (*Pomatoschistus microps*) budują gniazdo, wykopując dołek pod dowolnym twardym elementem leżącym na dnie, najczęściej jest to muszla małża *Mya arenaria* lub skała, po czym przysypują go piaskiem od góry, zostawiając tylko otwór wejściowy. Przez cały okres opieki samce przepływają przez gniazdo zapewniając dopływ świeżej wody oraz regularnie je czyszczą. Strzegą go również przed drapieżnikami i innymi samcami. Po wykluciu narybku samce się nim nie opiekują (Fonds, 1973; Lindström, 1988; Magnhagen, 1990, Nelson, 2006), [3].

U babki czarnej (*Gobius niger*) mechanizmy opieki nad ikrą są niemal takie same co u poprzednich trzech gatunków. Gniazdo budowane przez samca może jednak być zbudowane zarówno pod muszelką jak u babek małej i piaskowej, jak i pod nieosłoniętym elementem jak u babki byczej (Magnhagen, 1990, Nelson, 2006).

Kur diabeł (*Myoxocephalus scorpius*) opiekuje się ikrą złożoną przez samicę między dużymi głazami, w zakątkach podłoża skalnego lub ścian skalnych (Ennis, 1970; Nelson, 2006). Samiec strzeże skupiska jaj z którego po 7 tygodniach inkubacji wylęga się narybek (Luksenburg i in., 2004). Samiec bywa często widywany, kiedy „odpoczywa” na złożonych jajach jak ptak w gnieździe. Na ochronie jaj kończy się jednak opieka kura diabła, ponieważ samiec nie czyści ani nie natlenia jajeczek w okresie inkubacji (Ennis, 1970).

Tasza (*Cyclopterus lumpus*), zwana zającem morskim to kolejny w zestawieniu opiekujący się potomstwem tata. Samiec taszy dokładnie przygotowuje gniazdo przed przybyciem samicy i nadal się nim opiekuje po jej przybyciu, czyszcząc je i zapewniając dopływ świeżej wody. Samica pozostaje bierna, czasem tylko pomagając w sprzątanii. Po złożeniu ikry przez samicę i zapłodnieniu jaj samiec

układa je za pomocą pyszczka i płetw w gnieździe. Sam kładzie się w wejściu do gniazda i rozpoczyna stróżowanie (Ryc. 3). Samiec natlenia ikrę za pomocą ruchu płetw i „wypluwania” na nią wody z pyska. Czyści jajeczka zarówno z bezkręgowców, starających się je zjeść, jak i z pustych otoczek pozostałych po wykluciu się narybku. Świeżo wykluty narybek przyczepia się do rosnących w pobliżu alg lub samego taty, przedłużając tym samym okres jego opieki rodzicielskiej. (Goulet i in., 1986; Nelson, 2006) Samiec taszy jest tak wytrwały w swoim stróżowaniu, że nie opuszcza ikry nawet podczas odpływu, gdzie staje się często łatwym łupem dla ptaków (Gąsowska, 1962).



Ryc. 3. Samiec taszy opiekujący się ikrą
(fot. Denis Goulet [2])

U ostroplętwca (*Pholis gunnelus*) oboje rodzice zajmują się ikrą. Co ciekawe nie budują oni gniazda, lecz kładą się wokół ikry chroniąc ją własnym ciałem. Umożliwia im to specyficzny, węgorzowaty kształt ciała. W miarę upływu czasu samica odpływa, zostawiając ikrę pod opieką troskliwego taty (Kunz, 2004; Nelson, 2006).

Specyficzne mechanizmy ochrony ikry wykazują gatunki z rodziny igliczniowatych (Syngnathidae) - iglicznia i wężyńka. U obu gatunków samce noszą ikrę stale przy sobie, chroniąc ją do momentu wyklucia. Samiec wężyńki (*Nerophis ophidion*) nosi jajeczka przyczepione do brzucha w dwóch równoległych, przesuniętych względem siebie rzędach. Jego kuzyn, samiec iglicznia (*Syngnathus typhle*) nosi jajeczka w torbie lęgowej (Ryc. 4), umiejscowionej na brzuchu (Vincent i in., 1995; Nelson, 2006).



Ryc. 4. Samiec iglicznia z wypełnioną ikrą torbą lęgową
(Sagebakken, 2012)

U wszystkich wymienionych wyżej gatunków, to samce w przeważającej mierze opiekują się ikrą. Jednak w całym zestawieniu znaleźć można kilka troskliwych samic. Przykładem takiej rybiej mamy jest samica węgorzycy (*Zoarces viviparus*) (Ryc. 5), która przez prawie 5 miesięcy nosi ikrę w swojej jamie brzusznej. Po trzech tygodniach od zapłodnienia narybek wyklują się z ikry, nie opuszczają jednak ciała samicy, tylko jest w niej inkubowany przez kolejne 4 miesiące. Przez cały ten czas samica odżywia narybek i po upływie okresu ciąży, rodzi ok 400 dobrze ukształtowanych młodych (Gąsowska, 1962; Nelson, 2006).



Ryc. 5 Ciężarna samica węgorzycy
(źródło: [5])

Sądzę, że z całego tego zestawienia ryb tytuł najlepszego rodzica powinien powędrować do samca taszy, który opiekuje się ikrą, narybkami i wkłada bardzo dużo czasu i wysiłku w zbudowanie i utrzymanie czystości gniazda. Drugie miejsce przyznałabym ciernikowi, który wykazuje równie dużą troskę o gniazdo co tasza, jednak swoim heroicznym zachowaniem nieopuszczania ikry choćby za cenę życia tasza wygrała w tym zestawieniu.

Literatura

- Ennis, G., P., 1970. Reproduction and Associated Behaviour in the Shorthorn Sculpin, *Myoxocephalus scorpius* in Newfoundland Waters. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 27 (11), 2037–2045.
- Fonds, M., 1973. Sand gobies in the Dutch Wadden Sea (*pomatoschistus*, gobiidae, pisces). *Netherlands Journal of Sea Research*, 6 (4), 417–478.
- Gąsowska, M., 1962. *Klucze do oznaczania kręgowców Polski. Część I: Kręglouste i ryby*, Kraków, Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Goulet, D., Green, J., M., Shears, T., H., 1986. Courtship, spawning, and parental care behavior of the lumpfish, *Cyclopterus lumpus* L., in Newfoundland. *Canadian Journal of Zoology*, 64 (6), 1320–1325.
- Hoezler, G., A., 1989. The good parent process of sexual selection. *Animal Behaviour*, 38 (6), 1067–1078.
- van Iersel, J., J., A., 1953. An Analysis of the Parental Behaviour of the Male Three-Spined Stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.). *Behaviour*, Supplement, no. 3, pp. III, V–VII, 1–159.
- Kunz Y., W., 2004. *Developmental Biology of Teleost Fishes*, Dublin, Springer Netherlands.

- Lindström, K., 1988. Male-Male Competition for Nest Sites in the Sand Goby, *Pomatoschistus minutus*. *Oikos*, 53 (1), 67–73.
- Luksenburg, J., A., Pedersen, T., Falk-Petersen, I., B., 2004. Reproduction of the shorthorn sculpin *Myoxocephalus scorpius* in northern Norway. *Journal of Sea Research*, 51 (2), 157–166.
- Magnhagen, C., 1990. Reproduction under predation risk in the sand goby, *Pomatoschistus minutus*, and the black goby, *Gobius niger*: the effect of age and longevity. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 26 (5), 331–335.
- Mazzoldi, C., Rassoto, M., B., 2002. Alternative male mating tactics in *Gobius niger*. *Journal of Fish Biology*, 61, 157–172.
- Nelson, J., S., 2006. *Fishes of the World*, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
- Meunier, B., Yavno, S., Ahmed, S., Corkum, L., 2009. First Documentation of Spawning and Nest Guarding in the Laboratory by the Invasive Fish, the Round Goby (*Neogobius melanostomus*). *Journal of Great Lakes Research*, 35, 608–612.
- Pecio, A., 2012. O ewolucji żyworości wśród kręgowców. *Wszechświat*, 113 (4-6), 106–113
- Sagebakken, G., 2012. *Parental care and brood reduction in a pipefish*, Gothenburg, Ale Tryckteam.
- Sapota, M., Bałazy, P., Mirny, Z., 2014. Modification in the nest guarding strategy - one of the reasons of the round goby (*Neogobius melanostomus*) invasion success in the Gulf of Gdańsk? *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 43 (1), 21-28.
- Scaggiante, M., Grober, M., S., Lorenzi, V., Rasotto, M., B., 2006. Variability of GnRH secretion in two goby species with socially controlled alternative male mating tactics. *Hormones and Behavior* 50, 107–117.
- Solomon, E., P., Berg, L., Martin, D., 2011. *Biologia*, Warszawa, Multico.
- 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.
- Winfield, I., J., Townsend, C., R., 1989. The cost of copepod reproduction: increased susceptibility to fish predation. *Oecologia*, 60 (3), 406–411.

Źródła internetowe

- [1] <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/zycie;4003248.html> [Dostęp 18.02.2018]
- [2] www.fishbase.org [Dostęp 18.02.2018]
- [3] <http://www.marinespecies.org> [Dostęp 18.02.2018]
- [4] <http://www.arkive.org/three-spined-stickleback/gasterosteus-aculeatus-aculeatus/image-A22070.html> [Dostęp 18.02.2018]
- [5] https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Zoarces_viviparus#/media/File:Zoarces_viviparus.jpg [Dostęp 18.02.2018]

Krótką notką o autorze: *Studentka II roku Oceanografii na Uniwersytecie Gdańskim. Interesuje się biologią organizmów morskich i lądowych. W wolnym czasie lubi czytać książki fantastyczne i rysować.*

Czy wiesz, że w morzu świeci?

Antonina Gajo

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii
E-mail: tosiaga@wp.pl

Tutor: dr hab. Urszula Janas, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich

Słowa kluczowe – *bioluminescencja, biologia morza, oceanologia*

Każdy z nas posiada pewne wyobrażenie o otaczającym go świecie. W swoich głównych założeniach są do siebie bardzo podobne. Słońce i gwiazdy znajdują się nad nami, a pod stopami zwykle możemy znaleźć twarde podłoże. Ziemia daje nam poczucie stałości, a pojęcie światła słonecznego instynktownie łączymy z czasem. Przez wieki to położeniem Słońca określaliśmy porę dnia i ono regulowało rytm naszego życia. Obecnie wciąż jesteśmy od niego zależni, może już nie chodzimy spać z kurami, ale nie da się zaprzeczyć, że funkcjonowanie naszego ciała jest ściśle związane z następowaniem po sobie dnia i nocy.

U najbliższych nam zwierząt, naszych pupili, obserwujemy podobne zależności. Niektóre z nich prowadzą dzienny, a inne nocny tryb życia, ale zawsze światło pełni istotną rolę w ich funkcjonowaniu. Jednak jak by to było, gdyby warunki życia wyglądały zupełnie inaczej? Gdybyśmy unosili się w bezkresnej, chłodnej ciemności, a światło słoneczne byłoby dla nas pojęciem abstrakcyjnym? Brzmi mało przyjemnie? Tak właśnie wygląda codzienność wielu organizmów, żyjących w oceanach. Już 200 metrów pod powierzchnią morza ilość światła jest tak niewielka, że rośliny nie są w stanie przeprowadzać fotosyntezy. Wraz z głębokością ta ilość drastycznie spada, aż do głębokości 1 000 metrów, która jest ostateczną granicą przenikania światła słonecznego. Pamiętajmy, że średnia głębokość oceanów wynosi ok. 4 000 metrów.

Brak światła słonecznego nie wiąże się w tym przypadku z brakiem światła w ogóle. Wiele gatunków dostosowało się do panujących ciemności i włączyło wytwarzanie sygnałów świetlnych do wachlarza swoich podstawowych umiejętności. Zjawisko wytwarzania światła przez organizmy to bioluminescencja. Spotyka się ją u organizmów o różnym stopniu zaawansowania, od prostych bakterii do kręgowców, stojących wysoko na ewolucyjnej drabinie rozwoju. Występuje zarówno u zwierząt lądowych jak i morskich, jednak u tych drugich pojawia się zdecydowanie częściej.

Czy wiesz, że...?

Bioluminescencja nie jest jedynym zjawiskiem związanym ze świeceniem występującym u organizmów. Poza bioluminescencją można wyróżnić **fluorescencję** (generowanie wcześniej pochłoniętego światła), występującą m. in. u gąbek i **iryzację** (ubarwienie wywołane dyfrakcją światła na organizmie) m. in. na rzęskach żebroplawów.

Organizmy wytwarzające światło można podzielić na te, które wytwarzają potrzebne substraty we własnym ciele oraz te, które do produkcji substratów wykorzystują bakterie, głównie z rodzaju

Photobacterium i *Vibrio*, żyjące z nimi w symbiozie (Lin i Meighen, 2009). Większość organizmów reprezentuje pierwszą z tych grup, ale są wyjątki, takie jak jedna z mątw *Euprymna scolopes*, która tuż po wykluciu filtruje wodę przez skrzelę i transportuje bakterie *Vibrio fischeri* do fotoforów, czyli narządów świetlnych, posiadających idealne warunki do ich namnażania. *V. fischeri* stanowi około 0,1% bakterii znajdujących się w środowisku życia mątwy, a żaden inny gatunek bakterii nie jest w stanie dostać się do fotoforów (Koropatnick, 2006). Jeśli mątwka wykluje się w środowisku pozbawionym tego gatunku, narządy świetlne nie zostaną wypełnione do momentu, aż w środowisku pojawią się te bakterie.

Bioluminescencja pełni u organizmów różnorodne funkcje. Można je podzielić na trzy główne kategorie: ofensywna, obronna i komunikacyjna. Z pierwszej kategorii do popkultury przeniknął przykład niektórych ryb z rodzaju żabnicokształtnych, które świecącym narządem zwabiają mniejsze ryby do swojego pyska. Podobną metodę prezentują pewne ośmiornice z rodzaju *Stauroteuthis*. Posiadają przyssawki, które świecąc, kuszą potencjalnie łatwą zdobyczą nieświadome niebezpieczeństwa ryby (Haddock i in., 2010). To tylko jedna z taktyk obronnych przez drapieżniki w głębinach oceanów. Do notowanych zachowań należy oświetlanie terenu, by łatwiej dostrzec ofiarę u węzowatych (Stomiidae) oraz oślepienie, zdezorientowanie ofiary poprzez nagły błysk światła u kałamarnic (Haddock i in., 2010).

Grupa organizmów wykorzystująca świecenie do obrony przed napastnikami jest jeszcze większa. Jeden z mechanizmów obronnych jest przyrównywany do alarmu przeciwwłamaniowego (ang. *burglar alarm*). Występuje u różnych organizmów i polega na przywołaniu, poprzez sygnał świetlny, drapieżnika polującego na zwierzę, będące zagrożeniem dla świecącego organizmu. Doskonałą ilustracją tej zależności jest eksperyment podczas którego zbudowano sztuczną meduzę imitującą na parasolu sygnał *Atolla wyvillei* (Widder, 2011). Na ten „krzyk o pomoc” zareagowała kałamarnica olbrzymia *Architeuthis dux*. Próbowła znaleźć i zjeść drapieżnika atakującego meduzę, którego w rzeczywistości tam nie było. Cała sytuacja została zarejestrowana przez naukowców na filmie. Sposobów na obronę przed przeciwnikami jest cała mnogość. Głębokowodny wieloszczet, *Swima bombiviridis*, wytwarza pęcherzyki, które po odcięciu od reszty ciała zaczynają świecić, tym samym odciągają uwagę agresora (Osborn i in., 2009). A niektóre gatunki małżoraczków i krewetek są w stanie wydzielić świecący płyn, mający za zadanie zamaskować ich ucieczkę (Haddock i in., 2010) (Ryc. 1).

Czy wiesz, że...

Nie tylko zwierzęta świecą. **Bruzdnice** to jednokomórkowe glony, występujące pojedynczo lub w koloniach, posiadające charakterystyczny pancerzyk. Część gatunków bruzdnic posiada zdolność bioluminescencji i może powodować **zakwity**, sprawiające wrażenie jakby to sama woda świeciła przy każdym gwałtowniejszym poruszeniu.



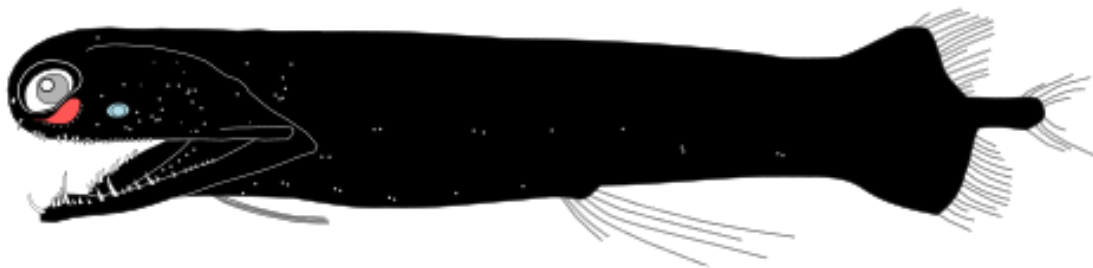
Ryc. 1. Krewetka *Heterocarpus ensifer* wydziela świecącą substancję z otworu gębowego (Herring, 1976) (Wikimedia Commons)

Jednym z najważniejszych celów komunikacji między osobnikami jednego gatunku jest znalezienie partnera, z którym można mieć potomstwo. Zadanie trudne, zwłaszcza dla zwierząt żyjących w przepastnym oceanie na głębokościach skrytych w całkowitych ciemnościach. Bioluminescencję ułatwiającą to zadanie zaobserwowano u ryby z rodziny świetlikowatych (*Myctophidae*), podobnie jak u niektórych gatunków małżoraczków.

Aby wytworzyć światło, potrzebna jest energia. W przypadku bioluminescencji pochodzi ona z procesu utleniania związku chemicznego z grupy lucyferyn. Na podstawie licznosci i różnic między związkami zawartymi w tej grupie oszacowano, że zjawisko bioluminescencji wyewoluowało niezależnie na czterdzieści sposobów (Poupin in., 1999). Taka powtarzalność zdecydowanie wskazuje na brak przypadkowości w ewolucji bioluminescencji, potwierdzając, że nie jest to jednorazowy przypadek, ale zjawisko bardzo korzystne, w szczególności dla organizmów morskich. Niektóre z organizmów dodatkowo wykorzystują lucyferazę, enzym znacznie przyspieszający przebieg reakcji. Warto zaznaczyć, że bioluminescencji nie towarzyszy wydzielanie ciepła, więc proces jest bezpieczny dla organizmu.

Światło wytwarzane przez organizmy morskie różni się od wydzielanego przez żarówki. Przede wszystkim nie jest światłem białym. Trzeba też pamiętać, że woda jako ośrodek znacząco różni się od powietrza. Jest gęstsza, bardziej „wypełniona cząsteczkami”, które są przeszkodą dla fotonów tworzących światło. Wśród organizmów przeważają te świecące na niebiesko i zielono (długość fali ok. 470 nm) (Haddock i in., 2010), ponieważ krótkie fale, tworzące światło zielone i niebieskie, propagują na największe odległości. Nie są przy tym zaabsorbowane przez cząsteczki wody (jak światło czerwone) lub rozproszone (jak światło fioletowe). To właśnie niebieskozielone światło jest najbardziej praktyczne i przydatne dla organizmów oceanicznych. Światło czerwone, złożone z najdłuższych fal jest praktycznie niewidoczne dla zwierząt głębinowych, ponieważ szybko zostaje pochłonięta przez masy wody. Czerwone obiekty są w głębinach równie niewidoczne, co czarne, ponieważ nie ma tam tych fal światła, które mogłyby się od nich odbić. Zwierzęta wykorzystują to i zamiast czarnego barwnika w skórze posiadają czerwony, który jest równie skuteczny jako kamuflaż, a jego wytworzenie wymaga mniej energii.

Większość ryb głębinowych utraciła umiejętność odbierania światła o dłuższej fali (światło pomarańczowe i czerwone). Nie posiadają one receptorów zdolnych do wykrycia światła czerwonego, w związku z tym wytwarzanie takiego światła również straciło znaczenie (Douglas i in., 1998). Od tej reguły istnieją wyjątki. Między innymi ryby z rodziny węzorowatych (Stomiidae), które posiadają pod okiem niewielki narząd świetlny generujący czerwone światło (Ryc. 2). Fale świetlne są tak długie, że znajduje się na granicy podczerwieni (ok. 705 nm) i świecenie może być trudno zauważalne nawet dla człowieka. Pomimo bliskiej propagacji fali świetlnej, czerwone światło daje przewagę tym głębokowodnym rybom nad swoimi ofiarami. Ryba oświetla ofiarę tylko przez siebie widocznym światłem, przez co ta staje się łatwym łupem. Aby móc opanować taką umiejętność u węzorowatych musiał wyewoluować mechanizm dostrzegania światła o wyższych długościach fali. Różne rodzaje ryb z tej rodziny poradziły sobie w różny sposób. Najprostszym sposobem zdaje się być ten istniejący u ryb z rodzaju *Aristostomias*, które posiadają dodatkowe 3 barwniki w receptorach na siatkówce oka, zdolne zaabsorbować światło o czerwonej barwie (Douglas i in., 1998). Inny, bardziej skomplikowany sposób istnieje u ryb z rodzaju *Malacosteus*, które posiadają w receptorach tylko 2 z 3 barwników występujących u ich krewnych. Jednak to nie wszystko, ponieważ, aby ryba jeszcze lepiej widziała czerwone światło, w części jej receptorów znajdują się substancje światłoczułe, które po zaabsorbowaniu fotonu przekazują energię do pobliskiego barwnika.



Ryc. 2. *Malacosteus niger* z zaznaczonymi fotoforami: czerwonymi pod okiem oraz niebieskim (Wikipedia Commons, Filip Em, bazując na rysunkach pracy Kenleya z 2007)

Choć dla niektórych może się to wydawać zaskakujące, to aby znaleźć przykłady bioluminescencji nie trzeba szukać daleko w tropikalnych wodach. W wodach przybrzeżnych szwedzkiej wyspy Olandii już w roku 1997 obserwowano zakwity świecących glonów. Na polskich wodach zakwity zostały zaobserwowane w latach 2001, 2003, 2005 i 2012. Powodem w tego zjawiska był zakwit bruzdnic, głównie *Alexandrium ostenfeldii*. Przyczyny pojawienia się tego gatunku bruzdnic w bałtyckich wodach nie są pewne. Najprawdopodobniej zostały mimowolnie przyniesione przez ludzi (np. w wodach balastowych statków) lub dostały się wraz z wlewami z Morza Północnego (Skóra, 2005). Poza tym, w Morzu Bałtyckim można spotkać żebroplawa *Mnemiopsis leidyi*, który również nie jest na tych terenach gatunkiem rodzimym. Wykazuje on zdolność do bioluminescencji (Freeman i in., 1972) (Ryc. 3).



Ryc. 3. Żebroplaw *Mnemiopsis leidyi*, na zdjęciu dobrze widoczne jest zjawisko iryzacji na rżęskach. Ten gatunek wykazuje również zdolność do bioluminescencji, która przejawia się jako krótkie błyski niebieskiego światła widoczne w ciemności, po napotkaniu przeszkody (Freeman i in., 1972)
(EricksonSmith na Flickr CC BY-NC 2.0)

Zjawisko bioluminescencji znalazło praktyczne zastosowanie w medycynie i biologii molekularnej (Bednarek i in., 2017). Obrazowanie bioluminescencyjne (BLI) jest metodą pozwalającą oznaczać komórki macierzyste, monitorować zakażenia wirusowe, grzybicze, pasożytnicze i bakteryjne, obserwować interakcje między cząsteczkami białek oraz procesy tworzenia się nowotworów. Polega ona na włączeniu do materiału genetycznego komórki genu kodującego lucyferinę, dzięki czemu komórki są w stanie, przy spełnionych określonych warunkach, emitować

światło. Ta metoda zyskała sporą popularność, ponieważ wyróżnia ją dokładność, bezpieczeństwo (nie jest toksyczna dla środowiska) oraz niskie koszty wykonywania.

Co ciekawe, naukowcom już w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku, po wyizolowaniu materiału genetycznego ze świetlika, udało się stworzyć świecąca, choć tylko przez określony czas, sadzonkę tytoniu (Callaway, 2013). Przez ostatnie trzydzieści lat genetyka znacząco się rozwinęła. W 2013 roku grupa biotechnologów z USA zainspirowała się eksperymentem sprzed trzydziestu lat i aby zebrać pieniądze na jego realizację, utworzyła projekt na platformie internetowej Kickstarter (Evans, 2017). Autorzy mieli nadzieję stworzyć stale świecące rośliny. Jednym z haseł reklamowych pojawiającym się na filmiku promującym było sugestywne pytanie: „Co by było, gdyby można było zastąpić latarnie uliczne świecącymi drzewami?”. Potrzebowali 65 000 dolarów na badania, ubierali wielokrotnie więcej, bo aż 484 000 dolarów od ludzi zainteresowanych projektem. Jedną z nagród za finansowe wsparcie projektu miały być nasiona świecącej odmiany rzodkiewnika. Projekt zdecydowanie przerósł twórców. Badania pochłonęły zebrane fundusze, a wraz z zainteresowaniem mediów pojawiła się krytyka ze strony środowisk sprzeciwiających się inżynierii genetycznej. Wyhodowane rośliny ledwo świeciły, a sama platforma Kickstarter zabroniła twórcom rozsyłania obiecanych nasion, ze względu na możliwość zakłócenia równowagi w środowisku. Ten projekt upadł, ale idea pozostała. Pomysł podchwycili między innymi naukowcy z MIT (Trafton, 2017). Kto wie, może dziwaczne marzenie korzystania z żywych organizmów jako lamp kiedyś się spełni.

Świat nie jest zawsze taki, jaki na pierwszy rzut oka nam się wydaje. Żyjemy, rozkoszując się ciepłem i blaskiem słonecznego światła, a ciemność kojarzymy z niebezpieczeństwem. Nigdy nie wiadomo, co może się w niej ukrywać i czy przypadkiem nie zostaniemy zaatakowani. Nic w tym dziwnego, że głębiny oceanów mogą nam się wydawać skrajnie nieprzychylne do zamieszkania przez jakiegokolwiek formy życia. Jednak ta ciemność nie jest aż tak ponura, jak niektórym mogłoby się zdawać. To dzięki niej możemy zaobserwować pulsujący w tylko sobie znanym rytmie nieustanny taniec. Blask oznaczający intencje stworzenia nowego życia i ten mający na celu jakieś życie zakończyć. Całość łączy się w olśniewający pokaz fajerwerków, który inspiruje i fascynuje wielu ludzi, w tym także i mnie.

Literatura

- Bednarek I., Pajor K., Sypniewski D., 2017, Bioluminescencja jako narzędzie w biologii molekularnej. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej (online)*, 71, 1033–1049.
- Callaway E., 2013, Nature, *Glowing plants spark debate* [online] <https://www.nature.com/news/glowing-plants-spark-debate-1.13131> [dostęp: 10.12.2017]
- Douglas R. H., Partridge J. C., Marshall N. J. 1998, *The eyes of Deep-Sea Fish I: Lens Pigmentation, Tapeta and Visual Pigments* Department Optometry and Visual Science, City University, London, U.K.
- Evans A., 2017, Kickstarter, *Glowing Plants: Natural Lightning with no Electricity* [online] <https://www.kickstarter.com/projects/antonyevans/glowing-plants-natural-lighting-with-no-electricit> [dostęp: 01.12.2017]
- Freeman G., Reynolds G., 1973, The development of bioluminescence in the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Developmental Biology*, 31, 1, 61–100.
- Haddock S. H.D., Moline M. A., Case J. F 2010, Bioluminescence in the Sea, *Annual Review of Marine Science*: 443–493

- Herring P. J., 1976, Bioluminescence in decapods Crustacea, *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 56, 4, 1029–1047
- Herring P. J. (red.), 1978, *Bioluminescence in action*, London New York Academic Press.
- Koropatnick T., 2006, Microbial Life Educational Resources, *The Squid-Vibrio Symbiosis* [online]
<https://serc.carleton.edu/microbelife/topics/marinesymbiosis/squid-vibrio/index.html> [dostęp: 18.11.2017]
- Lin L., Meighen E., 2009, *Bacterial Bioluminescence* [online]
<http://photobiology.info/Lin.html> [dostęp: 10.12.2017]
- Osborn, K. J., Haddock S. H. D., Pleijel F., Madin L. P., Rouse G. W., 2009, Deep-sea, swimming worms with luminescent “bombs”. *Science* 325: 964–964.
- Poupin, J., Cussatlegras A.S., Geistdoerfer P. 1999, *Plancton marin bioluminescent. Rapport scientifique du Laboratoire d'Océanographie de l'École Navale LOEN*, Brest, France
- Skóra K., 2005, Stacja Morska Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, *Zatoka znowu świeci* [online]
<http://www.hel.univ.gda.pl/aktu/2005/lumine05.htm> [dostęp: 10.01.2018]
- Trafton A., 2017, MIT News, *Engineers create plants that glow* [online]
<http://news.mit.edu/2017/engineers-create-nanobionic-plants-that-glow-1213> [dostęp: 12.02.2018]
- Widder E., TED, 2011, *How we found the giant squid*, [online]
https://www.ted.com/talks/edith_widder_how_we_found_the_giant_squid/transcript [dostęp: 15.11.2017]

Krótką notką o autorze: *Studentka Oceanografii na specjalności biologicznej. To właśnie zjawisko bioluminescencji zachwyciło ją na tyle, że wybrała właśnie ten kierunek studiów. Ze wszystkich morskich zwierząt najbardziej interesują ją te, o mało przyjemnym wyglądzie.*

Strefa przybrzeżna Morza Bałtyckiego jako filtr

Radosław Brzana^{*}, Marta Tykarska, Anna Borecka, Urszula Janas

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich
E-mail: * radek.barbus@gmail.com

Słowa kluczowe – *strefa przybrzeżna, Morze Bałtyckie, Zatoka Gdańska, różnorodność biologiczna, bioróżnorodność, bentos, eutrofizacja*

Strefa przybrzeżna

Strefa przybrzeżna jest strefą przejściową pomiędzy środowiskiem lądowym i wodnym. Ze względu na dogodne warunki środowiskowe cechuje się ona wysoką różnorodnością siedlisk oraz żyjących tam gatunków zwierząt i roślin. Przyczyniają się ku temu mała głębokość i duża dostępność światła sprzyjające rozwojowi roślinności wodnej, która może pokrywać duże połacie dna w tej strefie (Ryc. 1). Ponadto woda w tych płytkich obszarach ulega częstemu mieszaniu, co przekłada się na jej dobre natlenienie.



Ryc. 1. Łąki zostery morskiej *Zostera marina* w Zatoce Gdańskiej
(fot. Piotr Balazy)

Ostatnie badania wskazują na to, że strefa przybrzeżna jest nie tylko miejscem występowania bogatych zbiorowisk organizmów (Ryc. 2), ale pełni również ważną funkcję filtra chroniącego otwarte wody morza przed nadmierną eutrofizacją.



Ryc. 2. Przykładowe siedliska w płytkiej strefie przybrzeżnej:
dno piaszczyste (po lewej), dno kamieniste Kępy Redłowskiej (po prawej)
(fot. Piotr Balazy)

Eutrofizacja

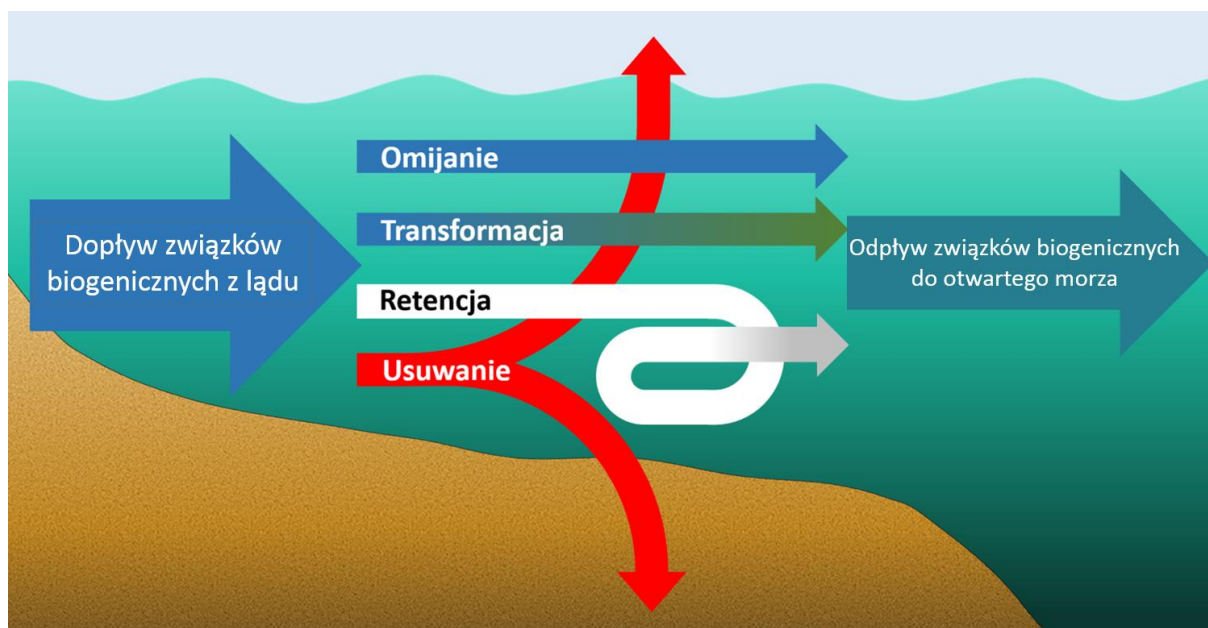
Eutrofizacją nazywamy proces wzbogacania wody w związki biogeniczne, czyli substancje niezbędne do życia roślin. Skutkiem eutrofizacji jest zwiększenie biomasy fitoplanktonu. Niesie to ze sobą szereg różnorodnych, w tym negatywnych skutków dla środowiska morskiego. Jednym z nich może być ograniczenie przejrzystości wody prowadzące do zmniejszenia ilości światła docierającego do dna i żyjących na nim roślin (Larsson i in., 1985).

Innym skutkiem wzrostu biomasy fitoplanktonu jest zwiększenie ilości materii organicznej opadającej w kierunku dna morskiego. Materia ta może stanowić pożywienie dla organizmów żyjących w toni wodnej lub na dnie, ale przy dużych jej ilościach nie zostaje ona skonsumowana w całości. Nieskonsumowana materia organiczna ulega mineralizacji przy udziale bakterii, wykorzystując dostępny tlen i prowadząc w ten sposób do niedoborów tego ważnego dla zwierząt pierwiastka. Niedobory tlenowe mogą prowadzić do wymierania bezkręgowców i ryb żyjących na dnie (Diaz i in., 1995). Dalszy rozkład materii organicznej odbywa się w warunkach beztlenowych przy udziale m. in. bakterii siarkowych. Jednym z produktów rozkładu substancji organicznych w warunkach beztlenowych jest siarkowodor, który poprzez efekt toksyczności, oddziałuje na organizmy żywe bytujące w obszarze dotkniętym niedoborami tlenowymi (Joyner-Matos i in., 2010). Wszystkie te zmiany prowadzą do obniżenia różnorodności biologicznej i zubożenia morskich ekosystemów.

Filtr w strefie przybrzeżnej

Duża część związków, które podnoszą żyzność wód w morzu, dostaje się do niego z lądu za pośrednictwem rzek i wód gruntowych. Cząsteczki materii organicznej, trafiające w ten sposób do morza, powoli opadają w kierunku dna morskiego. W międzyczasie ulegają rozkładowi, w efekcie którego do toni wodnej uwalniane są związki biogeniczne wykorzystywane potem przez organizmy

roślinne, w tym fitoplankton. Jak pokazują ostatnie badania, strefa przybrzeżna może pełnić rolę filtra, który ogranicza napływ związków biogenicznych do wód otwartego morza. Dzieje się tak m. in. dlatego, że cząsteczki materii organicznej opadają na dno płytkiej strefy przybrzeżnej, zanim zdążą ulec rozkładowi na związki biogeniczne w toni wodnej. W wyniku procesów zachodzących w strefie przybrzeżnej część związków biogenicznych jest usuwana do atmosfery lub deponowana w osadzie, dzięki czemu nie trafia do otwartego morza (ryc. 3). Ponadto pierwiastki biogeniczne wbudowywane w organizmy roślinne i zwierzęce podlegają tymczasowej retencji (zatrzymaniu) w strefie przybrzeżnej. Mogą one ulegać też transformacji np. z postaci rozpuszczonej i nieorganicznej do nierozpuszczonej i organicznej, która nie jest wykorzystywana przez fitoplankton (Almroth-Rossel i in., 2016; Asmala i in., 2017). W efekcie opisanych wyżej procesów ilość substancji odżywczych trafiających do otwartego morza ulega zmniejszeniu (Ryc. 3).



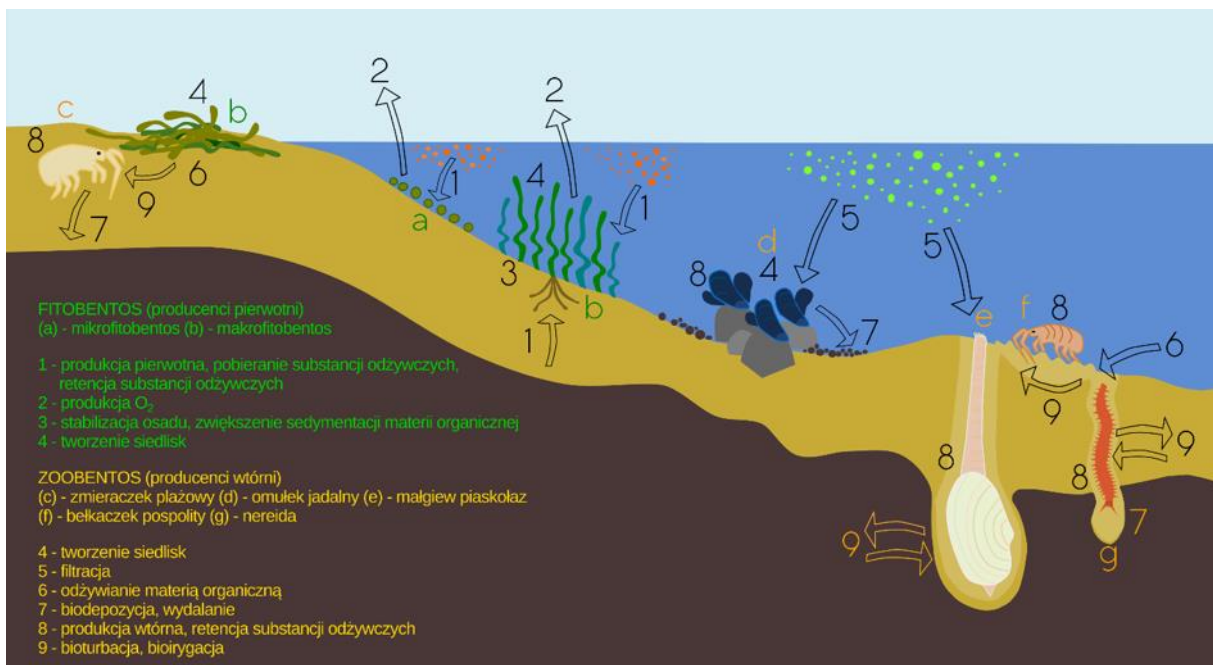
Ryc. 3. Schemat procesów, którym związki biogeniczne podlegają w strefie przybrzeżnej.
(opracowanie własne na podstawie Asmala i in. 2017)

Rola bentosu

Strefa przybrzeżna zasiedlana jest m.in. przez zoobentos, czyli organizmy zwierzęce związane z dnem (Ryc. 4). Zwierzęta te poprzez swoją aktywność (np. odżywanie i poruszanie się) zmieniają właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne środowiska, w którym żyją (Krantzberg, 1985). Mogą wpływać m.in. stężenie rozpuszczonego tlenu oraz związków azotu i fosforu, pH (Forster i Graf, 1992; Fenchel, 1996; Rasmussen i in., 1998). Dla przykładu, udział fauny dennej w wymianie związków biogenicznych pomiędzy wodą naddenną a dnem, może wynosić aż 40%, wyłącznie na skutek oddychania organizmów i biodepozycji (m. in. poprzez wydalanie) (Kristensen i in., 2000). Niektóre z tych zwierząt, jak np. małże czy pąkle, stanowią dosłowny filtr dla strefy przybrzeżnej, ponieważ odżywiają się wyłapując z wody cząsteczki zawieszanej materii organicznej (filtracja). Oprócz oczyszczania wody, małże takie jak omulek żyjące w ławicach (zagęszczenie może dochodzić do kilkudziesięciu tysięcy osobników na 1 m² dna) tworzą siedliska dla innych organizmów takich jak skorupiaki i wieloszczety.

Wiele organizmów bentosowych jest w stanie drążyć i zagrzebywać się w osadzie, przez co może uwalniać z niego związki biogeniczne. Ponadto mogą wymuszać w ten sposób przepływ lub ruch wody wewnątrz utworzonych w dnie struktur (bioirygację) oraz powodować zaburzenie pierwotnej struktury osadu (bioturbację), natleniając tym samym głębsze warstwy osadu. Oprócz tego zwierzęta, odżywiając się martwą materią organiczną na powierzchni lub pod powierzchnią osadów, przyczyniają się do jej rozkładu i sprawiają, że jest ona bardziej dostępna dla innych organizmów, również tych z wyższych poziomów troficznych (produkcja wtórna, rozkład materii organicznej).

Jednym z najbardziej wartościowych siedlisk w strefie przybrzeżnej Bałtyku są łąki zostery morskiej. Stanowią one zróżnicowane i kompleksowe siedlisko dla zwierząt, w którym odnajdują one źródło pokarmu, miejsce rozrodu i schronienia (Boström i Bonsdorff, 1997; Boström i in., 2002; Van der Heide i in., 2007). Ponadto rośliny tworzące łąki podwodne stanowią swego rodzaju magazyn materii organicznej, jako że pobierają związki biogeniczne z wody oraz osadów i wbudowują je w swoje tkanki (retencja związków biogenicznych). Ponadto ich korzenie zwiększają stabilność osadów, powodując w ten sposób nagromadzenie materii organicznej w osadach (Ryc.4).



Ryc. 4. Wybrane funkcje zespołów bentosowych i zachodzące przy ich udziale procesy w strefie przybrzeżnej (dodatkowy opis w tekście)

Ekoton plaży

W wyniku falowania, pływów i prądów morskich materia organiczna zgromadzona w organizmach morskich „wychodzi na ląd”. Na morskie plaże trafiają szczątki zwierząt i roślin, a także cząsteczkowa i rozpuszczona materia organiczna (Jędrzejczak, 2002a; Colombini i Chelazzi, 2003; Romano, 2013). Piaszczysta plaża filtruje wodę, zatrzymując i przetwarzając materię organiczną i zanieczyszczenia, a proces ten jest tym efektywniejszy, im liczniej występujące i bardziej różnorodne organizmy zamieszkują plażę (Węsławski i in., 2000). Roślinność morska wyrzucona na brzeg, kiedyś będąca źródłem pokarmu, miejscem rozrodu i schronienia dla zwierząt żyjących w wodzie, po wyrzuceniu na brzeg pełni te same funkcje dla zwierząt żyjących na plaży. Do tych organizmów należą bakterie, pierwotniaki, przedstawiciele meiofauny (głównie nicienie i skąposzczety) oraz

przedstawiciele makrofauny, w tym drobne skorupiaki z rodziny zmieraczkowatych (Ryc. 5) oraz owady z rzędu muchówek i chrząszczy (Jędrzejczak, 2002b; Colombini i Chelazzi, 2003). Organizmy te pełnią funkcję biologicznego filtra ponieważ dzięki nim następuje rozkład i mineralizacja materii organicznej i tym samym oczyszczanie przybrzeżnych wód (McLachlan, 1983; Jędrzejczak, 2002a). Obecność makrofauny przyspiesza proces rozkładu materii organicznej (Mews i in., 2006; Lastra i in., 2008). Według Jędrzejczaka (2002b) spośród przedstawicieli makrofauny to zmieraczek plażowy *Talitrus saltator* odgrywa główną rolę w rozkładzie wyrzuconej na brzeg zostery morskiej.



Ryc. 5. Zmieraczek plażowy *Talitrus saltator*
(fot. Piotr Wysocki)

Nowy kierunek w badaniach

Rola strefy przybrzeżnej w przepływie związków biogenicznych jest stosunkowo nowym tematem w nauce o środowisku morskim. Prowadzone badania pozwalają poznać udział strefy przybrzeżnej w roli filtra chroniącego otwarte wody morza przed nadmierną eutrofizacją. Ważne jest też określenie roli zwierząt i roślin w funkcjonowaniu strefy przybrzeżnej (z uwzględnieniem ich udziału w obiegu materii, związków biogenicznych i przepływie energii). Prowadzenie podobnych badań jest szczególnie ważne w przypadku Morza Bałtyckiego, w którym skutki eutrofizacji są bardzo wyraźne. Poznanie roli strefy przybrzeżnej w transporcie związków biogenicznych do morza było głównym celem badań prowadzonych w latach 2014–2017 w ramach międzynarodowego projektu BONUS EEIG COCOA „Koktajl związków biogenicznych w przybrzeżnej strefie Morza Bałtyckiego”. W projekt zaangażowani byli chemicy i biologzy z Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, którzy prowadzili badania w strefie przybrzeżnej Zatoki Gdańskiej (Ryc. 6). Wyniki tych oraz przyszłych badań będą bardzo ważne dla opracowania planów zrównoważonego wykorzystania i skutecznej ochrony morskiej strefy przybrzeżnej.



Ryc. 6. Zbiór prób i doświadczenia laboratoryjne prowadzone w ramach projektu BONUS EEIG COCOA (fot. Piotr Bałazy i Natalia Kozak)

Artykuł powstał w ramach działań edukacyjnych w projekcie BONUS COCOA, wspieranym przez BONUS (Art 185), ufundowanym wspólnie przez Unię Europejską i NCBiR BONUS-UE-2012-01/2014 z dn. 03.02.2014

Literatura

Almroth-Rossel, E., Edman, M., Eilola, K., Meier, H. E. M., Sahlberg, J., 2016. Modelling nutrient retention in the coastal zone of an eutrophic sea. *Biogeosciences*, 13, 5753–5769.

Asmala, E., Carstensen, J., Conley, D. J., Slomp, C. P., Stadmark, J., Voss, M., 2017. Efficiency of the coastal filter: Nitrogen and phosphorus removal in the Baltic Sea. *Limnology and Oceanography*, 62(1), 222–238.

- Boström, C., Bonsdorff, E., Kangas, P., Norkko, A., 2002. Long-term changes of a brackish-water eelgrass (*Zostera marina* L.) community indicate effects of coastal eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55(5), 795–804.
- Boström, C., Bonsdorff, E., 1997. Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, 37(1-2), 153–166.
- Colombini, I., Chelazzi, L., 2003. Influence of marine allochthonous input on sandy beach communities. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 41, 115–159.
- Díaz, R. J., Rosenberg, R., 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology An Annual Review*, 33, 245–303.
- Fenchel, T., 1996. Worm burrows and oximicroniches in marine sediments. 1. Spatial and temporal scales. *Marine Biology*, 127(2), 289–295.
- Forster, S., Graf, G., 1992. Continuously measured changes in redox potential influenced by oxygen penetrating from burrows of *Callianassasubterranea*. *Hydrobiologia*, 235(1), 527–532.
- Janas, U., Szaniawska, A., 1996. The influence of hydrogen sulphide on macrofaunal biodiversity in the Gulf of Gdańsk. *Oceanologia*, 38(1), 127–144.
- Jedrzejczak, M. F., 2002a. Stranded *Zostera marina* L. vs wrack fauna community interactions on a Baltic sandy beach (Hel, Poland): a short-term pilot study. Part I. Driftline effects of fragmented detritivory, leaching and decay rates. *Oceanologia*, 44(2), 273–286.
- Jedrzejczak, M. F., 2002b. Stranded *Zostera marina* L. vs wrack fauna community interactions on a Baltic sandy beach (Hel, Poland): A short-term pilot study. Part II. Driftline effects of succession changes and colonisation of beach fauna. *Oceanologia*, 44(3), 367–387.
- Joyner-Matos, J., Predmore, B. L., Stein, J. R., Leeuwenburgh, C., Julian, D., 2010. Hydrogen sulfide induces oxidative damage to RNA and DNA in a sulfide-tolerant marine invertebrate. *Physiol. Biochem. Zool*, 83(2), 356–365.
- Jørgensen, B. B., Bang, M., Blackburn, H., 1990. Anaerobic mineralization in marine sediments from the Baltic Sea – North Sea transition, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59, 39–54.
- Krantzberg, G., 1985. The influence of bioturbation on physical, chemical and biological parameters in aquatic environments: a review. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 39(2), 99–122.
- Kristensen, E., 2000. Organic matter diagenesis at the oxic/anoxic interface in coastal marine sediments, with emphasis on the role of burrowing animals [w:] *Life at interfaces and under extreme conditions*. Springer, Dordrecht, s. 1–24.
- Larsson, U., Elmgren, R., Wulff, F., 1985. Eutrophication and the Baltic Sea: Causes and Consequences. *Ambio*, 14(1), 9–14.
- Lastra, M., Page, H. M., Dugan, J. E., Hubbard, D. M., Rodil, I. F., 2008. Processing of allochthonous macrophyte subsidies by sandy beach consumers: Estimates of feeding rates and impacts on food resources. *Marine Biology*, 154(1), 163–174.
- Levy, J., Dethier, M., Lowe, A., 2014. Invertebrate Abundance and Rate of Decomposition in Beach Wrack of *Zostera marina* and *Fucusdistichus*, Friday Harbor Laboratories Student Research Papers, 1–13.
- McLachlan, A., 1983. Sandy beach ecology – a review [w:] A. McLachlan, T. Erasmus, W. Junk (red.) *Sandy beaches as ecosystems*, Springer-Science+Business Media, Dordrecht, 321–380.
- Mews, M., Zimmer, M., Jelinski, D.E., 2006. Species-specific decomposition rates of beach-cast wrack in Barkely Sound, British Columbia, Canada. *Marine Ecology Progress Series*, 328, 155–160.
- Rasmussen, P. E., Albrecht, S. L., Smiley, R. W., 1998. Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid Pacific Northwest agriculture. *Soil and Tillage Research*, 47(3-4), 197–205.

- Romano, F. B., 2013. *Ecology of Macroalgal Wrack on Exposed Sandy Beaches*. Rozprawa doktorska
- van der Heide, T., van Nes, E. H., Geerling, G. W., Smolders, A. J., Bouma, T. J., & van Katwijk, M. M., 2007. Positive feedbacks in seagrass ecosystems: implications for success in conservation and restoration. *Ecosystems*, 10(8), 1311–1322.
- Węsławski, J. M., Urban-Malinga, B., Kotwicki, L., Opaliński, K., Szymelfenig, M., & Dutkowski, M., 2000. Sandy coastlines - Are there conflicts between recreation and natural values? *Oceanological Studies*, 29(2), 5–18.

Krótką notką o autorze: Autorami tekstu są biolodzy morza z Zakładu Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich. Mgr Radosław Brzana realizuje pracę dokorską poświęconą wpływowi budowy morskich na różnorodność gatunkową i funkcjonalną zespołów bentosowych w Zatoce Gdańskiej. Doktorantka mgr Marta Tykarska zajmuje się biologią i ekologią zmieraczkowatych (*Amphipoda: Talitridae*). Mgr Anna Borecka w ramach pracy doktorskiej prowadzi badania jakości środowiska morskiego i różnorodności funkcjonalnej na przykładzie makrozoobentosu z Zatoki Gdańskiej. Dr hab. Urszula Janas prof. nadzw. jest nauczycielem akademickim i tutorem na Wydziale Oceanografii i Geografii.

Niesamowity świat Nudibranchia

Izabela Przednowek, Luiza Bielecka

Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii

E-mail: izabela.przednowek@gmail.com

Słowa kluczowe – *Nudibranchia*, *Gastropoda*, *bezmuszlowce*, *behavior*, *mechanizmy obronne*

Wstęp

Nudibranchia (nagoskrzelne) to niezwykle interesujące zwierzęta, zarówno pod względem wyglądu, budowy, jak i sposobów funkcjonowania w środowisku. To morskie mięczaki nie posiadające muszli, które zachwycają swoim pięknem, różnorodnością struktur ciała i ubarwieniem. Stanowią najliczniejszy w gatunki rząd wśród ślimaków tyłoskrzelnych (podgromada Opisthobranchia). Wydawać by się mogło, że te niewielkich rozmiarów ciała organizmy (najczęściej kilkucentymetrowe), pozbawione muszli i jaskrawo ubarwione są bezbronne, łatwe do zauważenia, przez co bardzo podatne na ataki drapieżników. Okazuje się jednak, że Nudibranchia posiadają szereg bardzo ciekawych przystosowań, dzięki którym są w stanie same doskonale funkcjonować jako drapieżniki – polować na organizmy przewyższające je rozmiarami, np. na dorosłe osobniki rurkopławów z gatunku *Physalia physalis*, o długości kolonii około 30 cm (Faulkner i Ghiselin, 1983; Jura, 2002; Błaszak, 2012; Alvim i Pimenta, 2013; Gosliner i in., 2015).

Ślimaki nagoskrzelne stają się bezmuszlowcami na pewnym etapie swojego rozwoju. Początkowo, w stadium larwalnym (veliger) posiadają muszlę, która w trakcie metamorfoz ulega całkowitej redukcji (Harrigan i Alkon, 1978, Bickell i Kempf, 1983; Fraser, 2002; Wägele i Klussmann Kolb 2005; Błaszak, 2012; Gosliner i in., 2015). Zastanawiający jest fakt redukcji muszli, i powody dla których ewolucja tych ślimaków podążyła właśnie w takim kierunku. Większość Gastropoda posiada bowiem muszlę przez całe życie, a jej brak wydaje się więc być równoznaczny z utratą ważnego elementu ochraniającego ciało. W tej kwestii naukowcy stawiają różne hipotezy, które wiążą bardzo ściśle z innymi mechanizmami obronnymi wykształconymi przez te nagie ślimaki. Uważają, że to one przede wszystkim stały się doskonale działającym substytutem utraconej konchy (Faulkner i Ghiselin, 1983; Gosliner i in., 2015).

Nudibranchia kojarzą się głównie z wodami tropikalnymi – najobficiej występują w wodach południowej Afryki (Fraser, 2002). Rejestruje się jednak w niemalże całym oceanie światowym, również w rejonach umiarkowanych, czy też polarnych. Mimo, że ich rozmieszczenie jest w głównej mierze uzależnione od zasolenia danego akwenu, spotykane są także w Morzu Bałtyckim, np: *Alderia modesta*, *Tenellia adspersa*, *Onchidoris muricata* czy *Limapontia capitata* (Jura, 2002; Błaszak, 2012). Ślimaki nagoskrzelne mogą zatem żyć w różnorodnych środowiskach, poczynając od strefy pływów (*Doto fragilis*, *Doris pseudoargus*, *Tritoniella belli*), a kończąc na bardzo dużych głębokościach (*Bathydoris abyssorum*, *Doris kerguelenensis*, *Rostanga ankyra*) (McClintock i in., 1994; Fraser, 2002; Martynov i in., 2006; Valdés, 2001).

Ogólna charakterystyka rzędu Nudibranchia i jego podrzędów

Nudibranchia to najobszerniejszy rząd pod względem liczby osobników w podgromadzie Opisthobranchia (tyłoskrzelne). Ja już wspomniano wcześniej, cechą rozpoznawczą tej grupy zwierząt jest całkowity brak muszli. Ich ciało jest wyraźne spłaszczone, a wielkość nie przekracza kilkunastu centymetrów. Swoją nazwę zyskały od obecności nagich, niczym nieosłoniętych skrzel, znajdujących się na tylnej części grzbietowej (Fraser, 2002; Jura, 2002; Błaszak, 2012).

Nudibranchia poruszają się ruchem wijącym, dzięki płaskiej, mięsistej nodze, która rozciąga się na całej spodniej części ciała ślimaka. Noga produkuje lepki śluz, który wspomaga ruch. Więksi przedstawiciele Nudibranchia poruszają się dzięki skurczom mięśni nogi postępującym od tylnego do przedniego końca ciała. Ślimaki zasiedlające tereny piaszczyste do poruszania się wykorzystują cienkie rzęski, których ruch przypomina naprzemienną pracę wiosła i pozwala zwierzęciu prześlizgnąć się po wydzielonym wcześniej śluzie (Fraser, 2002; Jura, 2002; Błaszak, 2012).

Nagoskrzelne są organizmy drapieżnymi i aktywnie polującymi. Niektóre z nich posiadają język wyposażony w tarkę (radulę) oraz parę chitynowych szczęk wysyconych takimi samymi proteinami, jak te, które budują karapaks krabów i raków. Zęby znajdujące się na raduli układają się w specyficzne wzory, które są charakterystyczne dla różnych gatunków, co stanowi ważną cechę taksonomiczną. Żywią się przede wszystkim bezkręgowcami, np.: Porifera (gąbki), Anthozoa (koralowce) w tym Actiniaria (ukwiały), czy Hydrozoa (stulbiopławy). Niektóre osobniki mają ściśle określone preferencje pokarmowe, żywią się przez całe życie wyłącznie jednym gatunkiem lub jego wybraną częścią ciała (Fraser, 2002; Jura, 2002; Błaszak, 2012).

Nagoskrzelne mają złożony cykl rozwojowy, przechodzą serię przeobrażeń, lecz żyją zazwyczaj krótko – mogą przeżywać od kilku do kilkudziesięciu dni, a tylko niektóre gatunki do ponad roku (Jura 2002; Błaszak, 2012).

Charakterystyka podrzędów należących do Nudibranchia

Nudibranchia dzielą się na cztery podrzędy — Dendronotina, Arminina, Aeolidina oraz Doridina, z czego dwa ostatnie zostały najdokładniej zbadane i opisane przez naukowców (Fraser, 2002; Jura, 2002; Błaszak, 2012).

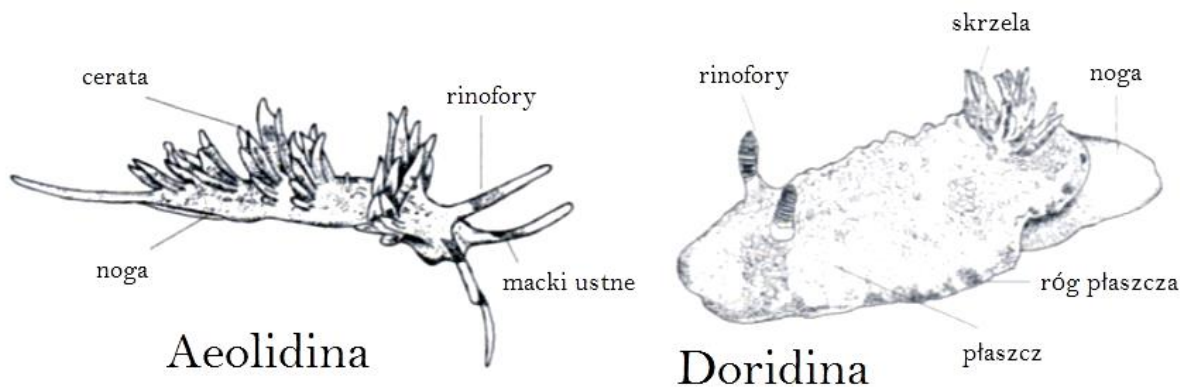
Cechą charakterystyczną podrzędu Aeolidina jest obecność palczastych wyrostków zwanych cerata (Ryc.1; Ryc. 2). Powstały one z przedłużenia płaszczu i rozciągają się na całej długości części grzbietowej. Są to struktury, w które wnikają uchylki gruczołu trawiennego, a na samym ich szczycie znajdują się rezerwuary komórek parzydełkowych, pobranych podczas odżywiania się przedstawicielami Cnidaria (Fraser, 2002; Jura, 2002; Gosliner i in., 2015).

U typowych przedstawicieli podrzędu Doridina płaszcz jest bardzo cienki i rozciąga się do samego końca nogi (Ryc. 1). Jego powierzchnia pokryta jest wyrostkami o różnym kształcie, położeniu oraz liczbie – to ważna cecha taksonomiczna. Ponadto, tkanka płaszczu pełni funkcje obronną dzięki zlokalizowanym w niej gruczołom kwasowym (Fraser, 2002; Jura, 2002).

Zarówno u Aeolidina jak i Doridina wymiana gazowa odbywa się całą powierzchnią ciała, jednakże najważniejszym organem respiracyjnym są skrzel (Ryc.1). U zwierząt należących do Doridina skrzel mają postać wyrostków przypominających pióra i otaczają anus (odbyt) znajdujący się centralnie w tylnej części ciała. Całe zgrupowanie wyrostków nazywa się skrzelowym pióropuszem. Doridina są w stanie ukryć skrzel do woreczka osłonkowego w momencie ataku.

U organizmów reprezentujących podrząd Aeolidina funkcję organu oddechowego pełnią wspomniane wcześniej cerata. Tkanka, która je pokrywa, jest cienka i pozwala na swobodną wymianę gazów pomiędzy organizmem a otoczeniem. Ponadto, cerata mogą być rozgałęzione lub zawierać niewielkie wyrostki, co służy zwiększeniu powierzchni oddechowej zwierząt (Fraser, 2002; Jura, 2002, Gosliner i in., 2015).

Na głowie Nudibranchia znajduje się para palcowatych rinoforów odpowiadających za chemorecepcję. Reagują one na zmiany temperatury, światła oraz składu chemicznego wody. Są to bardzo czułe struktury o różnych kształtach, które stanowią kolejną ważną cechę taksonomiczną (Ryc. 1) (Fraser, 2002; Jura, 2002; Gosliner i in. 2015). Macki ustne tych ślimaków umiejscowione w przedniej części głowy mają za zadanie przytrzymywanie ofiary podczas ataku. Pomagają także w odbieraniu bodźców zewnętrznych oraz są zdolne do identyfikowania zapachów i smaków (Fraser, 2002; Jura, 2002; Gosliner i in., 2015).



Ryc.1. Schemat budowy zewnętrznej dwóch głównych podrzędów Nudibranchia
(Fraser 2002, zmienione)

Na temat przedstawicieli podrzędów Arminina oraz Dendronotina w literaturze znajduje się niewiele informacji. Ślimaki te są najbardziej podobne do Aeolidina przez występowanie wyrostków cerata. Arminina opisywane są jako najmniejsze i najbardziej zróżnicowane pod względem wyglądu zewnętrznego. Ciało ich jest spłaszczone i silnie wydłużone, anus znajduje się w przedniej części ciała. Dendronotina mają odbył umiejscowiony z prawej strony ciała, a rinofory otoczone są rurkowatymi osłonkami. U przedstawicieli obu podrzędów skrzela biegną wzdłuż boków ciała pod płaszczem (Fraser, 2002; Jura, 2002; Gosliner i in., 2015).



Ryc. 2. Nudibranchia z podrzędu Aeolidina.

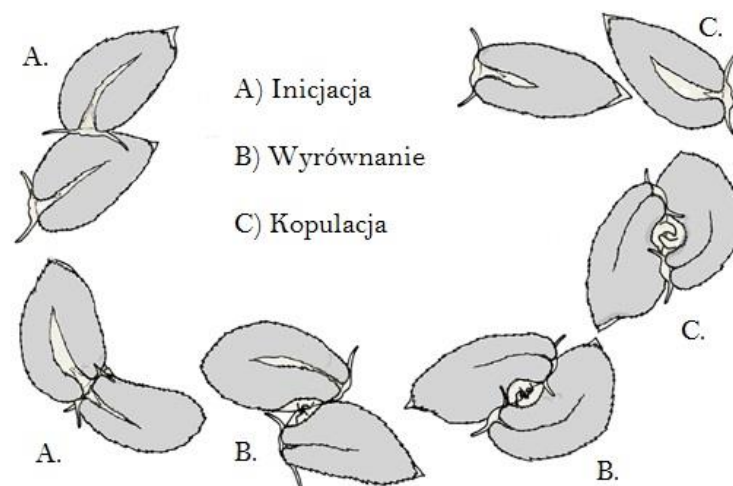
(Zdjęcie wykonane przez Izabelę Przednowek podczas nurkowania w Hiszpanii, Aiguafreda, 07.2016)

Rozmnażanie i rozwój

Zapłodnienie i składanie jaj

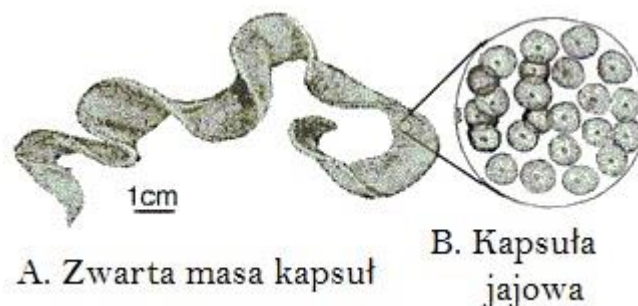
Wszystkie Nudibranchia to hermafrodyty — mogą zachowywać się jak organizm żeński lub męski. Są to zwierzęta, u których nie dochodzi do samozapłodnienia. Zapłodnienie jest krzyżowe, co oznacza, że poszczególne osobniki muszą parować się z innym, aby doszło do wymiany pakietów spermy (Fraser, 2002; Jura, 2002; Boroń i Szlachciak, 2013). Organy rozrodcze Nudibranchia znajdują się po prawej stronie ciała ślimaka. Cały proces prowadzący do wymiany pakietów spermy można podzielić na trzy etapy (Wyeth i Willows, 2006; Boroń i Szlachciak, 2013) (Ryc. 3):

- pierwszy etap to inicjacja (Ryc. 3A) — organizmy odbywają taniec godowy, który polega na wzajemnym dotykaniu ciała, następnie ślimaki odwracają się do siebie przodem i poruszają się zgodnie z ruchem wskazówek zegara do momentu aż będą do siebie zwrócone prawą stroną;
- drugi etap to tzw. wyrównanie (Ryc. 3B) — osobniki poruszają się, zwalniając i przyspieszając, dochodzi do wyrównania narządów kopulacyjnych względem siebie;
- trzeci etap to kopulacja (Ryc. 3C) — jest to ostatni etap, w którym dochodzi do zapłodnienia wewnętrznego, czyli wzajemnego przeniesienia pakietów spermy za pomocą organów kopulacyjnych; po zakończeniu kopulacji ślimaki rozdzielają się i odchodzą od siebie.



Rys. 3. Schemat przedstawiający etapy prowadzące do zapłodnienia
(*www1 ; zmienione*)

Zapłodnione jaja nagoskrzelnych wydalane są z ciała ślimaka przez otwory kopulacyjne. Upakowane są w specjalnych kapsułach wypełnionych śluzem, zawierającym substancje odżywcze niezbędne do ich prawidłowego rozwoju. Kapsuły jajowe tworzą zwartą masę, kształtem przypominają wstążkę (Ryc. 4) (Harrigan i Alkon, 1978; Bickell i Kempf, 1983; Boroń i Szlachciak, 2013).

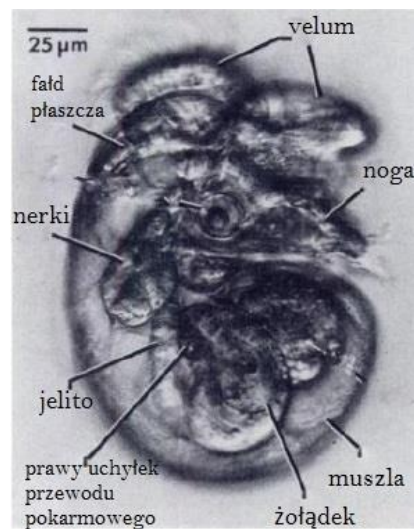


Ryc. 4. Schematyczny rysunek przedstawiający wstęgę zawierającą kapsuły jajowe
(*ryc. Bert Elliot i Trevor Kincaid, Uniwersytet w Waszyngtonie, www2; zmienione*)

Rozwój po wykluciu larwy z jaja

Pierwsza larwa, która rozwija się jeszcze w osłonach jajowych to trochofora. Po około dziesięciu dniach od złożenia jaj, wylęga się bardziej zaawansowana w rozwoju larwa typu veliger (Ryc. 5), która swoim wyglądem bardzo przypomina planktotroficzną larwę innych Opisthobranchia. Charakterystyczną cechą larwy jest obecność muszli, która w późniejszych etapach rozwoju zostanie odrzucona. Larwa veliger posiada dwie główne części ciała — głowową oraz trzewiową. Część głowowa składa się z dwóch płatów rzęskowych tworzących velum (żagielek), które pełnią funkcję lokomocyjną oraz służą do chwytania pożywienia. Znajduje się tam również statocysta – narząd równowagi. Część trzewiowa zawiera w sobie przewód pokarmowy, nerki i okryta jest muszlą.

Przewód pokarmowy składa się z przełyku, żołądka, uchyłków przewodu pokarmowego, z czego prawy uchyłek jest o wiele mniejszy niż lewy, oraz z jelita (Harrigan i Alkon, 1978; Bickell i Kempf, 1983).



Ryc. 5. Zdjęcie przedstawiające larwę przedstawiciela gatunku *Melibe leonina* bezpośrednio po wykluciu z jaja (Bickell i Kempf, 1983; zmienione)

Podczas całego procesu wzrostu i rozwoju larwy, można wyróżnić trzy stadia: stadium bezpośrednio po opuszczeniu jaja, kolejne, w którym pojawia się oko, oraz ostatnie stadium, kiedy larwa jest zdolna do osiedlenia się i dalszej metamorfozy związanej ze zrzuceniem muszli. Stadium drugie rozpoczyna się po około szesnastu do dwudziestu dni po wykluciu, natomiast stadium trzecie po upływie około trzydziestu do maksymalnie czterdziestu ośmiu dni po wykluciu (Bickell i Kempf, 1983). Wraz z upływem dni i przeobrażaniem się u larwy rośnie muszla, która ostatecznie osiąga określoną wielkość (około 250 μm), dopiero wtedy zwierzę jest w stanie ją odrzucić. Czas, jaki upływa od osiedlenia się larwy do zrzucenia muszli trwa od dwunastu do dwudziestu czterech godzin (Bickell i Kempf, 1983).

Mechanizmy obronne Nudibranchia

Z pozoru niewielkie i bezbronne Nudibranchia posiadają wysoce rozwinięte mechanizmy obronne, co czyni je morskimi drapieżcami. W zależności od przynależności taksonomicznej, mechanizmy te w obrębie poszczególnych gatunków różnią się, co wynika w głównej mierze z odmiennej budowy anatomicznej. Dla wszystkich przedstawicieli Nudibranchia uniwersalne są natomiast ubarwienie ostrzegawcze oraz kamuflaż (Fraser, 2002; Jura, 2002; Błaszak, 2012; Gosliner i in., 2015).

Kleptoknidoza

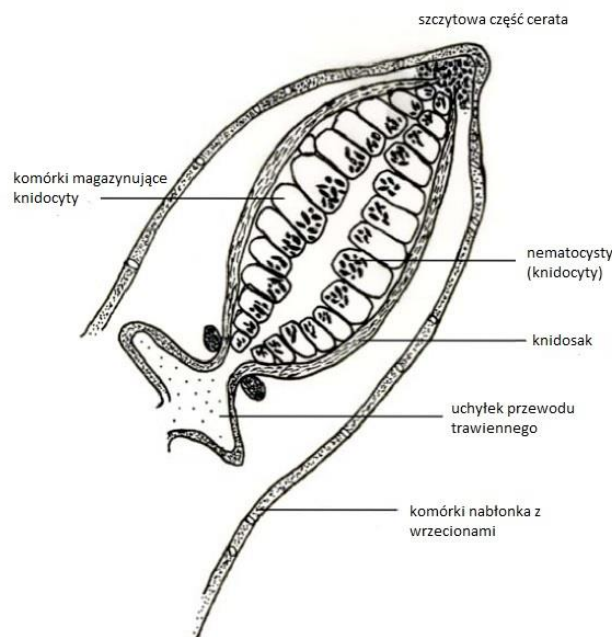
Komórki parzydełkowe Cnidaria (parzydełka, knidy, parzawki) tworzone są przez komórki interstycjalne, które mają wysoki potencjał biologiczny, przez co mogą być formami pierwotnymi dla wszystkich rodzajów komórek u parzydełkowców. Knidy mają owalny kształt, otoczone są chitynową kapsułą. Wewnątrz posiadają jamę wypełnioną cytoplazmą oraz zwiniętą nicią, która zostaje wyrzucona z komórki w momencie zetknięcia się wystającego ponad powierzchnię naskórka wyrostka

czuciowego (kindocyłu) z potencjalnym napastnikiem bądź ofiarą (Grabda, 1984; Jura, 2002; Błaszak, 2015). Parzydełka przystosowane są przede wszystkim do aplikowania substancji trujących i paraliżujących. Stanowią niesamowitą, naturalną barierę ochronną dla parzydełkowców, jak i ułatwienie podczas polowania. Pomimo zabójczych umiejętności parzydełkowców, wiele zwierząt pochodzących z różnych gromad poluje na nie, nie tylko po to, by się nimi odżywić, ale także w celu przejścia ich mechanizmu obronnego. Kleptoknidoza to nic innego jak przechwytywanie obcych parzydełek, nie trawienie ich i wykorzystywanie w celu własnej obrony. Jest to bardzo powszechne zjawisko wśród przedstawicieli Aeolidina, należących do Nudibranchia (Martin, 2003; Greenwood, 2009).

Można zadać pytanie, w jaki sposób Aeolidina bronią się przed zabójczym działaniem parzydełek. Otóż są one wyposażone w specjalne mechanizmy chroniące je przed szkodliwym działaniem komórek parzydełkowych. Zwierzęta te posiadają między innymi bardzo twardą osłonkę kutykularną, zbudowaną z chityny, która pokrywa nabłonek przedsionka jamy ustnej oraz przełyku. Kutykula zapobiega degradacyjnym oraz nieodwracalnym zmianom, jakie mogłoby nieść ze sobą szkodliwe działanie komórek parzydełkowych (Martin i in., 2007 za Greenwood, 2009). W procesie ochrony ślimaka przed szkodliwym działaniem parzydełek bardzo ważną funkcję pełni także śluz, którym są pokryte. Podstawowym i najważniejszym zadaniem śluzu jest ochrona skóry poprzez neutralizację komórek parzydełkowych. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę na to, że zneutralizowane komórki parzydełkowe w żaden sposób nie przyczyniają się do sprawnego funkcjonowania mechanizmu obronnego ślimaków, zatem są one bezużyteczne. Dowiedziono, że największa ilość knidocytów neutralizowana jest przez te ślimaki, które tak naprawdę nie żerują na parzydełkowcach (Mauch i Elliott, 1997; za Greenwood, 2009).

Dzięki wyżej opisanym mechanizmom, Nudibranchia są w stanie pochłoniąć komórki parzydełkowe, nie wyrządzając sobie przy tym większej szkody. Te komórki, które nie uległy neutralizacji w momencie zetknięcia się z warstwą śluzu, przechodzą przez uchylki przewodu pokarmowego w przeciągu dwóch lub trzech godzin od ich pochłonięcia. Następnie kierowane są do knidosaku (Ryc. 6), gromadzącego parzydełka podczas procesu kleptoknidozy. Jest to struktura wypełniona komórkami, które mają za zadanie przechowywanie knidocytów. Knidocyty, które nie osiągnęły jeszcze swojej pełnej dojrzałości i nie są zdolne do paraliżowania, dojrzewają wewnątrz tych komórek. Pozostają w nich aż do momentu wykorzystania ich przez ślimaka lub rozkładu przy udziale lizosomów (Martin, 2003; Greenwood, 2009). Najważniejszą funkcją knidocytów jest obrona przed napastnikami. W momencie kiedy parzydełka zostają uwolnione z cerata (palczaste wyrostki na grzbiecie ślimaka), wypuszczają substancje toksyczne oraz paraliżujące. Co ciekawe, Nudibranchia posiadają faktyczną kontrolę nad liczbą uwalnianych komórek parzydełkowych (Greenwood, 2009).

Nudibranchia posiadające parzydełka zapożyczone od Cnidaria wykazują wzmoczoną drapieżność, a ich cerata są bardzo szybko regenerowane (Miller i Byrne, 2000 za Greenwood, 2009). Frick (2005) (z Greenwood 2009) przedstawił dowody świadczące o tym, że rodzaj komórek parzydełkowych pobieranych przez dany gatunek ślimaka jest ściśle związany ze środowiskiem w jakim bytuje oraz z rodzajem pokarmu, na jakim żeruje. Co więcej, ślimak jest w stanie pochłaniać takie komórki parzydełkowe, które dają mu najwięcej korzyści oraz sprawiają, że staje się on silnym morskim drapieżnikiem (Martin, 2003; Greenwood, 2009). Podczas ataku zwierzę nastrosza cerata i ostrzegawczo macha nimi w kierunku przeciwnika. W momencie gdy dojdzie do ataku, ślimak odpycha wyrostkami napastnika, tak aby jego część głowowa oraz trzewiowa zostały nietknięte (Aguado i Marin, 2006).



Ryc. 6. Schemat cerata w przekroju podłużnym sporządzony na podstawie organizmu *Spurilla neapolitana* (Greenwood, 2009; zmieniony)

Aposematyzm i mimikra

Aposematyzm, czyli ubarwienie ostrzegawcze to jeden z częściej spotykanych mechanizmów obronnych u Nudibranchia. Bardzo powszechnym zjawiskiem u tych ślimaków jest również mimikra. Zjawisko to polega na upodobnieniu się do tych zwierząt, które posiadają bardziej wyspecjalizowane mechanizmy obronne. Zyskują one wówczas bezpieczeństwo, bowiem zmniejsza się prawdopodobieństwo ataku drapieżnika. W parze z mimikrą u Nudibranchia często występuje kleptoknidoza (spotykana u przedstawicieli Aeolidina) (Haber i in., 2010).

Chemiczne mechanizmy obronne

Innym, często spotykanym przystosowaniem, wykorzystywanym przez część przedstawicieli Nudibranchia, w tym między innymi Doridina, jest wydzielanie substancji chemicznych pobranych przez zwierzę podczas żerowania na takich organizmach, jak np. Porifera (Faulkner i Ghiselin, 1983; Avila i in., 2000; Karuso i Scheuer, 2002; Haber i in., 2010). Porifera to nisko uorganizowane bezkręgowce, które posiadają pewne specyficzne, aktywne biologicznie związki chemiczne. U gąbek, które pozbawione są szkieletu, substancje te są o dosyć rozpowszechnione oraz występują w wysokim

stężeniu, co wskazuje na to, że pełnią one funkcję obronną (Faulkner i Ghiselin, 1983).). Badania przeprowadzone na Porifera dowodzą, że organizmy, które posiadają metabolity wtórne (wspomniane powyżej związki chemiczne ulokowane w wakuolach, pełniące funkcje obronne, odstraszające czy też przywabiające) są znacznie rzadziej atakowane przez potencjalnych napastników (Faulkner i Ghiselin, 1983).

Obecność metabolitów produkowanych przez gąbki została stwierdzona u ślimaków należących do Nudibranchia, bytujących w tym samym środowisku co przedstawiciele Porifera (Faulkner i Ghiselin, 1983; Karuso i Scheuer, 2002; Haber i in., 2010). Dowiedziono tego poprzez analizę porównawczą związków chemicznych obecnych u Nudibranchia i u Porifera, na których ślimaki żerują. Na przykład, metabolit 1-metyloguanozyna zidentyfikowany u gąbki z gatunku *Tedania digitata* został zidentyfikowany również w gruczołach trawiennych ślimaka *Anisodoris nobilis* (Karuso i Scheuer, 2002). Kolejny, udokumentowany przykład związku pomiędzy Nudibranchia a Porifera to występowanie dokładnie tych samych metabolitów u *Cadlina luteomarginata* oraz *Axinella* sp (Faulkner i Ghiselin, 1983; Karuso i Scheuer, 2002).

Wraz z substancjami chemicznymi ślimaki pobierają również pigmenty, co zostało uznane jako mechanizm pasywnej obrony chemicznej (Faulkner i Ghiselin, 1983; Karuso i Scheuer, 2002). Doskonałym przykładem jest ślimak *Rostanga pulchra*, który żyje tylko i wyłącznie na czerwonych gąbkach (Avila i in., 2000). Pobiera z nich barwniki karotenoidowe, co skutkuje zmianą jego ubarwienia. Kamuflaż zyskiwany dzięki specjalistycznej diecie nie jest zbyt powszechny u morskich bezkręgowców, dlatego też uważa się go jedynie za uboczny skutek obecności pigmentów w pożywieniu. Ważniejsze dla zwierząt są pozyskane substancje chemiczne, które w starciu z napastnikiem są o wiele bardziej skuteczne niż kamuflaż (Faulkner i Ghiselin, 1983; Avila i in., 2000).

Muszla a styl życia

Muszla okrywająca korpus ślimaka to skorupa ochraniająca zewnętrzne partie ciała ślimaka przed drapieżnikami takimi, jak np. ryby, kraby czy inne drapieżniki posiadające zdolność ruchu (Wägele i Klussmann Kolb, 2005).

Naukowcy uważają, że jedną z przyczyn, dla których część ślimaków, w tym Nudibranchia, odrzuciła swoją muszlę, może być zasiedlanie nowych środowisk (Wägele i Klussmann Kolb, 2005). Według badaczy, kiedy ślimaki rozpoczęły swoją ekspansję, tj. odkrywanie nowych terenów i adaptowanie się do nowych warunków środowiskowych, wymusiło to na nich pewne zmiany zarówno na poziomie morfologicznym, jak i fizjologicznym. Można to zobrazować, porównując bezmuszlowca i ślimaka z muszlą. Dzięki redukcji skorupy ślimaki należące do Aeolidina są w stanie odżywiać się Hydrozoa, czego nie potrafią muszlowce. Z kolei ryjące w dnie ślimaki, które posiadają muszlę, mają wyspecjalizowaną tarczę głowową zachodzącą na konchę, w efekcie czego zwierzę ma bardziej opływowy kształt ciała. Ślimaki nie posiadające muszli należące do Anaspidea oraz Sacoglossa to organizmy, które pobierają pigmenty oraz chloroplasty z roślin, którymi się żywią. Dzięki temu, że nie są ograniczone konchą, fotosynteza może zachodzić wewnątrz ich ciała. Do nich podobne są Nudibranchia, które w zbliżony sposób wykorzystują zooksantelle, magazynując je w przewodzie pokarmowym (Muniain, 2001; Wägele i Klussmann Kolb, 2005; Gosliner i in., 2015). Zarówno przedstawiciele Sacoglossa, jak i Nudibranchia, dzięki symbiozie z fotosyntetyzującymi glonami mogą przetrwać przez długi czas bez pożywienia — najdłuższy, zarejestrowany okres czasu

u Sacoglossa to nawet osiem miesięcy, natomiast u Nudibranchia dziesięć miesięcy Gosliner i in., 2015).

Mechanizmy obronne – post– czy preadaptacja po utracie muszli

Podgromada Opisthobranchia skupia ślimaki posiadające muszlę, ale również i takie, które tej muszli nie posiadają. Nudibranchia stanowią jeden z niewielu rzędów, który charakteryzuje się całkowitym brakiem muszli — z wyłączeniem stadium larwalnego (Gosliner i in., 2015). Uważa się, że zupełna redukcja muszli została skompensowana u tych zwierząt przez różne, specjalnie dostosowane do wymagań środowiska adaptacje, w tym wysoko wyspecjalizowane mechanizmy obronne (Faulkner i Ghiselin, 1983; Grkovic, 2005).

Zgodnie z nowoczesną teorią ewolucji utratę muszli wyjaśnia się zyskami ekonomicznymi (Faulkner i Ghiselin, 1983; Grkovic i in., 2005). Zdaniem naukowców, brak muszli jest równoznaczny z bardzo dużą oszczędnością kosztów związanych z jej powstawaniem, odbudową oraz samym transportem. Z drugiej strony brak muszli powoduje wzrost ryzyka ataku napastnika (Faulkner i Ghiselin, 1983). Według Faulkner'a i Ghiselin'a (1983) korzyści wynikające z redukcji muszli zaczynają się wzrastać wtedy, gdy zostanie ona zastąpiona alternatywnym, niezbyt kosztownym w utrzymaniu innym środkiem ochrony. Patrząc jednak z innej perspektywy, można jednak stwierdzić, że związki chemiczne czy komórki parzydełkowe pobierane z pożywienia przez Nudibranchia, owszem zmniejszają koszty związane z ich potencjalną produkcją do zera, ale również wysoki jest ich koszt utrzymania (Faulkner i Ghiselin, 1983; Grkovic i in., 2005). Faulkner i Ghiselin (1983) badając powiązanie pomiędzy utratą muszli a rozwojem mechanizmów obronnych, postawili dwie hipotezy:

- chemiczne mechanizmy obronne są post-adaptacją, czyli wyewoluowały po tym, jak zwierzęta utraciły muszlę;
- chemiczne mechanizmy obronne są preadaptacją, pozwoliły ślimakom przygotować się do życia bez muszli.

Badacze ci w swojej pracy skłaniają się ku hipotezie preadaptacyjnej – według nich mechanizmy obronne rozwijały się powoli, stopniowo wraz z redukcją muszli. Pierwsza hipoteza zakładająca post-adaptację wydaje się być mniej prawdopodobna, ponieważ w momencie „rezygnacji” z muszli zwierzęta pozostałyby bezbronne, bez innego, alternatywnego mechanizmu obronnego (Faulkner i Ghiselin, 1983). Badania Wägele i Klussmann Kolb (2005) zdają się potwierdzać hipotezę preadaptacyjną. Dowiedli oni bowiem, że takie struktury, jak gruczoły kwasowe czy cerata z komórkami parzydełkowymi występują tylko u tych taksonów, które utraciły muszlę.

Literatura

- Aguado, F., Marin, A., 2007, Warning coloration associated with nematocyst-based defences in aeolidiidean nudibranchs. *Journal of Molluscan Studies*, 73(1), 23–28.
- Alvim, J., Pimenta, A. D., 2013, Taxonomic review of the family Discodorididae (Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia) from Brazil, with descriptions of two new species. *Zootaxa*, 3745(2), 152–198.

- Avila, C., Iken, K., Fontana, A., Cimino, G., 2000, Chemical ecology of the Antarctic nudibranch *Bathydoris hodgsoni* Eliot, 1907: defensive role and origin of its natural products. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 252(1), 27–44.
- Bickell, L. R., Kempf, S. C., 1983, Larval and metamorphic morphogenesis in the nudibranch *Melibe leonina* (Mollusca: Opisthobranchia). *The Biological Bulletin*, 165(1), 119–138.
- Błaszak, C. (red.), 2009, *Zoologia: bezkręgowce*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Boroń, A., Szlachciak J., 2013, *Różnorodność i taksonomia zwierząt* Tom 1. Charakterystyka i systematyka zwierząt. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie.
- Faulkner, D. J., Ghiselin, M. T., 1983, Chemical defense and evolutionary ecology of dorid nudibranchs and some other opisthobranch gastropods. *Marine Ecology Progress Series*, 13(2), 295–301.
- Fraser, V., 2002, *More reef fishes and nudibranchs: east and south coast of Southern Africa*, Struik Publishers.
- Gosliner, T., Valdéz, Á., Behrens, D. W., 2015, *Nudibranch and Sea Slug Identification: Indo-Pacific*.
- Grabda, E., 1985, *Zoologia, Bezkręgowce*. Tom I/II, PWN.
- Grkovic, T., Appleton, D. R., Copp, B. R., 2005, Chemistry and Chemical Ecology of some of the Common Opisthobranch Molluscs Found on the Shores of NE New Zealand. *Chemistry in New Zealand*, 69(4), 12–15.
- Haber, M., Cerfeda, S., Carbone, M., Calado, G., Gaspar, H., Neves, R., Maharajan V., Cimino G., Gavagnin M., Ghiselin M., Mollo, E., 2010, Coloration and defense in the nudibranch gastropod *Hypselodoris fontandraui*. *The Biological Bulletin*, 218(2), 181–188.
- Harrigan, J. F., Alkon, D. L., 1978, Larval rearing, metamorphosis, growth and reproduction of the eolid nudibranch *Hermisenda crassicornis* (Eschscholtz, 1831)(Gastropoda: Opisthobranchia). *Biological Bulletin*, 154(3), 430–439.
- Jura, C., 2002, *Bezkręgowce: podstawy morfologii funkcjonalnej, systematyki i filogenezy*. Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Karuso, P., Scheuer, P. J., 2002, Natural products from three nudibranchs: *Nembrotha kubaryana*, *Hypselodoris infucata* and *Chromodoris petechialis*. *Molecules*, 7(1), 1–6.
- Martin, R., 2003, Management of nematocysts in the alimentary tract and in cnidosacs of the aeolid nudibranch gastropod *Cratena peregrina*. *Marine Biology*, 143(3), 533–541.
- Martin, R., Walther, P., 2003, Protective mechanisms against the action of nematocysts in the epidermis of *Cratena peregrina* and *Flabellina affinis* (Gastropoda, Nudibranchia). *Zoomorphology*, 122(1), 25–32.
- Martynov, A. V., Korshunova, T. A., Savinkin, O. V., 2006, Shallow-water opisthobranch molluscs of the Murman coast of the Barents Sea, with new distributional data and remarks on biology. *Ruthenica*, 16(1-2), 59–72.
- McClintock, J. B., Baker, B. J., Slattery, M., Heine, J. N., Bryan, P. J., Yoshida, W., Davies-Coleman M. T., Faulkner, D. J., 1994, Chemical defense of common antarctic shallow-water nudibranch *Tritoniella belli* eliot (Mollusca: Tritonidae) and its prey, *Clavularia frankliniana* rouel (Cnidaria: Octocorallia). *Journal of Chemical Ecology*, 20(12), 3361.
- Muniain, C., Marín, A., Penchaszadeh, P., 2001, Ultrastructure of the digestive gland of larval and adult stages of the sacoglossan *Elysia patagonica*. *Marine Biology*, 139(4), 687–695.

Schmitt, V., Anthes, N., & Michiels, N. K., 2007, Mating behaviour in the sea slug *Elysia timida* (Opisthobranchia, Sacoglossa): hypodermic injection, sperm transfer and balanced reciprocity. *Frontiers in Zoology*, 4(1), 17-25.

Wägele, H., Klussmann-Kolb, A., 2005, Opisthobranchia (Mollusca, Gastropoda)—more than just slimy slugs. Shell reduction and its implications on defence and foraging. *Frontiers in Zoology*, 2(3), 1–18.

Wyeth, R. C., Willows, A. D., 2006, Field behavior of the nudibranch mollusc *Tritonia diomedea*. *The Biological Bulletin*, 210(2), 81–96.

Valdés, Á., 2001, Deep-sea cryptobranch dorid nudibranchs (Mollusca, Opisthobranchia) from the tropical west pacific, with descriptions of two new genera and eighteen new species. *Malacologia*, 43(1-2), 237–311.

Źródła internetowe:

www 1. <http://www.asnailsodyssey.com/LEARNABOUT/NUDIBRANCH/nudiRepr.php> (26.05.2018)

www 2. <http://www.asnailsodyssey.com/LEARNABOUT/NUDIBRANCH/nudiEgg.php> (26.05.2018)

Krótką notką o autorze: *Studentka II roku Oceanografii II stopnia. Jej zainteresowania koncentrują się wokół zagadnień związanych z ratowaniem i odbudową ekosystemów morskich oraz funkcjonowaniem ekosystemów polarnych. Ponadto interesuje się również podwodnym wulkanizmem, jego aktywnością i skutkami dla środowiska. Jej jedną z dużych pasji jest nurkowanie.*

O energetyce wodnej, jak według mnie wpływa na środowisko

Natalia Anna Miernik

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: natalakamiernik@gmail.com

Tutor: dr Anna Lizińska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii,
Instytut Oceanografii, Zakład Biologii i Ekologii Morza

Słowa kluczowe – energetyka wodna, ryby, migracje, środowisko

Ze względu na stały wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną na całym świecie, ludzie starają się odkrywać i wykorzystywać jej różne źródła. Cierpi jednak na tym nasza planeta - Ziemia. Ludzie starają się więc znajdować jak najmniej szkodliwe dla środowiska sposoby pozyskiwania energii poprzez korzystanie z jej odnawialnych źródeł. Elektrownie wodne produkują energię elektryczną wykorzystując przepływ wody. Pozwala to na wytwarzanie przez nie energii elektrycznej bez emisji CO₂. Ze względu na olbrzymią ilość dwutlenku węgla emitowaną każdego dnia do atmosfery, korzystanie z elektrowni wodnych zdecydowanie jest korzystne dla środowiska.

Niestety energetyka wodna na rzekach wpływa również negatywnie na środowisko: przekształca krajobraz naturalny, powoduje przerwanie ciągłości podłużnej rzek oraz powstrzymuje naturalne migracje organizmów wodnych, co prowadzi do niszczenia ekosystemów wodnych (Wierzbicki, 2013).

Wiele gatunków zwierząt wodnych przemieszcza się. Wędrowki te, nazywane migracjami, mają różne przyczyny. Niektóre wywołane są podążaniem za pokarmem, inne są wędrowkami rozrodczymi. Wśród ryb migracje są często obserwowanym zjawiskiem. Migracje te mogą odbywać się w obrębie jednego środowiska: wód słodkich, np. jaź (*Leuciscus idus*) lub wód słonych - śledź (*Clupea harengus*) i dorsz (*Gadus morhua*), lub między oboma środowiskami (migracje dwuśrodowiskowe). Ze względu na kierunek migracji dwuśrodowiskowych wyróżnia się wędrowki katadromiczne - ryby żyjące w wodach słodkich rozmnażają się w wodach słonych, np. węgorz (*Anguilla anguilla*), oraz wędrowki anadromiczne - ryby rozmnażające się w słodkich wodach, poza okresem tarła spotykane są w wodach słonych, np. łosoś szlachetny (*Salmo salar*), troć wędrowną (*Salmo trutta m. trutta*), czy minóg rzeczny (*Lampetra fluviatilis*) (Harden Jones, 1968; Skóra i in., 2012)[1]. Rzeki, będące naturalną trasą migracji ryb, są dziś wykorzystywane w największym stopniu w energetyce.

Większość elektrowni wodnych wymaga sztucznego spiętrzania wody w sposób uniemożliwiający swobodne migracje organizmów wodnych. Sztuczne piętrzenie jest wykorzystywane m.in. w Małych Elektrowniach Wodnych (MEW) (Ryc. 1), oraz zaporach (Ryc. 2). Ze względu na łatwo zdobywane dofinansowania, budowa MEW stała się ostatnio bardzo częstym

zjawiskiem (Skóra i in., 2012). Zapory nie są budowane tak często jak MEWy. Wpływają na środowisko podobnie do nich, jednak na znacznie większą skalę. Oba typy budowli spiętrzających wodę, wpływają na środowisko wodne w aspektach biologicznym i hydraulicznym. Choć niektórzy wskazują na niską szkodliwość ekologiczną tego typu elektrowni (Niechciał, 2014), według innych autorów mają one duży, negatywny wpływ na środowisko wodne (Włodek i Skóra, 1993; Skóra i in., 2012; Wierzbicki, 2013)



Ryc. 6. Elektrownia wodna Wrzeszczyn na Jeziorze Wrzeszczyńskim
(fot. Paweł Kuźniar [2])



Ryc. 7. Zapora we Włocławku
(fot. Danuta B. [3])

Energetyka wodna wpływa na ekosystem przez zahamowanie lub całkowite zatrzymanie migracji organizmów wodnych. Budowa sztucznych spiętrzeń na zbiornikach wodnych jest fizyczną barierą dla zwierząt migrujących (Bartnik i in., 2015). Większość organizmów nie potrafi pokonać progu nawet pomimo specjalnych konstrukcji, które w założeniu powinny migrację umożliwić. Jednym z rozwiązań pozwalających zwierzętom na migracje wstępującą (czyli taką w górę rzeki) są przepławki (Ryc. 3, Ryc. 4) (Wierzbicki, 2013). W tę konstrukcję wyposażone zostały m.in. zapory na Sanie w Przemyśle oraz na Wiśle we Włocławku (Bartnik i in., 2015; Pokropski, 2017). Z monitoringów efektywności funkcjonowania obu przepławek wynika, że niewielka liczba ryb jest w stanie pokonać jaz. Oznacza to, że te urządzenia nie są wystarczające (Skóra i in., 2012). Przykładem może być troć wędrowną (*Salmo trutta m. trutta*), której populacja w górnych odcinkach Wisły przed wybudowaniem tamy we Włocławku wynosiła ok. 6–7 tysięcy, a po wybudowaniu liczba ta zmniejszyła się prawie pięciokrotnie, bo do 1,5 tysiąca osobników. W roku 2015 udokumentowano, że przez tę zaporę przedostały się zaledwie 2 osobniki łososa szlachetnego (*Salmo salar*) (Dębowski, 2016). Łosoś i troć wędrowną należą do ważnych dla polskiego rybołówstwa ryb anadromicznych więc uniemożliwienie im wędrówek tarliskowych negatywnie odbija się nie tylko na środowisku, ale i na polskiej gospodarce.



Ryc. 8. Przepławka na stopniu wodnym we Włocławku (Dębowski, 2016)



Ryc. 9. Przepławka romboidalna. Jaz Lehmen na Mozeli („Przepławki dla ryb...”, 2016)

Migracje zstępujące (w dół rzeki) są uniemożliwiane rybom poprzez zabijanie ich przez turbiny elektrowni. Do pewnego stopnia jest to niwelowane przez montowanie krat zabezpieczających wloty do turbin. Małe ryby, które są w stanie ominąć przeszkodę w postaci kraty, giną w turbinach. Kraty chronią duże ryby przed wpłynięciem do turbin, jednak zwierzęta są zmuszone do pozostania w zbiorniku nad tamą. Blokowanie wlotów do turbin chroni więc ryby, ale jednocześnie uniemożliwia im migracje (Skóra i in., 2012; Wierzbicki, 2013). Oba te problemy są rozwiązywane przez specjalne

urządzenia migracyjne, kierujące ryby do przepławek, np. kurtyny sprężonego powietrza (Wierzbicki, 2013).

Budowanie progów spiętrzających na rzekach w znacznym stopniu powoduje zmiany hydrauliki rzeki, zarówno pod jak i ponad zaporą. Sztuczne piętrzenie wody wiąże się z podwyższeniem stanu wody nad progiem i zmniejszenia kąta nachylenia lustra wody, co prowadzi do zmniejszenia prędkości przepływu wody w rzece ponad tamą. Wpływ jazu na warunki hydrologiczne rzeki może sięgać nawet do wielu kilometrów powyżej tamy. Niska prędkość przepływu przyczynia się do wcześniejszej akumulacji większych cząstek osadu. Może to intensyfikować procesy zarastania koryta rzecznego przez rośliny wodne. Ponadto woda powyżej jazu jest słabiej wymieszana, co w najgorszym przypadku może wywoływać zmianę przepływu z turbulentnego do laminarnego i powodować powstanie warunków beztlenowych. Tworzenie się stagnujących zbiorników nad tamą stanowi barierę występowania wielu gatunków reofilnych np. głowacza białopłetwego (*Cottus gobio*), lipienia (*Thymallus thymallus*) czy minoga strumieniowego (*Lampetra planeri*) i ich wypieranie przez gatunki stagnofilne m.in. karasia (*Carassius carassius*), piskorza (*Misgurnus fossilis*) i karpia (*Cyprinus carpio*) (Skóra i in., 2012; Wierzbicki, 2013)[1]. Zmianę składu gatunkowego ryb obserwowano w rejonie cofki na Wiśle w Krakowie. Miejsce reofilnych pstrągów, świnek i brzan zajęły w tym ekosystemie leszcze (Włodek i Skóra, 1993). Ekosystem poniżej tamy nie pozostaje obojętny na istnienie progów piętrzących. Wzrost intensywności akumulacji powyżej jazu zwiększa się i następuje zwiększenie erozji koryta rzecznego poniżej progów (Wierzbicki, 2013). Przykładowo przez pierwsze 10 lat działania elektrowni wodnej we Włocławku erozja poniżej zapory spowodowała obniżenie się dna o 2,5 m. Zwiększenie głębokości koryta rzecznego powoduje zmniejszenie prędkości przepływu wody poniżej tamy, co wywołuje zwiększoną intensywność akumulacji osadów oraz pogorszenie się warunków tlenowych (Wierzbicki, 2008).

Podsumowując budowa elektrowni wodnych w znacznym stopniu zahamowuje migracje organizmów wodnych, oraz powoduje niszczenie wodnych ekosystemów lotycznych w okolicach elektrowni. Obecnie stosowane rozwiązania w większości przypadków nie są wystarczające, żeby zniwelować negatywny efekt ekologiczny. Jednakże, jak dowodzą niektóre przykłady, istnieją sposoby, żeby temu zaradzić. Gdyby udało się wprowadzić skuteczne systemy ułatwiające organizmom wodnym migracje oraz chroniące obszary wodne wokół elektrowni, energetyka wodna mogłaby być uznana za ekologiczną. Jednak na obecną chwilę uważam, że energetyka wodna przynosi środowisku więcej szkód niż pożytku.

Literatura

- Bartnik, W., Mokwa, M., Książek, L., Strutyński, M., Wyrębek, M., Florek, J., Leja, M., Hawryło, A., Tarnawski, K., Popek, W., Szczerbik, P., Klaczak, A., Popek, J., Nowak, M., 2015. *Monitoring i ocena efektywności funkcjonowania przepławki dla ryb powstałej po przebudowie jazu piętrzącego na rzece San w km 168+850*. Gliwice, Pectore-Eco Sp. Z o.o.
- Dębowski, P., 2016. Migracja ryb przepławką na stopniu wodnym we Włocławku w 2015 roku. *Komunikaty rybackie*, 4(153), 1-7.
- Harden Jones, F., R., 1968. *Fish Migration* Edward Arnold (Publishers) Ltd, London.
- Niechciał, J., 2014. Energetyka wodna - jak wpływa na środowisko? *Wszechświat*, 115 (7-9) 209-2011
- Pokropski, T., 2017. *Monitoring migracji ryb przez przepławkę na stopniu wodnym we Włocławku w 2016 roku*. Włocławek, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Warszawie - Zarząd Zlewni w Warszawie Inspektorat we Włocławku.

Skóra, M., Radtke, G., Bernaś, R., 2012. Małe elektrownie wodne – duże problemy ekologiczne: przykłady z rzek północnej Polski. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzn*, 68(6), 424–434.

Wierzbicki, M., 2013. Problematyka przywrócenia migracji ryb przez obiekty hydrotechniczne w korytach rzecznych. *Landform Analysis*, 24, 107–113.

Wierzbicki, M., Hammerling, M., Przedwojski, B., 2008. Przebieg procesu erozji poniżej zbiornika Jeziorsko na rzece Warcie. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 17 (2/40), 136–145

Włodek, J., M., Skóra, S., 1993, Ichtiofauna Wisły na terenie Wielkiego Miasta Krakowa w ostatnim stuleciu. *Studia Ośrodka Dokumentacji Fizjograficznej*, 21, 245–263

Fundacja WWF Polska, 2016. *Przełaski dla ryb - projektowanie, wymiary i monitoring*, Warszawa.

[1] www.fishbase.org [Dostęp 20.12.2017]

[2] <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=944465> [Dostęp 18.02.2018]

[3] [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elektrownia_wodna_we_W%C5%82oc%C5%82awku_-_fotopolska.eu_\(266640\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Elektrownia_wodna_we_W%C5%82oc%C5%82awku_-_fotopolska.eu_(266640).jpg) [Dostęp 18.02.2018]

Krótką notką o autorze: *Studentka II roku Oceanografii na Uniwersytecie Gdańskim. Interesuje się biologią organizmów morskich i lądowych. W wolnym czasie lubi czytać książki fantastyczne i rysować.*

Czy plastiki są wrogiem człowieka?

Anna Radziszewska

Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: radziszewska.an@gmail.com

Tutor: dr hab. Anita Lewandowska, profesor nadzwyczajny

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

Słowa kluczowe – plastik, zanieczyszczenie, recykling

Plastik jest materiałem o wszechstronnym zastosowaniu. Bez niego dzisiejszy świat wyglądałby zupełnie inaczej. Zadaję sobie tylko pytanie: lepiej czy gorzej? Ludzie całkowicie polegają na tym tworzywie, wręcz się od niego uzależnili. Gdzie nie spojrzymy, jest on obecny. Komputer, na którym pracuję jest z plastiku. Komórka, z której dzwonię, jest plastikowa. Nawet plecak, który noszę na plecach, ma w sobie włókna akrylowe. Ubrania piorę w plastikowej pralce, a zażywane leki wyjmuję z plastikowego opakowania. Przykłady mogłabym mnożyć. Przecież także wodę mineralną piję z butelki plastikowej. A wszystko po to, aby polepszyć swój życiowy komfort. Bo używanie plastików jest przecież takie wygodne...

Początek tworzyw sztucznych sięga rewolucji przemysłowej. Ich historia zaczęła się w 1862 roku w Wielkiej Brytanii. Wówczas po raz pierwszy na wystawie w Birmingham przedstawiono Parkesine, nazwany na cześć jego twórcy, Alexandra Parkesa [1]. Tworzywo to, zwane także celuloidem, zbudowane było z nitrocelulozy i organicznego związku otrzymanego z drzewa kamforowego, tzw. kamfory. Parkesine był twardym i podatnym na formowanie materiałem, odpornym na wodę, oleje i rozcieńczone kwasy [5]. Był on wykorzystywany przede wszystkim do izolowania drutów telegraficznych. Nie było to jednak tworzywo idealne, ze względu na jego łatwopalność i niewielką elastyczność. Dodatkowo, pod wpływem promieniowania słonecznego materiał ten łatwo się kruszył (Mulder i Knot, 2001). Z tego względu nie ustawano w dalszych poszukiwaniach i już w roku 1907 opatentowano Bakelit, żywicę fenolowo-formaldehydową (Baekeland, 1907). Był to pierwszy w pełni sztuczny materiał, który do tej pory wykorzystywany jest np. w przemyśle elektrotechnicznym. Charakteryzuje się on dużą odpornością na podwyższoną temperaturę, nierozpuszczalnością oraz wysoką odpornością chemiczną. Jest to tworzywo elektroizolacyjne, które łatwo poddaje się obróbce mechanicznej. Obecnie, najpowszechniejszym rodzajem plastiku jest polichlorek winylu (PVC). W 1912 roku niemiecki chemik Fritz Klatte odkrył metodę na proces masowej produkcji tego tworzywa, jednak dopiero w latach 30. XX wieku zaczęto wytwarzać go na skalę przemysłową. Do lat 40. PVC wykorzystywane było już w wielu gałęziach przemysłu, m.in. w motoryzacji, a nawet w medycynie.

W dzisiejszych czasach istnieje ponad 700 rodzajów tworzyw sztucznych. Można je podzielić na dwie kategorie: termoplastyczne, tj. ulegające deformacjom podczas ogrzewania oraz termoutwardzalne, tj. takie, które nie mięknią pod wpływem temperatury [1]. Do pierwszego

rodzaju należą m.in. PVC, polipropylen (PP) czy poliwęglan (PC). Żyvice poliestrowe (UP) lub akrylowe, ester winylowy, silikon czy poliuretany (PUR) są tworzywami należącymi do drugiej kategorii. Przemysł tworzyw polimerowych ulepszył każdy aspekt naszego życia, nawet jeśli nie jesteśmy tego świadomi. Ich zastosowanie stało się tak powszechne, że w efekcie tworzywa te są obecne w domu każdego z nas. Corocznie wzrasta też ich produkcja. W roku 2015 wynosiła ona 322 mln ton na świecie i 58 mln ton w Europie. W roku 2016 na świecie wyprodukowano około 380 mln ton tworzyw sztucznych (Geyer i in., 2017). Z kolei w Europie w tym samym czasie było to około 60 mln ton (PlasticsEurope, 2017). Gdyby plastik był krajem, byłby na 20-tym miejscu pod względem gospodarki, większym niż Austria, Argentyna, Egipt i dziesiątki innych [4].

Obecnie coraz częściej mówi się o negatywnych aspektach związanych z produkcją tworzyw sztucznych. Dotyczą one wpływu na środowisko naturalne, w tym także na człowieka. W mediach pojawiają się informacje o zwierzętach umierających wskutek połknięcia plastikowej torebki, czy o „górach śmieci” zalegających na terenach slumsów, np. w Indiach. Niestety tworzywa sztuczne traktowane są często jak produkty jednorazowe, które po użyciu zostają wyrzucone i w ten sposób trafiają do środowiska. Tam pozostają nawet do 1000 lat, w zależności od rodzaju tworzywa, z którego są wykonane [2]. W konsekwencji kumulują się one w abiotycznej części ekosystemu, do której zaliczyć można plaże, dna oceaniczne, lasy czy składowiska odpadów. Mogą one zostać także omyłkowo zjedzone przez organizmy żywe, które traktują je jak pokarm. Jeżeli fragment plastiku jest duży, utyka w ciele zwierzęcia, co może prowadzić nawet do jego śmierci. Małe kawałki o średnicy do 5mm, zaliczone do mikroplastiku, mogą także zalegać w organizmach żywych (Siegfried i in., 2017). Nie tylko stała forma plastiku ma negatywny wpływ na organizmy żywe. Podczas rozkładu tworzyw sztucznych wydzielają się z nich substancje szkodliwe, takie jak bisfenol A, ftalany, fenole, kadm, ołów czy triklosan (Hansen i in., 2013). Niektóre z nich, np. bisfenol A, zwiększają ryzyko zachorowania na choroby nowotworowe (Soto i Sonnenschein, 2010). Inne, takie jak ftalany dwu-1-etyloheksylu (DEHP), mają negatywny wpływ na rozrodczość [3]. Z kolei oktylofenol i nonylofenol są endokrynnie aktywne, czyli wpływają negatywnie na prawidłowe funkcjonowanie gospodarki hormonalnej (Dudziak i Bodzek, 2009). Związki te mogą się kumulować w organizmach, a ich stężenie wzrasta na każdym kolejnym poziomie piramidy troficznej. Zjawisko określono mianem biomagnifikacji [6]. Najbardziej są nim zagrożone organizmy wyższego rzędu, w tym ludzie. Negatywne skutki oddziaływania plastików podczas ich degradacji mogą być także związane z uwalnianiem się do środowiska małych ścierających się fragmentów. Na ich powierzchni zachodzi adsorpcja związków toksycznych i niebezpiecznych dla zdrowia organizmów żywych (Teuten i in., 2009). Gdy wzrasta ilość takich mikrokawałków plastiku wzrasta też powierzchnia adsorpcyjna dla związków chemicznych. Dodatkowo, część mikroplastiku może trafić do ścieków. Uważa się, że ponad 80% światowych zasobów wody jest zanieczyszczonych mikroplastikiem [4]. Wskazuje to na globalne zagrożenie i może świadczyć o powadze problemu.

Jednakże człowiek nie wynalazł plastików po to, aby zaśmiecać Ziemię, czy negatywnie wpływać na zdrowie jej mieszkańców. Wręcz przeciwnie, miał być to sposób na bardziej komfortowe życie i zapewnienie ludziom dobrostanu. Jednak wzrastająca intensywnie populacja ludzka, to jednocześnie wzrastająca ilość odpadów, także tych plastikowych. Produkcja plastiku jest szybka i tania. Przekłada się to z jednej strony na jej dostępność, nawet dla ubogiej części społeczeństwa, z drugiej prowadzi do bezmyślnego pozbywania się jako odpadu. Jeśli dana rzecz nie odpowiada naszym gustom lub jest w naszym odczuciu stara albo zniszczona, bez problemu zostaje wymieniona na nową lub bardziej odpowiadającą naszym obecnym preferencjom. W ten sposób wzrasta ilość odpadów. Plastikami mogą być składowane lub przeznaczane na recykling. Składowanie jest zdecydowanie najgorszą formą pozbywania się odpadów, które gdy są źle zagospodarowane mogą

trafić do środowiska i niekorzystnie wpływać na ekosystem. Z tego względu Unia Europejska wprowadziła wymóg segregowania odpadów. W Polsce ich zagospodarowanie reguluje Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów, które zostało uaktualnione 1 lipca 2017. Od 1 kwietnia 2018 roku we wszystkich gminach w Polsce obowiązują te same procedury segregacji polegające na dzieleniu odpadów na pięć frakcji: szkło, metale, papier, tworzywa sztuczne i odpady biodegradowalne. Pozwoli to na zwiększenie odbioru odpadów przeznaczonych do recyklingu. Jednocześnie będzie to równoznaczne z mniejszą ilością składowanych odpadów. Takie podejście ma na celu poprawę stanu jakości środowiska i między innymi zmniejszenie produkcji tworzyw sztucznych. Zwiększanie świadomości ludzi odnośnie utylizacji odpadów przynosi już pozytywne skutki. Dane z 2016 roku dla Europy wskazują, że składowanych jest zaledwie 27,3% wyprodukowanych tworzyw sztucznych (PlasticsEurope, 2017). Aż 41,6% wykorzystywanych jest do pozyskiwania energii. Plastiki mają wysoką wartość opałową, przewyższającą nawet 40 MJ/kg, czyli porównywalną do wartości opałowej dla gazu ziemnego (48MJ/kg) (Wasielewski i Siudyga, 2013). Uważa się, że tworzywa sztuczne mogą zastąpić paliwa kopalne w procesach przemysłowych. Uzyskana z nich energia wykorzystywana jest do produkcji elektryczności lub ciepła w gospodarstwach domowych. Odpady poddawane recyklingowi stanowią 31,1%. Najpierw są one sortowane i przetwarzane w granulaty. Z niego produkowane są następnie takie wyroby jak ubrania i obuwie, opakowania plastikowe, torby na zakupy czy butelki PET. Przetworzony plastik wykorzystuje się także w budownictwie, rolnictwie oraz w przemyśle motoryzacyjnym (PlasticsEurope, 2016). W ostatnim czasie pojawiły się doniesienia literaturowe o interesujących badaniach prowadzonych przez japoński zespół pod kierownictwem Shosuke Yoshidy. Naukowcom udało się wyizolować bakterie zdolne do degradacji i asymilacji poli(tereftalanu) etylenu (PET) (Yoshida, 2016). Być może przyszłość plastiku nie leży w recyklingu, ale w naturalnej biodegradacji przeprowadzanej przez grzyby i bakterie?

Bez plastiku dzisiejszy świat wyglądałby zupełnie inaczej. Nie istniałby w tak rozwiniętej formie. Czy zatem jest on naszym wrogiem, czy może jednak sprzymierzeńcem? Na stronie WWF znalazłam bardzo celne podsumowanie: „Plastik sam w sobie nie jest wrogiem. To sposób, w jaki sobie z nim radzimy, musi się zmienić”. Już obecnie trzeba włożyć wiele czasu i pracy, aby zmniejszyć negatywne skutki jego obecności w środowisku. Jeśli jednak poczynione regulacje prawne, odpowiedzialne zachowanie społeczeństwa i właściwe gospodarowanie odpadami będą szły ze sobą w parze, ludzkość jest w stanie poradzić sobie z tym problemem. Ważne są wszystkie akcje edukacyjne, tj. Międzynarodowy Dzień Bioróżnorodności, Dzień Ziemi, dni otwarte organizacji proekologicznych, a nawet wycieczki szkolne do zakładów utylizacji odpadów. Nie bez znaczenia jest rola mediów w przekazywaniu informacji o negatywnych skutkach złego użytkowania plastików i ich składowania. Zawsze też pozostaje Internet – najpowszechniejsze źródło informacji XXI wieku.

Literatura

- Baekeland L., 1907, *Method Of Making Insoluble Products Of Phenol And Formaldehyde*, 942,690, United States Patent Office, Opis Patentowy, Nr Seryjny, 383,684.
- Dudziak M., Bodzek M., 2009, *Badania zawartości ksenoestrogenów w wodzie metodą ekstrakcji sorpcyjnej*, Ochrona Środowiska nr.1 , vol. 31.
- Geyer R., Jambeck J., Law K., 2017, *Production, use, and fate of all plastics ever made*, *Science Advances*, 3: e1700782, DOI: 10.1126/sciadv.1700782
- Hansen E. et al., 2013, *Hazardous substances in plastic materials*, Denmark, DTI, Vejle.

- Ministerstwo Środowiska, 2016, *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 grudnia 2016 r. w sprawie szczegółowego sposobu selektywnego zbierania wybranych frakcji odpadów*, Dz. U. 2017, poz. 19.
- Mulder K., Knot M., 2001, *PVC plastic: a history of systems development and entrenchment*, *Technology in Society* 23, 265–286.
- PlasticsEurope, 2016, *Tworzywa sztuczne – Fakty 2016. Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie*, dost: <http://www.plasticseurope.pl/centrum-informacji/publikacje.aspx>
- PlasticsEurope, 2017, *Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data*, dost: <http://www.plasticseurope.org/plastics-industry/market-and-economics.aspx>
- Siegfried M., Koelmans A., Besseling E., Kroeze C., 2017, *Export of microplastics from land to sea. A modelling approach*, *Water Research* 127, 249–257.
- Soto A., Sonnenschein C., 2010, Environmental causes of cancer: endocrine disruptors as carcinogens, *Nat Rev Endocrinol* 6(7), 363–370. DOI: 10.1038/nrendo.2010.87
- Teuten, E. L. et al., 2009, *Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife*, *Philos, T R Soc. B*, 364, 2027–2045.
- Wasielewski R., Siudyga T., 2013, *Odzysk energetyczny odpadowych tworzyw sztucznych*, *CHEMIK* 2013, 67, 5, 435–445.
- Yoshida S., Hiraga K., Takehana T., Taniguchi I., Yamaji H., Maeda Y., Toyohara K., Miyamoto K., Kimura Y., Oda K., 2016, *A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate)*, *Science*, Vol. 351, 6278, s. 1196-1199, DOI: 10.1126/science.aad6359

Źródła internetowe:

1. <http://www.plasticseurope.pl/czym-s-tworzywa-sztuczne.aspx> [03.01.2018, 17:33]
2. <http://www.kns.uksw.edu.pl/?q=node/185> [04.01.2018; 12:31]
3. <http://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/chemical.aspx?chemID=2612> [04.01.2018, 16:58]
4. https://orbmedia.org/stories/Invisibles_plastics [05.01.2018, 18:47]
5. <https://www.britannica.com/technology/celluloid#ref1052473> [25.01.2018, 12:21]
6. <http://www.encyclopedia.com/history/modern-europe/italian-history-biographies/biomagnification> [25.01.2018; 13:45]
7. https://orbmedia.org/stories/Invisibles_plastics [25.01.2018; 17:47]

Krótką notką 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.*

Tektonika płyt czy ekspansja Ziemi?

Grzegorz Gorczyński

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii
E-mail: gregorczyński@gmail.com

Tutor: dr Ewa Szymczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – *Ziemia, tektonika, ekspansja, litosfera, płyty, teoria*

Wstęp

Budowa Ziemi fascynuje człowieka od dawna, a badanie jej wnętrza w czasach współczesnych stanowi przedmiot dociekań naukowych. Przez setki lat uczeni spirali się o wiele różnych aspektów dotyczących jej położenia we Wszechświecie, kształtu, powstania i budowy. Ustalono już, że ma kształt zbliżony do elipsoidy obrotowej i wcale nie znajduje się w centrum Wszechświata, jak niegdyś sądzono. Natomiast wciąż jest bardzo wiele zagadek dotyczących procesów zachodzących w jej wnętrzu. Współcześnie najbardziej akceptowaną teorią dotyczącą wielkoskalowych ruchów ziemskiej litosfery i ich konsekwencji jest teoria tektoniki płyt. Niemniej, nie odpowiada ona na wszystkie nurtujące badaczy pytania. Niektórzy z nich wysunęli zaskakującą hipotezę, że rozmiary Ziemi wcale nie muszą być stałe. Nasuwa się tu pytanie, czy mogą oni mieć rację?

Teoria tektoniki płyt

Historia

Zanim przyjęta została teoria tektoniki płyt, pojawiły się hipotezy mówiące o dryfie kontynentów. Za twórcę teorii dryfu kontynentów uważa się powszechnie Alfreda Wegenera, choć nie jest on pierwszym badaczem, któremu mobilność kontynentów wydała się możliwa. Teorię o rozdzieleniu się kontynentów, które obecnie otaczają Atlantycką Ocean, jako pierwszy wysunął Antonio Snider-Pellegrini w publikacji *La création et ses mystères dévoilés* (1858). Uważał on, że kontynenty zostały rozdzielone podczas biblijnego Potopu poprzez ekstensywne spękania lądów (Hallam, 1974).

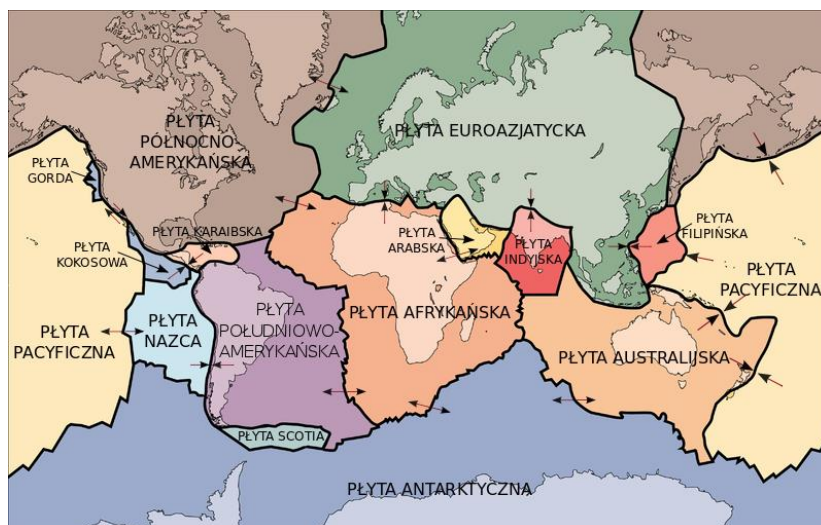
Rozgłos hipotezie o dryfie kontynentalnym zapewnili F. B. Taylor oraz wspomniany już A. Wegener. Pierwszy z wymienionych naukowców opublikował w 1910 r. swą hipotezę, którą próbował wyjaśnić powstanie gór łańcuchowych. Uważał, że ruch kontynentów jest spowodowany przez siły pływowe i w wyniku zderzania się lądów płasko leżące utwory ulegają łańcuchowaniu (Czechowski, 1994).

Pełniejszą argumentację przedstawił Alfred Wegener, dzięki czemu uważa się go za twórcę teorii dryfu kontynentów. W swojej książce *Entstehung der Kontinente und Ozeane* przedstawił tezę, według której ruch kontynentów polegał na rozpadnięciu się jednego pierwotnego superkontynentu, zwanego Pangeą. Oparł swoje twierdzenia m.in. na podobieństwie granic szelfowych kontynentów, podobnych strukturach geologicznych widocznych po obu stronach Atlantyku, występowaniu tych samych kopalnych gatunków roślin i zwierząt na różnych kontynentach oraz pomiarach długości geograficznych Waszyngtonu i Paryża, które również świadczyły o tym, że kontynenty Eurazji i Ameryki oddalają się od siebie. Teorii tej brakowało jednak przekonującego argumentu wyjaśniającego mechanizm i przyczynę dryfu kontynentów, przez co straciła swą popularność (Czechowski, 1994).

Teoria tektoniki płyt ukształtowała się ostatecznie kilkadziesiąt lat później. Z wyników kolejnych badań wynikało, że to nie same kontynenty się poruszają, lecz sztywne płyty, na które składają się zarówno obszary lądowe, jak i dno oceaniczne. Przełomowym momentem było uznanie w latach 60. XX w. przez Roberta Dietza i Harry'ego Hessa ryftu za strefę, w której rozrasta się dno oceaniczne. Kolejnym ważnym dokonaniem było wprowadzenie, w roku 1965, przez T. Wilsona pojęcia uskoku transformacyjnego, które tłumaczyło duże przesunięcia płyt litosfery względem siebie. W 1967 r. zaś J. Olivier i B. Isaacks uznali strefy rowów oceanicznych za miejsca, gdzie płyty litosferyczne zapadają się w głąb płaszcza ziemskiego (Czechowski, 1994). Wszystkie te odkrycia pozwoliły stworzyć teorię tektoniki płyt litosfery, która wyjaśnia wszystkie zjawiska i procesy tektoniczne i jest kompleksową syntezą geodynamiki Ziemi.

Główne założenia

Teoria tektoniki płyt zakłada, że skorupa ziemska podzielona jest na kilkanaście sztywnych płyt (Ryc. 1), obejmujących zarówno skorupę kontynentalną jak i oceaniczną. Płyty te przesuwają się poziomo. Zjawisko to zachodzi dzięki konwekcji w niejednorodnym ośrodku – płaszczu ziemskim. Mechanizm konwekcji i ruch materii stanowi nierozwikłaną zagadkę. Nie ma jednak wątpliwości, że ruch płyt odbywa się dzięki energii cieplnej wnętrza Ziemi. Gorąca materia płaszcza wynoszona jest w pobliżu powierzchni Ziemi, gdy tam dotrze, ulega ochłodzeniu i może opaść z powrotem w kierunku wnętrza planety. Ten proces prowadzi do powstania komórek konwekcyjnych.

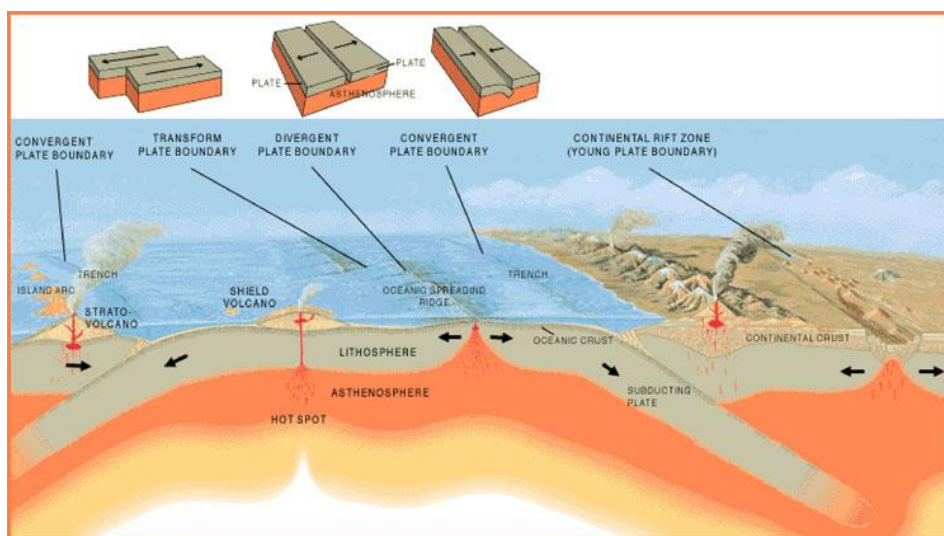


Ryc. 1. Mapa płyt tektonicznych
(<https://zywaplaneta.pl/trzesienia-ziemi-polska/>)

Przesuwający się półplastyczny materiał skalny płaszczka ziemskiego powoduje również powolny ruch shtywnej, leżącej na nim skorupy ziemskiej (Detrick, 2004), choć są również głosy mówiące o tym, że to konwekcja płaszczka ziemskiego jest spowodowana przez ruch płyt. Według tych hipotez, to płyty litosfery, będące gęstsze od płaszczka ziemskiego, zapadają się w nim i wprawiają roztopiony materiał skalny w ruch (Stern, 2007). Zagadką pozostaje to, ile jest komórek konwekcyjnych w płaszczku ziemskim (Detrick, 2004).

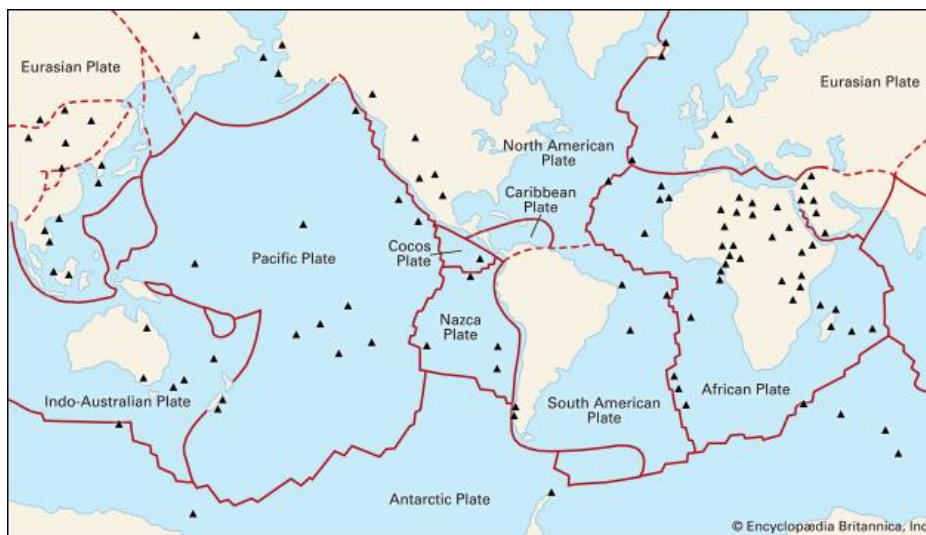
Skutki opisanych procesów możemy obserwować na powierzchni Ziemi, głównie w okolicach granic płyt tektonicznych (Ryc. 2). Tam, gdzie dwie płyty oceaniczne się od siebie oddalają, następuje wypływ magmy na powierzchnię Ziemi. Powstaje nowa skorupa oceaniczna, która tworzy jednocześnie grzbiet śródoceaniczny, w którym zachodzą procesy wulkaniczne (Detrick, 2004). Tam zaś, gdzie odsuwają się od siebie dwie płyty kontynentalne, dochodzi do powstania rowu tektonicznego i w konsekwencji rozpadu kontynentu. Z czasem rów ten zostaje zalany przez ocean i pojawia się w nim również skorupa oceaniczna (Czechowski, 1994).

Kiedy dwie płyty się do siebie przybliżają, gęstsza z nich zapada się pod tę lżejszą. Proces ten określanY jest jako subdukcja. Gdy starsza płyta oceaniczna zapada się pod inną, młodszą i zarazem lżejszą płytę oceaniczną, powstaje rów oceaniczny oraz łuk wysp wulkanicznych. Jeżeli zaś płyta oceaniczna zapada się pod płytę kontynentalną, również dochodzi do powstania rowu oceanicznego, ale zamiast łuku wysp wypiętrza się kontynentalny łuk wulkaniczny (Detrick, 2004). Strefy te charakteryzują się silnym wulkanizmem oraz obecnością trzęsień ziemi związanych z pogrążaniem płyty. Czasami dochodzi do sytuacji, kiedy to dwie płyty kontynentalne się do siebie przybliżają. Wówczas powstaje łańcuch gór fałdowych, jak np. łańcuch alpejsko-himalajski. Nie oznacza to jednak, że w odległej przeszłości nie było tam strefy subdukcji. Uważa się bowiem, że np. w miejscu obecnych Alp i Himalajów był niegdyś Ocean Tetydy, który został skonsumowany. Pod pasmem Hindukuszu stwierdzono występowanie subdukującej niemal pionowo płyty na głębokości 250 km (Le Pichon, Francheteau, Bonnin, 1973). Czasami na lądzie znajduje się również fragmenty dawnej skorupy oceanicznej, określane jako ofiolity. Są to to zestawione ze sobą czerty, bazalty, dajki, gabra oraz skały ultrazasadowe. Uważa się je za kopalne fragmenty skorupy oceanicznej, ponieważ zawierają te same rodzaje skał co strefy spreadingu (Burke, 2011).



Ryc. 2. Główne rodzaje granic płyt tektonicznych i zjawiska na nich zachodzące (<http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html>)

Procesy zachodzące na granicach płyt tektonicznych nie tłumaczą jednak wszystkich zjawisk wulkanicznych zachodzących na Ziemi. Istnieją również obszary wulkaniczne z dala od tych obszarów (Ryc. 3). Ich powstawanie tłumaczone jest występowaniem pióropuszy gorąca, powstających między płaszczem a jądrem Ziemi. Gorąca magma wznosi się aż do powierzchni Ziemi. Obszary, w których one występują, nazywane są Wielkimi Prowincjami Magmatycznymi (ang. *Large Igneous Provinces*). Prawdopodobnie są nieruchome względem osi Ziemi, a ponad nimi przesuwiają się płyty tektoniczne (Burke, 2011). Tak powstały m.in. Hawaje.



Ryc. 3. Wulkany generowane przez hot-spoty na tle granic płyt tektonicznych
(<https://www.britannica.com/science/plate-tectonics>)

Teoria ekspansji Ziemi

Historia

Pierwsze głosy mówiące o tym, że Ziemia może ekspandować zaczęły pojawiać się pod koniec XIX wieku. Włoski geolog, Roberto Mantovani, w ten właśnie sposób zinterpretował podobieństwo wybrzeży po obu stronach Atlantyku. W XX wieku głównie niemieccy badacze postulowali ekspansję. Jednym z nich był Lindemann, który właśnie w ekspansji Ziemi upatrywał przyczynę rozpadu Pangei, o której mówił Wegener. Z kolei J. Keindl i O. Hilgenberg niezależnie od siebie uważali, że Ziemia pierwotnie składała się tylko ze skorupy kontynentalnej, a później powstały powiększające się baseny oceaniczne. Podobny pogląd prezentował L. Brösske w 1962 roku (Carrey, 1976).

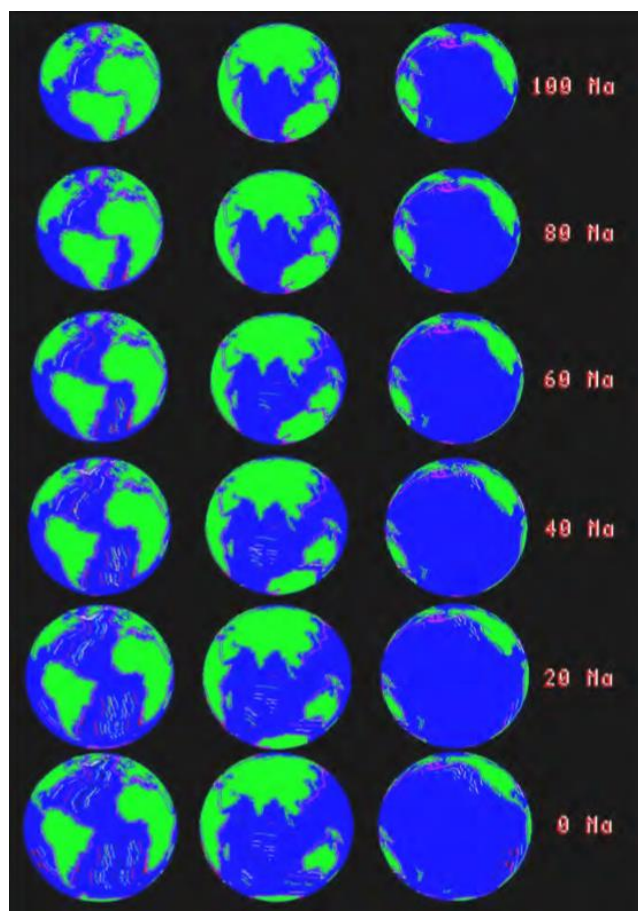
Australijczyk Rhodes Fairbridge w 1964 r. uznał, że młody wiek basenów oceanicznych świadczy o ekspansji Ziemi. Twierdził on, że rowy oceaniczne wcale nie są miejscem, w którym skorupa ziemską zanika. Jordan zaś uważał, że przyczyną ekspansji są zmiany stałej grawitacyjnej. Jego zdaniem ekspansja była jedynym wyjaśnieniem tego, że Ziemia jest przykryta nieciągłą warstwą skorupy kontynentalnej. R. Dearnley był kolejnym badaczem, który zupełnie inaczej niż zwolennicy tektoniki płyt interpretował zjawiska, jakie możemy zaobserwować na powierzchni Ziemi. Uważał on bowiem, że efektem istnienia komórek konwekcyjnych płaszcza ziemskiego, które powodują powstanie wybrzuszeń na skorupie ziemskiej, są góry (Carrey, 1976).

N. Waterhouse stwierdził w 1967 roku, że ekspansja zachodzi począwszy od jury. Uważał, że skorupa oceaniczna się rozszerza, przenosząc ze sobą skorupę kontynentalną. Z tym ostatnim poglądem zgadzał się również profesor uniwersytetu w Hobart, Samuel Warren Carrey, lecz jego zdaniem proces ekspansji Ziemi zachodzi od początku istnienia planety i zwiększa swoje tempo. Wyraził on również pogląd, że wbrew teorii tektoniki płyt, rozmieszczenie rowów oceanicznych nie jest skorelowane z rozmieszczeniem ryftów i że każdy kontynent od czasów paleozoiku zwiększył odległość od sąsiadujących kontynentów (Carrey, 1976).

Do współczesnych zwolenników teorii ekspansji Ziemi, którzy wciąż są w mniejszości wobec naukowców opowiadających się za teorią tektoniki płyt, należą m.in.: Włosi Giancarlo Scalera oraz Enzo Boschi i Polacy Jan Koziar oraz Stefan Cwojdzński.

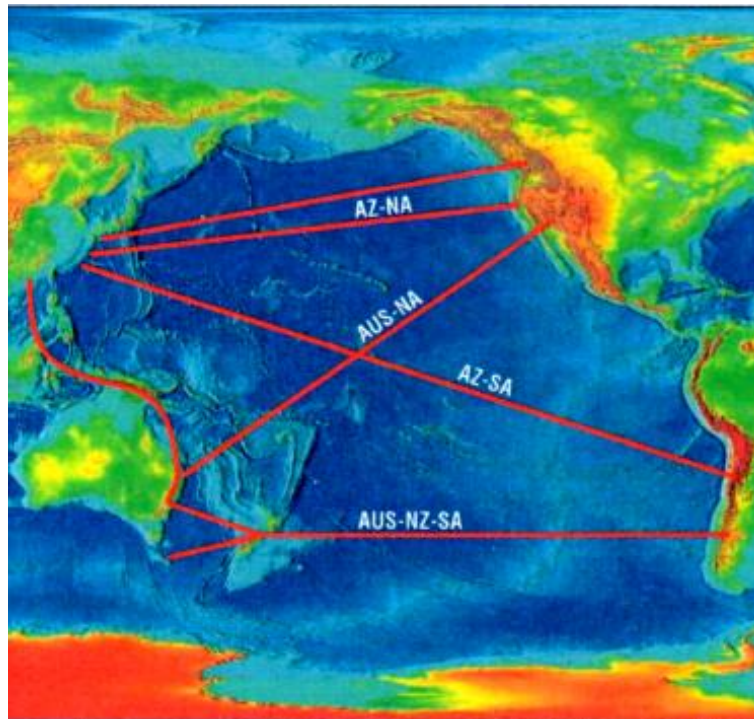
Główne założenia

Teoria ekspansji Ziemi zakłada, że Ziemia się rozszerza (Ryc. 4), w przeciwieństwie do teorii tektoniki płyt, która zakłada stałe wymiary Ziemi (Koziar, 2008). Zwolennicy teorii tektoniki płyt zakładają, że ruch płyt tektonicznych odbywa się po plastycznym podłożu astenosferycznym. Przy założeniu, że Ziemia się nie powiększa, przybytek nowej skorupy oceanicznej w strefach spreadingu musi być kompensowany przez jej ubytek w strefach subdukcji. Jeżeli jednak ta kompensacja nie zachodzi lub jest nie wystarczająca, dochodzi do zwiększenia się wymiarów Ziemi (Cwojdzński, 2015). Zwolennicy teorii ekspansji Ziemi opierają swoje twierdzenia na dowodach, które zostaną przedstawione w dalszej części artykułu.



Ryc. 4. Rekonstrukcja ekspandującej Ziemi
(Hurrel, 2012)

Również analizując kontynenty okalające Pacyfik, można zacząć mieć wątpliwości co od stałych rozmiarów Ziemi. Jeżeli bowiem rozmiary Ziemi są stałe, to gdy istniała Pangea, lądy te powinny były być znacznie oddalone od siebie. Badania jednak wykazały podobieństwo kopalnych faun i flor na przeciwległych brzegach dzisiejszego Oceanu Spokojnego (Ryc. 6.). Ponieważ znajdowane tam organizmy, jak ramienionogi, trylobity, owady czy rośliny, mają ograniczoną możliwość poruszania się, świadczy to o tym, że Pacyfik jednak był niegdyś zamknięty (Cwojdziański, 2015). Taka wizja największego oceanu świata jest również zgodna z cyklem Wilsona. Według niego, baseny oceaniczne cyklicznie otwierają się i zamykają (Burke, 2011). Jeżeli zatem z jednej strony planety Atlantyk, a z drugiej strony Pacyfik otwierają się, oznacza to, że Ziemia zwiększa swoje rozmiary.



Ryc. 6. Główne paleobiogeograficzne powiązania między kontynentami okalającymi Pacyfik (Cwojdziański, 2015)

Kolejnym paleontologicznym argumentem za tym, że w przeszłości geologicznej rozmiary Ziemi były mniejsze, są rozmiary, jakie w minionych epokach osiągały zwierzęta. Olbrzymie gady, takie jak *Triceratops*, czy owady, jak ważka *Meganeuropsis permiana*, o rozpiętości skrzydeł aż 72 cm, prawdopodobnie też musiały się swobodnie poruszać w celu zdobywania pokarmu lub rozmnażania się. Na planecie o takiej sile grawitacji jaką obecnie obserwujemy na Ziemi, byłoby to bardzo utrudnione. Niemniej, jeżeli za ich życia Ziemia była mniejsza, a co za tym idzie miała mniejszą grawitację, wówczas mogłyby one poruszać się tak jak dzisiejsze zwierzęta. Podobnie szyja zauropodów, takich jak *Diplodocus*, musiałaby być sztywna i mieć bardzo silne więzadła, żeby gad mógł ją utrzymać nad ziemią. Uważa się jednak, że zauropody mogły podnosić swoje szyje tak jak inne kręgowce. Umożliwiłaby im to właśnie zmniejszona grawitacja (Hurrell, 2012). Wydaje się mało prawdopodobne, aby ewolucja wykreowała tak niepraktyczne rozwiązania. Jest to więc silny argument za tym, że siła grawitacja w odległej przeszłości była słabsza niż obecnie.

Dyskusja

Żadna z przedstawionych teorii nie jest doskonała. Jednym z najsłabszych punktów teorii ekspansji Ziemi jest to, że nadal nie został wyjaśniony ani mechanizm, ani przyczyna zmiany rozmiarów planety. Niemniej, nieznaną przyczynę i mechanizm powstawania zjawiska jeszcze nie świadczą o braku jego istnienia. Dobrym przykładem jest tutaj dryf kontynentalny, postulowany przez Alfreda Wegenera. Choć został uznany za nieprawdziwy, późniejsze badania wykazały, iż faktycznie zachodzi, choć w nieco inny sposób niż myślał Niemiec (Ollier, 1987). Jeżeli Ziemia faktycznie ekspanduje, nasuwają się kolejne pytania. Czy ekspanduje od zawsze? Czy ekspansja zachodzi ze stałą prędkością? Czy kiedykolwiek jej promień się ustabilizuje? Czy może po pewnym czasie zacznie się kurczyć? Na te pytania nikt jeszcze nie poznał odpowiedzi.

Choć obydwie teorie często uważane są za przeciwstawne, nie wykluczają się do końca nawzajem. Sam ruch płyt tektonicznych nie oznacza jeszcze, że wymiary Ziemi muszą być stałe. Podobnie ekspansja Ziemi jako planety nie oznacza braku obecności płyt tektonicznych. Wspólnym elementem obu teorii jest choćby obecność stref spreadingu.

Być może za jakiś czas powstanie nowa teoria, będąca fuzją teorii tektoniki płyt i teorii ekspansji Ziemi i będzie lepiej tłumaczyła sposób, w jaki ewoluje nasza planeta. Nie jest jednak wykluczone, że obydwie teorie nie opierają się na błędzie. Historia pokazuje, że wiele wyobrażeń dotyczących naszej planety okazało się całkowicie błędnych. Świadczy to o tym, jak bardzo złożonym obiektem jest Ziemia i jak mało o niej wiemy. Zjawiska tektoniki czy też ekspansji zachodzą tak powoli, że nie jesteśmy w stanie ich w bezpośredni sposób zaobserwować. Jest też możliwe, że w przyszłości powstanie kolejna teoria dotycząca budowy i ewolucji Ziemi, poparta kolejnymi, nowymi odkryciami.

Literatura

- Burke, K., 2011. Plate Tectonics, the Wilson Cycle, and Mantle Plumes: Geodynamics from the Top. *The Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39, 1–29.
- Carrey, S. W., 1976. *The Expanding Earth*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Cwojdziański, S., 2015. Dzieło Alfreda Wegenera a teoria ekspansji Ziemi. *Przegląd Geologiczny*, vol. 63, nr 11, 1292–301.
- Czechowski, L., 1994. *Tektonika płyt i konwekcja w płaszczu Ziemi*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Detrick, R., 2004. The Engine that Drives the Earth. Peering into the mantle to reveal the inner workings of our planet. *Oceanus Magazine*, vol. 42, No. 2.
- Hallam, A., 1973. *A revolution in the Earth sciences. From continental drift to plate tectonics*, Londyn, Oxford University Press.
- Hurrell, S., 2012. Ancient Life's Gravity and its Implications for the Expanding Earth. [w.] G. Scalera, E. Boschi, S. Cwojdziański (red.) *The Earth Expansion Evidence – A Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy*, Rzym, Aracne.
- Koziar, J., 2009. *Ekspansja Ziemi a tektonika płyt*, Wrocław, Wrocławska Pracownia Geotektoniczna.
- Le Pichon, X., Francheteau, J., Bonnin, J., 1973. *Plate Tectonics*, Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company.

Nikishin, A. M., Gaina, C., Petrov, E.I., Malyshev, N.,A., Freiman, S.,I., 2017. Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data. *Tectonophysics* (2017), 1–19.

Ollier, C., 1987. *Tektonika a formy krajobrazu*, Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne.

Stern, R. J., 2007. When and how did plate tectonics begin? Theoretical and empirical considerations. *Chinese Science Bulletin*, March 2007, vol. 52, No. 5, 578–591.

<https://zywaplaneta.pl/trzesienia-ziemi-polska/>, [Dostęp: 15.05.2018]

<http://oceanexplorer.noaa.gov/facts/plate-boundaries.html>, [Dostęp: 15.05.2018]

<https://www.britannica.com/science/plate-tectonics>, [Dostęp: 15.05.2018]

<http://geologylearn.blogspot.com/2016/02/special-locations-in-plate-mosaic.html>, [Dostęp: 15.05.2018]

Krótką notką o autorze: *Student II roku geologii I stopnia na Uniwersytecie Gdańskim. Główne zainteresowania to paleontologia i historia Ziemi oraz procesy zachodzące we wnętrzu planety.*

Pochodzenie i klasyfikacja pióropuszy płaszcza oraz hot spotów

Agata Kowalewska

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
E-mail: agata.kowalewska96@interia.pl

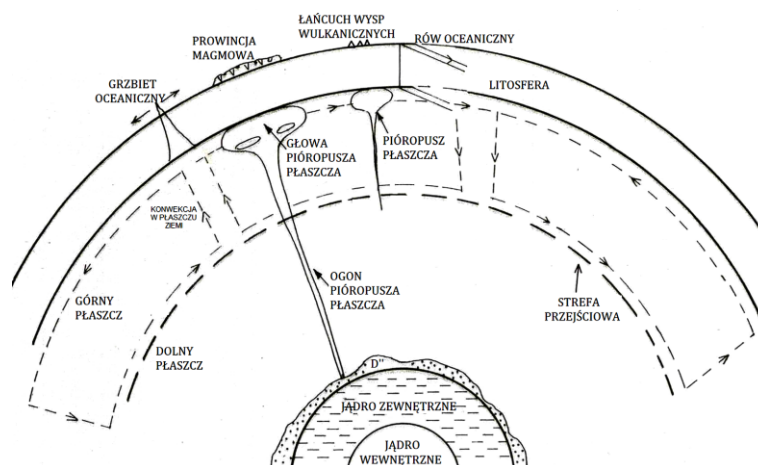
Tutor: dr Ewa Szymczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Geologii Morza

Słowa kluczowe – *hot spoty, pióropusze płaszcza, wulkanizm*

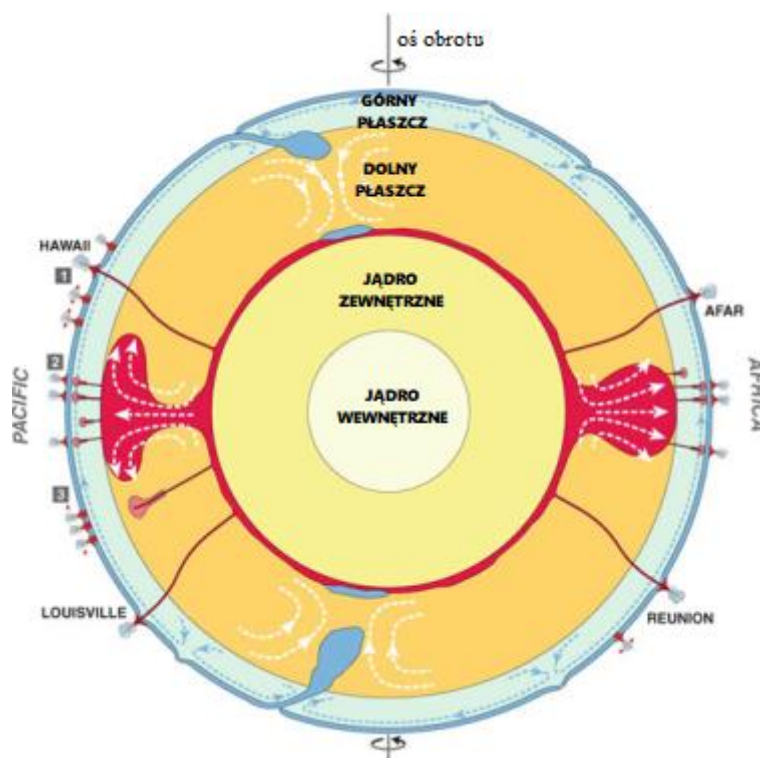
Naukowcy przez lata próbowali wyjaśnić genezę zjawisk wulkanicznych niezwiązanych bezpośrednio z granicami płyt litosfery. Intrygowały ich także strefy nieciągłości występujące we wnętrzu naszej planety, w których występują zmiany różnych parametrów, między innymi gęstości, lepkości i temperatury skał, a także prędkości rozchodzących się w nich fal sejsmicznych (Cwojdzński, 2004). W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku W. Jason Morgan oraz J. Tuzo Wilson przedstawili teorię pióropuszy płaszcza oraz plam gorąca, tak zwanych hot spotów, które łączyły te dwa zagadnienia i wyjaśniały powstawanie niektórych łańcuchów oceanicznych wysp wulkanicznych (Choudhuri i Nemcok, 2017).

Pióropusz płaszcza to strumień gorącej materii płaszcza ziemskiego, którą charakteryzuje mniejsza gęstość i lepkość, a także większa temperatura w stosunku do materii otaczającej. Strumień ten wznosi się ku powierzchni Ziemi, a gdy ją osiąga, tworzy charakterystyczne wybrzuszenie na jej powierzchni o średnicy dochodzącej do 2 000 km. Powierzchniowym przejawem tego procesu jest także bazaltowy wulkanizm wewnątrzpłytowy czy obecność łańcuchów wysp wulkanicznych (Ryc. 1). Takie miejsca nazywane są hot spotami, czyli plamami gorąca (Cwojdzński, 2004).



Ryc. 1. Schemat powstawania i przemieszczania strumieni płaszcza
(opracowano na podstawie Raval i Veeraswamy, 2003)

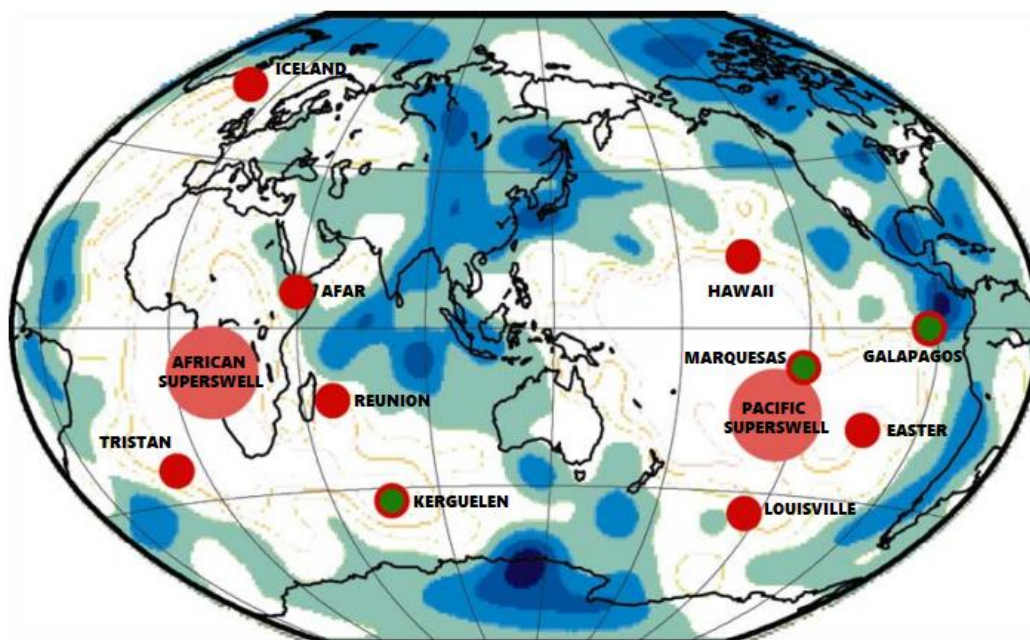
Miejszem powstawania większości pióropuszy płaszcz są strefy występujące na granicy płaszcz i jądra ziemskiego. Ich obecność stwierdzono po dwóch przeciwnych stronach globu – pod Oceanem Spokojnym oraz Afryką (Ryc. 2) (Burke, 2011). Obecnie nazywa się je „superplumes”. Pióropusz płaszcz składa się z dwóch charakterystycznych części: głowy oraz ogona (Ryc 1). Ogon jest cieplejszy i mniej lepki niż głowa, która stygnie przez wymianę ciepła z otoczeniem. Im strumień wyżej się wznosi, tym bardziej jego głowa się powiększa i „rozpływa” na większe odległości (Choudhuri i Nemcok, 2017). Proces ten nazywany jest wewnętrzną konwekcją.



Ryc. 2. Przekrój przedstawiający dynamikę Ziemi i źródła trzech typów hot spotów:
 1 – „primary plumes”, 2 – „secondary plumes”, 3 – „tertiary plumes”
 (opracowano na podstawie Choudhuri i Nemcok, 2017)

Bardzo szybko pojawiło się jednak wiele nieścisłości i sprzeczności związanych z pióropuszcami i hot spotami. Przede wszystkim zastanawiano się, z którego miejsca rozpoczyna się wznios materii, dlaczego nic nie zaburza jej przepływu, czy istnieje komórka konwekcyjna i czy konwekcja jest tylko jedna, czy też może jest ich kilka (Cwojdzński, 2004). Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań pozwalają sklasyfikować pióropusze i hot spoty z uwzględnieniem kilku kryteriów. Pierwsze z nich to obecność łańcucha wysp wulkanicznych, które im dalsze są od plamy gorąca, tym są starsze. Drugie kryterium dotyczy wylewu bazaltowego w miejscu, w którym głowa pióropusza dociera do litosfery. Następne kryterium to przepływ materii większy niż 10^3 kg s^{-1} , generujący topograficzną anomalię. Jako czwarty warunek uwzględnia się konsekwentnie wysoki stosunek $^4\text{He}/^3\text{He}$ lub $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$, wskazujący na głęboko osadzony, prymitywny zbiornik płaszczu. Ostatnim przyjętym kryterium jest bardzo niska prędkość fali poprzecznej w płaszczu, wskazująca na obecność gorącej, częściowo stopionej materii poniżej plam gorąca (Choudhuri i Nemcok, 2017).

Badania według powyższych kryteriów wykazały, że tylko dziewięć plam gorąca (łącznie aktywnych jest ich 49) spełnia przynajmniej trzy z pięciu kryteriów (Courtilot i in., 2003). Uważa się, że siedem z nich spełnia wszystkie pięć i są to hot spoty: Hawaje, Wyspy Wielkanocne, Louisville, Islandia, Afar, Reunion oraz Tristan (Ryc. 3). Prawdopodobnie wytworzyły je pióropusze pochodzące z dolnego płaszczka, a konkretnie granicy między jądrem a płaszczem, najprawdopodobniej strefy D (Ryc. 1). Przyczyną ich formowania się jest chemiczna niejednorodność oraz niestabilność strefy D. Takie pióropusze nazywane są „primary plumes” (Courtilot i in., 2003). Z kolei około 20 plam gorąca może być związanych z pióropuszami, które pochodzą ze strefy przejściowej między płaszczem dolnym a górnym i tworzą się na wybrzuszeniach związanych z „superplumes”. Takimi hotspotami są między innymi: Tahiti, Kiribati, Samoa. Tego typu pióropusze nazywa się „secondary plumes”. Poza wymienionymi istnieje jeszcze trzecia kategoria, czyli „tertiary plumes” i obejmuje ona pozostałych 20 hot spotów. Mogą one pochodzić z górnego płaszczka, a dokładnie termicznych perturbacji w astenosferze. Hot spoty te prawdopodobnie są powiązane z naprężeniami rozciągającymi w litosferze oraz dekompresyjnym topnieniem (Choudhuri i Nemcok, 2017).



Ryc. 3. „Primary plumes” oraz „superswells” na mapie przedstawiającej prędkość rozchodzenia się fal na głębokości 2 850 km.

Niebieskim kolorem zaznaczono anomalie pozytywne (szybkie i zimne), a białym negatywne (wolne i chłodne).

Duże różowe plamy – „superswells” (duży obszar o anomalnie wysokiej topografii),
 czerwone – siedem „primary hotspots”, zielone – hot spoty, które mogą należeć do „primary plumes”
 (opracowano na podstawie Courtilot i in., 2003)

Naukowcy wciąż nie mają pewności co do omówionej wyżej klasyfikacji pióropuszy i hot spotów. Cały czas badane jest powiązanie „superplumes” z pozostałymi pióropuszami płaszczka a także obszary ich powstawania. Budowa wnętrza Ziemi wciąż na wielu polach pozostaje zagadką, z pewnością dopóki jej nie rozwiążemy trudno będzie odpowiedzieć także na wszystkie pytania dotyczące pióropuszy płaszczka i hot spotów.

Literatura:

- Burke, K., 2011, Plate Tectonics, the Wilson Cycle, and Mantle Plumes: Geodynamics from the Top, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 39, 1–29.
- Cwojdzński, S., 2004, Mantle plumes and dynamics of the Earth interior – towards a new model, *Geological Review*, vol. 52, no. 8/2, 817–826.
- Courtillot, V., Davaille, A., Besse, J., Stock, J., 2003, Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle, *Earth and Planetary Science Letters*, 205(3-4), 295–308.
- Choudhuri, M., Nemcok, M., 2017, *Mantle Plumes and Their Effects*, Springer.
- Raval, U., Veeraswamy, K., 2003, Modification of geological and geophysical regimes due to interaction of mantle plume with Indian lithosphere. *Journal of the Virtual Explorer* 12, 117–143.

Krótką notką o autorze: *Studentka II roku geologii, zainteresowana przede wszystkim paleontologią oraz procesami endogenicznymi Ziemi. W wolnych chwilach czyta książki oraz próbuje pisać własne teksty. Chętnie podróżuje, a szczególnie w przepiękne polskie góry.*

Parabola w literaturze popularnej. *Powrót Erica Emmanuela Schmitta*

Katarzyna Marczak

Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny, Instytut Filologii Polskiej
E-mail: kj.ma@wp.pl

Tutor: dr hab. Magdalena Horodecka

Uniwersytet Gdański, Wydział Filologiczny, Instytut Filologii Polskiej

Kluczowe problemy w twórczości Schmitta

Zarówno w zbiorach polskich, jak i obcojęzycznych brakuje badań teoretycznoliterackich dotyczących poetyki Erica-Emmanuela Schmitta, a w pracach związanych z autorem dominuje krytyka literacka. Trudno określić powody takiego stanu rzeczy. Być może wpływ na to ma fakt, że pisarz dalej tworzy, jego twórczość nie jest więc zamkniętym projektem literackim. Ponadto wyraźną cechą utworów Schmitta jest charakter hybrydalny, co sprawia, że trudno usytuować je w kręgu literatury popularnej bądź wysokiej. Jego dzieła tłumaczone są na 43 języki, w tym polski, a sztuki w teatrze wystawiano już w kilkudziesięciu państwach¹. Autor uzyskał wiele nagród, wśród których znajduje się także polska: tytuł Ambasadora Książki przyznany przez Dyskusyjne Kluby Książki (2014)². W 2010 roku do zbioru wyróżnień dołączyła zaś prestiżowa francuska nagroda Goncourtów w kategorii opowiadań (fr. *Prix Goncourt de la Nouvelle*) przyznana za tom *Trucicielka*³.

Schmitt uzyskał tytuł doktora filozofii w *Ecole Normale Supérieure*, co – jak sam przyznaje – wpłynęło na charakter jego twórczości literackiej⁴. Doświadczenie filozoficzne widoczne jest w podejmowaniu tematów egzystencjalnych, stawianiu istotnych w życiu człowieka pytań, które zarazem trafiają do szerokiego grona czytelników jego prozy, np. jak poradzić sobie ze śmiercią, jak zachować się wobec choroby. Tych problemów dotyka najbardziej znany utwór Schmitta – *Oskar i Pani Róża*. Krótka powieść epistolarna o chłopcu chorym na białaczkę ze względu swą prostotę i uniwersalność przekazu została porównana do *Malego Księcia* Antoine'a de Saint-Exupéry'ego⁵. Upowszechniła ona twórczość Schmitta wśród polskich czytelników. Obecnie jego utwory co roku znajdują się w rankingach najchętniej czytanych książek⁶. To zaś naturalnie prowokuje do postawienia pytania: jakie cechy sprawiają, że tego typu literatura trafia do współczesnych czytelników?

¹ E. Schmitt, *Short biography*, [online], na oficjalnej stronie autora: <<http://www.eric-emmanuel-schmitt.com/portrait-short-biography.html>> [dostęp: kwiecień 2016].

² *Ambasador czytelnictwa*, [online], Dostępny w

Internecie: <<http://www.instytutksiazki.pl/p.czasopisma,,32158,ambasador-czytelnictwa.html>> [dostęp: kwiecień 2016]

³ E. E. Schmitt, *Prizes*, [online], dz. cyt. [dostęp: kwiecień 2016].

⁴ A. Garycka, *O dzieciach dla dorosłych. Rozmowa z pisarzem francuskim Ericem-Emmanuelem Schmittem, autorem książki „Oskar i Pani Róża”*, „Polityka” 2005, nr 22, s. 70.

⁵ P. Huniewicz, *Dwanaście ostatnich dni*, „Polityka” 2004, nr 9, s. 71.

⁶ Ł. Gołębiowski, P. Waszczyk, *Rynek książki w Polsce 2012. Wydawnictwa* [online], Warszawa 2012. Dostępny w Internecie: <http://cyfrotka.pl/ebooki/Rynek_książki_w_Polsce_2012__Wydawnictwa-ebook/p0205824i020#Darmowy-fragment> [dostęp: kwiecień 2016].

Recepcja

Twórczość Schmitta bywa wśród krytyków literatury skrajnie kategoryzowana bądź jako głęboko wartościowa, bądź banalna i jednowymiarowa. Stanowczy sprzeciw wobec emocjonalności występującej w utworach francuskiego pisarza wyraził Mariusz Cieślik. Publicysta określił działalność literacką tego autora mianem szantażu emocjonalnego. Wykorzystanie motywu śmiertelnej choroby dziecka (*Oskar i Pani Róża*), próba ocieplenia wizerunku Hitlera (*Przypadek Adolfa H.*), konstrukcja bohatera-muzułmanina jako człowieka jednoznacznie dobrego (*Pan Ibrahim i kwiaty Koranu*), to świadome dostosowanie tematyki utworu do obecnie panujących na świecie tendencji podejmowania tematów tabu w celu wywołania wzruszenia. Jak sądzi Cieślik, pisarz porusza tematy „wrażliwe”, żeby osiągnąć sukces literacki, co jest przekroczeniem granic etycznych⁷.

Twórczość Schmitta spotyka się z negatywną oceną również ze strony Dariusza Nowackiego. Znany badacz i krytyk literacki porównuje filozoficzny charakter tekstów tego autora do splotonego dyskursu filozoficznego. Uważa, że pisarz spłaszcza poruszane przez siebie tematy, a sukces jego utworów pochodzi jedynie z braku weryfikacji przez współczesnych czytelników treści, po które sięgają⁸.

Zarówno przeciwnicy, jak i zwolennicy literatury Schmitta przyznają jednak, że jego proza odnosi sukces, a czytelnicy, sięgając po nią, osiągają niejako stan *katharsis*. Oswajają się z trudnym zagadnieniem śmierci czy choroby lub uzyskują kontakt z powszechnie cenioną mądrościową refleksją o życiu. Socjolog literatury Andrzej Rostocki, przeciwnie do wyżej przedstawionych opinii, uważa, że sentymentalizm Schmitta nie wynika z wykorzystywania ludzkich emocji, a z umiejętności dostrzegania i zaspokajania potrzeb człowieka. Rostocki broni pisarza, przyznając, że czytelnik jest w stanie odnaleźć drogowskaz w tej twórczości. Pochlebłą opinię o poetyce francuskiego autora wyraża także publicysta Piotr Huniewicz. Komentując powieść *Oskar i Pani Róża* zauważa, że Schmitt skonstruował bohatera wielowymiarowego – Oskar łączy bowiem w sobie cechy dziecka, mężczyzny oraz starca. Huniewicz docenia ponadto wielopłaszczyznowość książki. Opowiada ona nie tylko, jakby się na pozór wydawało, o postawie dziecka wobec śmierci, ale również o lękach i słabościach dorosłych⁹. Jak widać także w dyskursie krytyki literackiej obecna jest perspektywa uogólniająca, która poszerza grono odbiorców prozy Schmitta, a tym samym – popularyzuje ją.

Wśród głosów komentatorów znajdują się jednak i takie, które nie opowiadają się ostatecznie ani po stronie przeciwników, ani zwolenników utworów autora *Trucicielki*. Jerzy Sosnowski, pisarz i krytyk literacki, uważa, że ich popularność wynika z umiejętności wzruszenia czytelnika. Nie ma w tym jednak, jego zdaniem, nic złego – wielu ludzi potrzebuje właśnie wylania łez przy lekturze. Czytanie książek Schmitta pozwala im oswoić się z emocjonalnie trudnymi tematami, np. śmierci. Mimo iż rodzaj literatury, jaką prezentuje ten współczesny autor, nie przemawia do Sosnowskiego, krytyk nie jest skłonny do uznania go za banalnego prozaika¹⁰.

Podobnie wyważony pogląd prezentuje tłumaczka Schmitta, Barbara Grzegorzczkova. Zwraca uwagę na filozoficzne doświadczenie pisarza, który dzięki gruntownym studiom wie, jakie tematy są dla współczesnego czytelnika istotne oraz potrafi przekazać je w przystępnej formie. Dziennikarka Milena Rachid Chebab weryfikuje tę opinię, bazując na swoim doświadczeniu lektury

⁷ Cyt. za: M. Rachid Chebab, *Pierwszorządny pisarz drugorzędny*, „Przekrój” 2010, nr 10, s. 55.

⁸ Cyt. za: tamże, s. 56.

⁹ P. Huniewicz, dz. cyt., s. 71.

¹⁰ M. Rachid Chebab, dz. cyt., s. 55-56.

oraz opiniach znanych jej literaturoznawców. Zarzuca filozoficznemu stylowi autora, będącego dla Grzegorzycykowej zaletą, pseudofilozoficzność oraz krytykuje nadmierne tworzenie aforyzmów¹¹.

„Pomagać lepiej żyć”

Schmitt jest świadomy zarzutów stawianych mu przez krytyków. Podkreśla, że sukces jest dla niego konsekwencją pracy, a nie jej celem. Filozofia, która jest nieodłącznym elementem jego książek, a o której jakoś spierają się krytycy, ma pomóc czytelnikowi zdobyć większą świadomość tego, kim jest. Autor uważa, że przez swój charakter jego książki przybliżają abstrakcyjną z natury filozofię do codziennego życia¹².

Ponadto przyznaje, że nie zważa na realizm fabuły swoich utworów, tłumacząc, iż książka ma „pomagać lepiej żyć”¹³. W rozmowie z Katarzyną Surmiak-Domańską – autorką wielu zaangażowanych etycznie reportaży – mówi, że to, co kieruje nim podczas pisania, określa jako pasję. Dopiero po spisaniu tekstu przystępuje do weryfikacji faktów, tzw. *researchu*¹⁴. Kolejność wykonywanej przez niego pracy wskazuje na swego rodzaju hierarchię: najpierw zadbać o pożytek moralny, który płynie z książki, później o prawdopodobieństwo prezentowanych zdarzeń. Schmitt równocześnie tak charakteryzuje swoją twórczość: „Uwielbiam opowiadać historie, które wciągają jak przygody muszkieterów, a jednocześnie na innym poziomie zawierają głębsze znaczenia, które jak obierana cebula ujawniają kolejne warstwy”¹⁵. Ta dwupłaszczyznowość konstrukcji jego utworów zbliża je do paraboli¹⁶. Książki Schmitta można czytać dosłownie – jako opowieść o tym, co przydarzyło się pewnym ludziom, ale można także znaleźć w nich sens głębszy – odnieść do własnego życia, potraktować jako środek do przekazania pewnych wartości. Autor przyznaje, że w ślad za Diderotem posługuje się bajką i przypowieścią w celu zwrócenia uwagi na istotne tematy egzystencjalne¹⁷.

Tworząc powieści i opowiadania, a także gatunki należące do dramatu, wykorzystuje paraboliczne konstrukcje w celach filozoficznych, co sytuowałoby go w obszarze literatury wysokiej. Wydaje się jednak, że czasami ton jego utworów brzmi nieco tendencyjnie. W dalszej części rozważań zaprezentuję sposób wykorzystania przez pisarza mechanizmu parabolizacji narracji, który jest integralnie związany z typową dla jego dzieł, jawnie manifestowaną dydaktycznością.

¹¹ Tamże, s. 56.

¹² K. Czernichowska, *Eric Emmanuel Schmitt: Miłość to nie tylko czerpanie radości [rozmowa naszemiasto.pl]*, „Nasze Miasto” Warszawa [online], 14 czerwca 2015. Dostępny w Internecie: <<http://warszawa.naszemiasto.pl/artykul/eric-emmanuel-schmitt-milosc-to-nie-tylko-czerpanie-radosci,3404305,art,t,id,tm.html>> [dostęp: kwiecień 2016].

¹³ M. Wilk, *W biegu... książka podróżna: rozmowy z pisarzami (i nie tylko)*, Kraków cop. 2010, s. 112.

¹⁴ K. Surmiak-Domańska, *Eric-Emmanuel Schmitt: Codziennie w pracowni uprawiam miłość*, „Gazeta Wyborcza” [online], 1 kwietnia 2011. Dostępny w Internecie: <http://wyborcza.pl/1,75475,9357034,Eric_Emmanuel_Schmitt_Codziennie_w_pracowni_uprawiam.html> [dostęp: kwiecień 2016].

¹⁵ Cyt. za: K. Staszak, *Bóg to nie firma wysyłkowa* [w:] „Wysokie obcasy” [online], 10 września 2010. Dostępny w Internecie: <http://www.wysokieobcasy.pl/wysokie-obcasy/1,96856,8357033,Bog_to_nie_firma_wysylkowa.html> [dostęp: kwiecień 2016].

¹⁶ Parabole rozumiem tu, za Januszem Sławińskim, jako „utwór narracyjny, w którym przedstawione postacie i zdarzenia nie są ważne ze względu na swe cechy jednostkowe, lecz jako przykłady uniwersalnych prawideł ludzkiej egzystencji, postaw wobec życia i kolei losu”, gatunek będący wykładnikiem prawd moralnych, którego główną cechą charakterystyczną jest budowa dwupoziomowa – sensów literalnych, odnaczających czytelnika do znaczeń ogólnych, możliwych do odczytania w trakcie lektury. Terminów *parabola* i *przypowieść* używam zamiennie, zgodnie z polską tradycją terminologiczną. Por. *Słownik terminów literackich*, pod red. J. Sławińskiego, Wrocław 1998, s. 450; M. Michalski, *Dyskurs, apokryf, parabola: strategie filozofowania w prozie współczesnej*, Gdańsk 2003, s. 106; A. Martuszczyńska, *Pozytywistyczne parabole*, Gdańsk 1997, s. 115.

¹⁷ K. Surmiak-Domańska, dz. cyt.

Dlaczego autorzy tekstów literackich, chcąc stworzyć utwór podejmujący problematykę etyczną, sięgają właśnie po parabolę? Niedopowiedzenie – cecha wyróżniająca tę formę narracyjną – pozwala na uzyskanie przekazu bardziej perswazyjnego, a co za tym idzie, efektywnego. Prawdą jest, że ukrywanie sensów, na które chce zwrócić uwagę nadawca, zawsze wiąże się z ryzykiem niezrozumienia ze strony odbiorcy¹⁸. Nadawca może jednak nie mieć zamiaru dotrzeć do każdego odbiorcy – przekaz może zyskać tym bogatsze znaczenie, im trudniej wydobyć go z warstwy sensów literalnych.

W przeciwnym wypadku, jeżeli autor zamierza wyrazić prawdę, będącą swego rodzaju zasadą moralną mającą na celu dotarcie do wszystkich czytelników, ma do dyspozycji szereg technik. Po pierwsze, jego bohaterowie mają możliwość na bieżąco, np. w dialogach, komentować wydarzenia, a zarazem interpretować je¹⁹. Więcej, bohater może także sam interpretować własną historię, m.in. poprzez przemianę oraz wartościujący opis swojego zachowania. Odkryciu prawdy moralnej służy także odwołanie się do wiedzy czytelnika przez aluzje do tekstów zakorzenionych w kulturze lub powszechnie znanych, np. przypowieści biblijnych czy tradycji przysłów²⁰.

Literatura filozofująca

Część ze sposobów jawnego przekazywania sensów ogólnych ściśle wiąże się z twórczością Schmitta, którą określić można, idąc za propozycją Macieja Michalskiego, jako literaturę filozofującą²¹. „To właśnie zasadnicza cecha kondycji ludzkiej: żyć pośród większej ilości pytań niż odpowiedzi” – napisze francuski pisarz w dzienniku, który prowadził podczas tworzenia zbioru opowiadań *Trucicielka*²². Zdanie to jest kluczem do pisarstwa Schmitta. Będąc filozofem, konstruuje on swoje utwory wokół pytań o wolność człowieka, przemianę, dobro i zło. Ten zamysł realizuje również w *Powrocie*, drugim z czterech opowiadań zawartych w tomie. Autor prowadzi czytelnika przez fragment z życia Grega, marynarza okrętowego, który dowiaduje się, że jedna z jego córek nie żyje. Bohater staje więc wobec sytuacji granicznej. Karl Jaspers, autor tego pojęcia, twierdzi, że „nasza reakcja na sytuacje graniczne sprowadza się bądź do ich maskowania, bądź też, jeśli pojęliśmy je naprawdę, do rozpacz i odrodzenia”²³. Greg rzeczywiście ucieka od odpowiedzialności – nie tylko przed obowiązkami rodzinnymi, ale także w początkowej fazie, bowiem po otrzymaniu wiadomości o śmierci tę informację wypiera.

Wokół sytuacji granicznej skonstruowany został dalszy ciąg wydarzeń – zmiany psychiczne w życiu bohatera, spotkanie z wierzącym w Boga współpracownikiem, w końcu: zrozumienie popełnionych błędów i decyzja o zmianie podejścia do rodziny i pracy. Opowiadanie wyraźnie skoncentrowane jest na postaci, a główny element fabuły stanowi wewnętrzna przemiana bohatera, który z mężczyzny zaniedbującego rodzinę staje się troskliwym ojcem. Liczne monologi wewnętrzne ukazują proces przemiany z towarzyszącymi mu eksplikacją nieuświadomianych dotąd wad rodzicielskich, samooskarżeniem i wewnętrzną walką o zmianę moralną.

Powrót jest tekstem otwierającym czytelnika na odkrycie nie tylko sensu literalnego, wyrażonego w konstrukcji fabuły, ale również na przejście do sensu, który umownie nazwać można

¹⁸ S. Suleiman, *Authoritarian Fictions*, New York 1983, s. 34.

¹⁹ Tamże, s. 39.

²⁰ Tamże, s. 43.

²¹ Por. M. Michalski, dz. cyt.

²² E. E. Schmitt, *[Pamiętnik autora]* [w:] tegoż, *Trucicielka i inne opowiadania*, tłum. A. Sylwestrzak-Wszelaki, Kraków 2011, s. 227.

²³ K. Jaspers, *Wprowadzenie do filozofii*, przeł. Anna Wołkowicz, Wrocław 2000, s. 13.

filozoficznym. Już samo zakończenie rodzi wiele pytań: jak to możliwe, że Greg z mężczyzny troszczącego się jedynie o pracę i własny spokój, stał się nagle troskliwym ojcem, dlaczego rezygnuje z bycia marynarzem, dlaczego autor przedstawił tę drogę w sposób tak nieskomplikowany, wręcz tendencyjny? Wreszcie: jaki jest sens opowiadania?

Można zaryzykować stwierdzenie, że tematem twórczości Schmitta są najważniejsze kwestie dotyczące ludzkiej egzystencji. Autor stawia swoich bohaterów w trudnych życiowych sytuacjach. Za przykład posłużyć może opowiadanie *Trucicielka*, dotyczące z jednej strony przeciwności związanych z wykluczeniem społecznym, z drugiej – trudu odpowiedzi na pytanie, czy i jak pomagać osobie uznanej za mordercę. *Koncert „Pamięci anioła”* to opowieść o zemście i skutkach nieudzielenia pomocy. *Elizejska miłość* jest z kolei ilustracją toksycznego małżeństwa. Natomiast, jak pisze autor, cały tom łączy „temat przemiany różnych osób w następstwie ich wyborów lub traum”²⁴.

Istotnym sygnałem w samej konstrukcji *Powrotu*, świadczącym o możliwej interpretacji parabolicznej utworu, są miejsca otwarcia, czyli podstawowy wyznacznik paraboli. Jedną z form otwarcia tekstu na sensy ogólne jest symbolika. Stosując tego rodzaju przybliżenia, autor może wskazywać na pewną rację ogólną, zawartą na płaszczyźnie sensów ukrytych²⁵. Podstawowy symbol opowiadania *Powrót* – organizujący zresztą cały tom *Trucicielka* – to postać świętej Rity.

Sam autor pisze o niej: „Nie ma ona być wytłumaczeniem wszystkiego, pochodzącym ode mnie, pisarza, ale raczej szpileczką, bodźcem, tajemniczym jądrem, które ma zmusić czytelnika do namysłu”²⁶. Św. Rita w kulturze jednoznacznie kojarzona jest ze sprawami beznadziejnymi. Nie bez powodu obrazek świętej trafia w ręce Grega w nocy, podczas której dociera do niego, że mógł stracić zaniedbaną i odrzuconą przez siebie córkę. Ponadto emocje towarzyszące głównemu bohaterowi przy oglądaniu wizerunku Rity narrator opisuje w następujący sposób: „Jej uśmiech go wzruszył. Symbolizował jego żonę, jego córki, ich niewinność, piękno, prostoduszność”²⁷ [s. 75]. Greg, który wcześniej nie miał czasu dla swojej rodziny, teraz w obliczu świętej dostrzegł cechy swoich bliskich, niemal podniósł żonę i dzieci do rangi sacrum.

Bohater, człowiek niewierzący, swoją pierwszą modlitwę kieruje właśnie do Rity. Autor przez odniesienie do zakodowanej w kulturze wiedzy o jej patronacie sugeruje, że zdarzenie, które spotkało bohatera, jest dla niego tragiczne. Symbol spełnia więc funkcję, o której pisze sam autor – nakłania do rozmyślań. Jest jednocześnie miejscem otwarcia tekstu; punktem, w którym czytelnik może przejść od sensów jawnych do ogólnych.

Schmitt przywołuje również inny symbol, pozostający w kręgu metafizyki i religii chrześcijańskiej. Jest nim Biblia otrzymana przez Grega od kolegi-współpracownika, z której wypada, tak znamieny dla dalszego ciągu fabuły, obrazek świętej Rity. Dexter, w najtrudniejszym dla Grega momencie, w którym ten zdaje sobie po raz pierwszy sprawę z tego, że jest złym ojcem, przynosi mu jej egzemplarz, mówiąc przy tym: „Otwarcie Biblii to nie czytanie, to rozważanie” [s. 73]. Mimo że Greg nie czyta później otrzymanej księgi, a jedynie kartkuje, jego życie – co nie jest wystarczająco umotywowane fabularnie – zmienia się pod jej wpływem w uważne rozmyślanie nad samym sobą i dotychczasowymi błędami, co z kolei prowadzi bohatera do zmiany zachowania, podjęcia troski o rodzinę.

²⁴ E. E. Schmitt, *[Pamiętnik autora]* [w:] tegoż, dz. cyt., s. 224.

²⁵ A. Morawiec, *Poetyka opowiadań Gustawa Herlinga-Grudzińskiego*, Kraków 2000, s. 128.

²⁶ E. E. Schmitt, *[Pamiętnik autora]* [w:] tegoż, dz. cyt., s. 245.

²⁷ Wszystkie cytaty z utworu *Powrót* za wydaniem: E. E. Schmitt, *Trucicielka i inne opowiadania*, tłum. A. Sylwestrzak-Wszelaki, Kraków 2011. W nawiasach podano numery stron.

Dwa symbole związane z tematyką religijną: postać św. Rity oraz Biblia, zostały tu przywołane jako pierwsze, ponieważ ściśle wiążą się z przemianą głównego bohatera. Opowiadanie *Powrót* zawiera jednak znacznie więcej symboli. Warto przywołać i omówić niektóre z nich: statek-więzienie myśli, praca-*katharsis*, wdowiec czy tama. Schmitt posłużył się ponadto symboliką na poziomie metatekstowym, na co wskazuje tytuł opowiadania²⁸.

Konstrukcja postaci

Statek jest miejscem pracy Grega. Przed otrzymaniem wiadomości o śmierci jednego z dzieci bohatera, przestrzeń ta jest jego chlubą, ponieważ to „dzięki talentom swego mechanika statek towarowy <<Grandville>> przez siedem dni w tygodniu, dwadzieścia cztery godziny na dobę, sunął niezmiennie przez oceany” [s. 61]. Bohater jest niejako budowniczym własnego miejsca pracy, co sprawia, że przestrzeń zyskuje znaczącą wartość pozytywną. Lecz zaraz po wiadomości o śmierci podejście do miejsca diametralnie się zmienia.

Narrator tak relacjonuje odczucia bohatera: „Uwięziony na statku, niemy, samotny, zdruzgotany zmartwieniem ciężkim jak ładunek pod pokładem, będzie się zadreślał strasznym pytaniem: która z jego córek nie żyje?” [s. 67]. Statek, który wcześniej dawał bohaterowi niezależność, zaczyna być jego więzieniem. Rodzi to pytanie: skąd ta nagła zmiana? Pytania pojawiające się podczas lektury są kluczem otwierającym czytelnika na refleksję: praca może stanowić tylko chwilową satysfakcję, jeśli jednak ucieka się w nią przed problemami, nie daje wolności, ale przynosi zniewolenie.

Statek jako przestrzeń zarobku łączy się ściśle z symboliką pracy jako *quasi-oczyszczenia*. Obowiązki zawodowe były dla głównego bohatera sposobem na życie. Troska o materialne utrzymanie bliskich niemal zastąpiła tu budowanie więzi. Ilustruje to choćby taka informacja narratora: „Zresztą w jego oczach Mary była już nie tyle jego żoną, ile partnerką w życiu rodzinnym, współniczką w wychowaniu córek: on dawał pieniądze, ona – czas” [s. 79]. O tym, że praca to dla Grega *katharsis*, świadczą również jego automatyczne reakcje na tragiczne wiadomości. Tuż po usłyszeniu od szefa informacji o śmierci, pyta: „Mogę wrócić do pracy?” [s. 66]. Jest to pierwsze, co przychodzi mu na myśl – uciec w fizyczny wysiłek, żeby uniknąć spotkania z własną psychiką. Bohater zdaje się na cielesności budować własne poczucie wartości: „To on był mężczyzną, był odpowiedzialny za pierwiastek męski w ich związku, on był kolosem, siłaczem” [s. 70]. To odbicie w lustrze prowokuje go do autorefleksji. Najpierw dostrzega swoje cechy fizyczne: masywne uda, niskie czoło, toporne ramiona, masywne uda i tors [s. 76], by z kolei przejść do autorefleksji na gruncie własnego życia.

Praca przynosi jednak tylko pozorne oczyszczenie i ten fakt jest dla czytelnika kluczowy. Greg „rzucił się w wir pracy, tak jak uwalany błotem człowiek rzuca się pod wodę” [s. 67]. Paraboliczny sens motywu aktywności fizycznej przynosi sam rozwój fabuły: praca nie sprawia, że problem się rozwiązuje. Dla Grega miejsce pracy, powołując się ponownie na motyw statku, stało się więzieniem, w którym dopóki przebywał, dopóty nie mógł stać się dobrym ojcem i mężem. Dopiero po zejściu ze statku i zmianie pracy życie bohatera staje się lepsze, Greg godzi się z żoną i dziećmi. Naukę moralną, ukrytą w motywie pracy jako pozornego oczyszczenia, czytelnik odczyta po lekturze całego tekstu, ponieważ to fabuła rządzi ukrytym sensem. Warto zauważyć, że taki sposób konstrukcji opowiadania raczej nie pozostawia możliwości odczytania tekstu w sposób niezgodny z wolą autora.

²⁸

A. Morawiec, dz. cyt., s. 168.

Symbole tamy i wdowca pojawiają się w utworze niemal równocześnie. Tama oznacza tu zamknięcie się człowieka na przeżywanie emocji i życie wewnętrzne. Dopiero gdy „tama puściła” [s. 80], Greg zaczął odczuwać i rozmyślać. Gra przeciwieństw w ruchu: statyczności tamy i dynamiki tryskającej wody, którą przywodzi na myśl w tym kontekście wyraz „puścić”, powoduje dodatkową ekspozycję symbolu. Zwraca tym samym na niego większą uwagę, sugerując, że pod warstwą sensów literalnych może kryć się sens alegoryczny.

Pogłębiona refleksja doprowadziła głównego bohatera do wniosku, że nie tylko stracił jedno dziecko, ale symbolicznie nie miał również reszty dzieci, bo nie był dla nich ojcem, ponadto nie miał żony, bo nie był dla niej mężem. Rozważania Grega prezentowane są poprzez mowę pozornie zależną, co pozwala na utożsamienie myśli postaci z myślami narratora. Odbiorca, przez wywołane silne emocje żalu i współczucia, z większą łatwością skupia się na sensie ukrytym tego momentu fabuły: śmierć to nie tylko dosłowna utrata życia, a również utrata możliwości budowania relacji. Wybór przez Schmitta takiego narratora zbliża opowiadanie do literatury popularnej. Jak zauważa Martuszevska, „z wielorakich możliwości proponowanych polskiej prozie współczesnej przez tradycję literacką ten typ utworów wykorzystuje zasadniczo jeden rodzaj narracji – trzecioosobową narrację auktorialną, cechującą się swoistą wszechwiedzą (w stosunku do pozytywnych protagonistów), prowadzoną dość często z punktu widzenia bliskiego pod względem przestrzennym do punktu widzenia głównego pozytywnego bohatera”²⁹.

Wskazmy charakterystyczne dla paraboli miejsca otwarcia tekstu, które dostrzeżliśmy w *Powrocie*: motyw św. Rity i Biblii, statek jako więzienie myśli, praca-oczyszczenie, symbolika tamy i wdowca, a także tytuł opowiadania. Kolejnym przykładem obecności tej kategorii w utworze Schmitta jest sposób kreacji głównego bohatera³⁰. Fabuła, narracja oraz czasoprzestrzeń podporządkowane są postaci – kreowane tak, by nadać logiczną motywację przemianie wewnętrznej Grega, która z kolei niesie ze sobą przekaz moralny. Za Henrykiem Markiewiczem można stwierdzić, że postać literacka to indywidualny układ pewnych cech, które nazywane są bezpośrednio lub wskazane pośrednio. Układ ten narastając wzbogaca się, modyfikuje lub ulega reinterpretacji. Całkowicie kształtuje się dopiero dzięki aktywności odbiorcy, który dokonuje selekcji i scalania faktów, a także wnioskowania³¹. Z tego powodu postać może budzić zainteresowanie, a nawet być osią dzieła. Zaangażowanie czytelnika jest zaś podstawowym wyznacznikiem poprawnie funkcjonującej paraboli³².

Autor prowadzi odbiorcę przez proces przemiany dokonującej się w Gregu w sposób klarowny i niemal nie pozostawiający wątpliwości. Metamorfozę motywuje nagłym negatywnym wydarzeniem: telegramem o śmierci. Dodatkowo, moralizujący styl myśli Grega oraz elementy mowy pozornie zależnej pobudzają do czerpania z utworu, niejednokrotnie wyrażonych niemal wprost, prawd moralnych, co wydaje się świadczyć o pewnej tendencyjności opowiadania.

Czytelnik implikuje owe prawdy z błędów życiowych popełnianych przez Grega, o których zarówno bohater, jak i narrator bezpośrednio opowiadają, np.: „Bo czyż nie życzył śmierci jednej z córek? [...] Czy wskazując na nią nie zachował się jak zabójca? Czy były godne ojca takie mordercze myśli, jakie snuły się w jego umyśle? Lojalny ojciec walczyłby, aby ocalić swoje córki, wszystkie córki...” [s. 72], „Dotychczas [córki] miały do czynienia głównie z nieobecnym [ojcem],

²⁹ A. Martuszevska, dz. cyt., s. 96-97.

³⁰ M. Michalski, dz. cyt., s. 130.

³¹ H. Markiewicz, *Wymiary dzieła literackiego*, Kraków 1996, s. 146-147.

³² M. Michalski, dz. cyt., s. 109.

spotykały się przede wszystkim z jego siłą fizyczną lub rozkazami, które musiały spełniać; teraz spoglądały na niego innymi oczyma i bały się go trochę mniej” [s. 85]. Specyficzna kreacja postaci stanowi nie tylko miejsce otwarcia tekstu-paraboli, ale również jego kluczowy składnik, bez którego – w przypadku *Powrotu* Schmitta – interpretacja paraboliczna byłaby bezcelowa.

Ilustrujący charakter zdarzeń pozwala również na wywołanie efektu identyfikacji czytelnika z bohaterem. Mechanizm analogii sprawia, że przeżycia postaci stać się mogą również przeżyciami odbiorcy tekstu, dzięki czemu jest on w podobnym stopniu upoważniony do wirtualnego podejmowania decyzji razem z bohaterem. „Po przebudzeniu uświadomił sobie, że od otrzymania fatalnego telegramu w ogóle nie pomyślał o swojej żonie” [s. 79] – prawdopodobnie czytelnik również o żonie bohatera nie pomyślał, ponieważ podążał myślami razem z bohaterem. Po przeczytaniu tego zdania myśli odbiorcy tekstu, analogicznie do myśli postaci, skupiają się na żonie. Zabieg analogii pozwala na utożsamienie się z bohaterem, a więc na współodczuwanie prowadzące do przetransponowania sytuacji fikcyjnej na realne życie. Jednocześnie Schmitt wydaje się kreować czytelnika modelowego jako poruszającego się w obrębie dwóch płaszczyzn: punktu widzenia głównego bohatera oraz perspektywy narratora.

Warto dodać, że *Powrót* inspirowany jest doświadczeniem życiowym samego autora: „Podróżuję między hotelowymi pokojami i dręczy mnie nostalgia za bliskimi. Niecierpliwie czekając na spotkanie z nimi, piszę ten tekst dla nich, aby gdy wrócę, wiedzieli, jak mi ich brakowało, jak bardzo ich kocham, a przede wszystkim jak bardzo bym chciał kochać ich lepiej”³³. Być może Greg jest nawet *alter ego* Schmitta? Przemawiałaby za tym analogia w doświadczeniach bohatera i autora: oddalenie od domu, tułaczka, tęsknota za miłością, podobne rozterki egzystencjalne. Schmitt odnosiłby w ten sposób opowiadanie do współczesnego kontekstu socjologicznego. Życiu człowieka współczesnego towarzyszy przecież nieustający pęd, dynamiczny przyrost pracy i obowiązków, a narastający stres związany ze sferą zawodową uznawany jest za chorobę cywilizacyjną. W związku z takimi realiami świata powszechny staje się dylemat, jak podzielić swój czas między rodzinę i pracę. Mamy tu do czynienia ze znanym problemem opisanym przez Ericha Fromma w książce *Mieć czy być?*³⁴, dotyczącym opozycji altruizmu i egoizmu oraz związanych z tym wyborów. Aktualność dylematów dotyczących głównego bohatera *Powrotu* ułatwia czytelnikowi zbliżenie się do Grega, które dokonuje się dzięki mechanizmowi parabolizacji czytanej historii oraz przeniesieniu jego wyborów na własne życie.

Warto przywołać raz jeszcze istotną dla parabolicznej interpretacji *Powrotu* tezę: oś opowiadania, wokół której koncentrują się pozostałe elementy świata przedstawionego, stanowi postać literacka. Utwór prowadzi przez istotny dla dalszej egzystencji Grega okres jego życia. Jądem opowiadania jest przemiana postaci wynikająca z doświadczenia straty. Konstrukcja postaci oraz jej transformacja otwiera czytelnika na ukryte sensy. Skupienie utworu na postaci jest pretekstem do prezentacji uniwersalnych procesów psychicznych zachodzących przed i po wiadomości o śmierci dziecka³⁵.

Nasuwa się pytanie, dlaczego postacie fikcyjne są w stanie rodzić w czytelniku więcej empatii niż osoby z realnego świata? Czy jest potrzeba wypowiedziania prawdy moralnej w konstrukcji ją ukrywającej? Odpowiedzią wydaje się być uwaga amerykańskiej filozofki i etyki, Marthy Nussbaum, która za narzędzie budzenia empatii przez teksty literackie uważa głos odautorski [*authorial voice*]

³³ E. E. Schmitt, *[Pamiętnik autora]* [w:] tegoż, dz. cyt., s. 231.

³⁴ Por. E. Fromm, *Mieć czy być?*, przeł. J. Karłowski, słowo wstępne M. Chałubiński, Poznań 1995.

³⁵ H. Markiewicz, dz. cyt., s. 162.

niejako kierujący myśleniem czytelnika³⁶. Pytania, które towarzyszą Gregowi, prowadzą go do wyboru: rzucić pracę na morzu, poświęcić czas rodzinie, okazywać jej troskę i miłość. Jeśli zatem czytelnik również stawia sobie pytania formułowane przez Grega, poprowadzony zostanie do decyzji tożsamej z decyzją bohatera i paralelnych wniosków: mimo wszystkich komplikacji trzeba stawić czoła problemom. Zwróćmy uwagę, że może to być sygnał tendencyjności *Powrotu*, zgodnie z myślą Głowińskiego, że powieść tendencyjna charakteryzuje się m.in. tym, że jej fabuła i bohaterowie „są kształtowane tak, by najlepiej dokumentowały słuszność przyjętego założenia i najskuteczniej służyły jego rozpowszechnianiu”³⁷.

Wyciągnięcie z wydarzeń opowiadania wniosków tożsamych z wysnutymi przez bohatera wspomagane jest przez zabieg kliszowego przełożenia na postać stereotypu ojca. Greg jest typowym utrzymującym rodzinę mężczyzną, borykającym się z problemami. Dzięki nadaniu mu takich cech, czytelnik odnosi sposób prezentacji postaci do znanego sobie modelu, mocno zakorzonego w kulturze, a tym samym łatwiej utożsamia się z bohaterem i ma możliwość zaadaptowania jego fikcyjnych dobrych zmian do własnego życia. Dychotomiczne ujęcie czynów Grega w kategoriach dobro-zło dodatkowo ułatwia przejście z płaszczyzny sensów dosłownych, wyrażonych przez narrację, do sensów ogólnych: nauki o radzeniu sobie z problemami w świecie rzeczywistym.

Autor, mimo licznych informacji implikowanych, takich jak trudności bohatera w przyznaniu się do błędu czy skłonność do ucieczki od rodzinnych problemów w wysiłek fizyczny, powraca często do przedstawiania postaci za pomocą postaciowania bezpośredniego. Narastające uczucia nazywane są dosłownie: „wstyd palił mu uszy” [s. 72], „zdegustowany samym sobą” [s. 72]. Wprowadza to do fabuły dynamikę, ale również pozwala w sposób klarowny określić aktualny stan psychiczny bohatera. Dzięki temu możemy bez trudu podążać za jego emocjami i wartościować je – według czytelnej opinii narratora – jako dobre bądź złe.

Opozycje

Obrazowość opowiadania jest ważną cechą składającą się na silne oddziaływanie na czytelnika. Uwidacznia się w prowadzeniu losów postaci oraz w kreacji czasoprzestrzeni. Czas, w którym Greg przebywa na morzu, jest jego codziennością. Symbolizuje stałość, dającą mu poczucie bezpieczeństwa: „Greg przepłynął świat wzdłuż i wszerz – ale trzeba przyznać, że go nie widział. Jeżeli nawet jego statek przybijał do wielu miast, Greg nie docierał dalej niż dziób statku, nigdy nie opuścił nadbrzeża, zapuszczając korzenie w porcie, z nieufności, z obawy przed nieznanym” [s. 77] – tego rodzaju fragmenty to wyraźne ślady parabolizacji. Morze jest dla bohatera przestrzenią, którą dobrze zna, dlatego nie chce go opuszczać. Nie ryzykuje i nie podejmuje próby żadnej zmiany z obawy przed utratą poczucia kontroli nad przebiegiem życia.

Jednak to właśnie morze staje się punktem zwrotnym. To tu Greg dowiaduje się o śmierci córki, co zmienia jego sposób myślenia. Przestrzeń morza łączy się ściśle z czasem pracy bohatera, do której dawniej uciekał przed podejmowaniem decyzji, jest miejscem samoobrony przed trudem wyborów moralnych. Jednocześnie to obszar, w którym po otrzymaniu niejasnej wiadomości o tragedii, uczy się żyć w obliczu nowej rzeczywistości.

³⁶ M. C. Nussbaum, *Love's knowledge. Essays on Philosophy and Literature*, New York 1990, s. 5. Za: O. M. Skilleås, *Philosophy and Literature. An Introduction*, Edinburgh 2001, s. 130.

³⁷ M. Głowiński, *Tendencyjna literatura* [w:] *Słownik terminów literackich*, pod red. J. Sławińskiego, Wrocław 2000, s. 578. Cyt. za: S. Kukurowski, *Nie tylko socrealizm. O tzw. literaturze propagandowej, tendencyjnej i zaangażowanej*, Wrocław 2005, s. 9.

Przestrzeń i czas skonstruowane są zatem w sposób dualny na osi opozycji: morze-łąd, okres odpowiedzialnego-nieodpowiedzialnego rodzicielstwa. Morze jest synonimem życia, które bohater prowadził, zanim nastąpiły tragiczne wydarzenia, a łąd tego, które prowadzi od chwili przemiany. Przez symbolikę czasoprzestrzenną Schmitt egzemplifikuje wyzwania ojcostwa oraz postawę człowieka wobec śmierci. Konstrukcja opowiadania, synchronizująca wartość życia Grega z przestrzenią – złe życie na morzu i dobre na łądzie – sygnalizuje czytelnikowi, jak sam ma ocenić postawę bohatera. Prowadzi go tym samym ku sensom ukrytym, choć wyraźnie trzymając go za rękę.

Negatywne emocje obecne są nie tylko w życiu Grega, oddaje je również natura. Budowanie świata przedstawionego w spójny sposób, wyodrębniający problem utworu, jest dowodem jego dwupłaszczyznowości. Współgrająca z innymi elementami świata przedstawionego kreacja otoczenia bohatera wpływa na emocje czytelnika, co daje mu możliwość przejścia z poziomu sensów literalnych, wyrażonych w fabule, narracji, postaci oraz czasoprzestrzeni, do sensów ogólnych, czyli odpowiedzi na pytanie o ukryty sens historii Grega.

Parabola, jako gatunek przez wieki rozwijający lub modyfikujący swoje cechy, w literaturze współczesnej traci pierwotną schematyczność i staje się narzędziem służącym do opisu skomplikowanego świata. Mimo to paraboliczny *Powrót* Schmitta nie podejmuje prób uchwycenia rzeczywistości nieuchwytniej. Jego tematem jest konkretny problem – śmierć bliskiej osoby oraz zaniedbane relacje rodzinne. Tekst opatrzony zaś został dość jednoznaczną kodą³⁸. Można więc zadać pytanie, czy uzasadnione jest odczytywanie tego opowiadania w kategoriach paraboli współczesnej czy może raczej jest to proza o tematyce egzystencjalnej?

Nie jest to pytanie, na które można udzielić jednoznacznej odpowiedzi. Interpretację paraboliczną motywuje spełnienie podstawowych kryteriów gatunku. Susan Suleiman w swojej książce *Authoritarian Fictions* wyróżnia trzy hierarchicznie ustalone poziomy, wokół których zorganizowana jest parabola: narracyjny [*narrative*], odpowiedzialny za opowiadanie historii; opowiadający [*interpretive*], komentujący historię; pragmatyczny [*pragmatic*], wprowadzający zasady wydobyte w procesie interpretacji w życie³⁹.

Bez trudu można by odnieść powyższe poziomy do *Powrotu*. Narracją jest warstwa tekstu, w której narrator prezentuje przebieg fabuły – od opisu pracy głównego bohatera na statku, przez otrzymanie telegramu o śmierci dziecka, aż po przemianę i powrót do rodziny. Interpretację stanowi mowa pozornie zależna, w której Greg komentuje swoje zachowanie i wyraża skrajne emocje. Pragmatyzm⁴⁰ to skorzystanie przez czytelnika modelowego z miejsc otwarcia tekstu.

Niemniej jednak Schmitt w opowiadaniu nie kieruje się istotną cechą współczesnej paraboli: negacją istnienia prawdy obiektywnej. Przeciwnie, bohater szczegółowo komentuje własną osobę, nie pozostawiając czytelnikowi przestrzeni do indywidualnej oceny postaci. Opowiadanie niemal nie

³⁸ Podsumowującym utwór literacki zakończeniem, zwięźczeniem.

³⁹ S. Suleiman, dz. cyt., s. 35-36.

⁴⁰ Na wielość różnego rodzaju użyć terminu „pragmatyzm” wskazuje Eugeniusz Czaplejewicz. Autor zwraca uwagę na to, że we współczesnej teorii literatury wyraz ten stosuje się w kontekście semiotyki, „gdzie oznacza aspekt znakowy, który dotyczy stosunku między znakiem a jego użytkownikami”. W niniejszym artykule wyrażeniami „pragmatyczny”, „praktyka” posługuję się w drugim wspomnianym przez Czaplejewicza znaczeniu, związanym z etymologią wyrazu (gr. aktywny, czynny), a którego na gruncie badań literackich używa m.in. Skwarczyńska, wyróżniając „kierunki pragmatyczne [...]”, które oceniając wartość dzieła literackiego ze względu na jego doniosłość i doraźną skuteczność społeczną, pojmują go jako odpowiedzialny czyn twórcy”. S. Skwarczyńska, *Wstęp do nauki o literaturze*, t. 1, Warszawa 1954, s. 29. Cyt. za: E. Czaplejewicz, *Pragmatyka, dialog, historia. Problemy współczesnej teorii literatury*, Warszawa 1990, s. 6. Por. Tamże, s. 5-7.

zawiera niedopowiedzeń, które są ważnym narzędziem parabolizacji. Schmitt wydaje się prowadzić czytelnika po torze wyznaczonym przez siebie do prawdy moralnej, którą uważa za obiektywną.

Powtórzyć więc wypada: pytanie, czy powrót jest przypowieścią, czy pozostaje opowiadaniem o tematyce egzystencjalnej, jest trudne do rozstrzygnięcia. Interpretacja losów mechanika okrętowego Grega jako paraboli daje jednak możliwość spójnego odczytania utworu. Mechanizm oswojonej przypowieści może być także jednym z głównych powodów popularności prozy Schmitta, ze względu na zbliżenie do siebie formuły wysokoartystycznej literatury i oczekiwań odbiorcy literatury popularnej.

Literatura

I. Literatura podmiotu

Schmitt E. E., 2011, Powrót [w:] tegoż, *Trucicielka i inne opowiadania*, tłum. A. Sylwestrzak-Wszelaki, Kraków.

II. Literatura przedmiotu

Czaplejewicz E., 1990, *Pragmatyka, dialog, historia. Problemy współczesnej teorii literatury*, Warszawa.

Czernichowska K., Eric Emmanuel Schmitt: Miłość to nie tylko czerpanie radości [rozmowa naszemiasto.pl], „Nasze Miasto” Warszawa [online], 14 czerwca 2015. Dostępny w Internecie: <<http://warszawa.naszemiasto.pl/artikul/eric-emmanuel-schmitt-milosc-to-nie-tylko-czerpanie-radosci,3404305,art,t,id,tm.html>> [dostęp: kwiecień 2016].

Huniewicz P., 2004, Dwanaście ostatnich dni, *Polityka*, nr 9.

Jaspers K., 2000, *Wprowadzenie do filozofii*, przeł. Anna Wołkiewicz, Wrocław.

Kukurowski S. 2005, *Nie tylko socrealizm. O tzw. literaturze propagandowej, tendencyjnej i zaangażowanej*, Wrocław.

Martuszevska A., 1997, „*Ta trzecia*”. *Problemy literatury popularnej*, Gdańsk.

Martuszevska A., 1997, *Pozytywistyczne parabole*, Gdańsk.

Markiewicz H., 1996, *Wymiary dzieła literackiego*, Kraków.

Michalski M., 2003, *Dyskurs, apokryf, parabola: strategie filozofowania w prozie współczesnej*, Gdańsk.

Morawiec A., 2000, *Poetyka opowiadań Gustawa Herlinga-Grudzińskiego*, Kraków.

Rachid Chebab M., 2010, Pierwszorzędny pisarz drugorzędny, *Przekrój*, nr 10.

Skilleås O. M., 2001, *Philosophy and Literature. An Introduction*, Edinburgh.

Skwarczyńska S., 1954, *Wstęp do nauki o literaturze*, t. 1, Warszawa.

Sławiński J. (red), 1998, *Słownik terminów literackich*, Wrocław.

Surmiak-Domańska K., Eric-Emmanuel Schmitt: Codziennie w pracowni uprawiam miłość, „Gazeta Wyborcza” [online], 1 kwietnia 2011. Dostępny w Internecie:

<http://wyborcza.pl/1,75475,9357034,eric_emmanuel_schmitt_codziennie_w_pracowni_uprawiam.html> [dostęp: kwiecień 2016].

Krótką notką o autorze: *Studentka I roku studiów magisterskich filologii polskiej. Głównym obszarem jej zainteresowań naukowych jest badanie utworów współczesnych z perspektywy teoretycznoliterackiej, szczególnie poezji Krzysztofa Baczyńskiego. Zajmuje się również edycją tekstów dawnych, praktykowała w Muzeum Narodowym w Gdańsku, katalogując rękopisy Zygmunta Krasieńskiego, obecnie pomaga w przepisywaniu listów związanych z Brunonem Schulzem dla portalu Schulz / forum. Miłośniczka codzienności i tancerka swingowa.*

