

STANISŁAW RAKUSA-SUSZCZEWSKI*

Ruch w oceanie

Wszystkie organizmy pelagiczne, w tym zooplankton, poruszają się w środowisku wodnym. Podstawową oddziałującą na nie siłą jest grawitacja, powodująca ich bierne opadanie lub przemieszczanie się w wyniku działania wypadkowej siły grawitacji, ruchu z prądem i ruchu indywidualnego osobnika, to ostatnie wymaga użycia dodatkowej energii. Fitoplankton poza poziomym biernym ruchem może również wykonywać wędrówki pionowe związane z procesem fotosyntezy, wykorzystywania światła i nutrientów (K. Wirtz, S. Lan Smith 2020). Ruch indywidualny i zbiorowy oraz bierny ruch w wodach oceanicznych kształtuje zależności i funkcjonowanie w różnych skalach przestrzennych ekosystemów morskich. Ruch ma istotne znaczenie w zależnościach troficznych i adaptacjach między gatunkami oraz zespołami gatunków. Zooplankton zużywa energię na ruch związany z podstawowymi funkcjami organizmu, którymi są odżywianie i rozmnażanie. Funkcje te są różne u poszczególnych zwierząt i są następstwem ich pozycji systematycznej, adaptacji na poziomie anatomicznym, morfologicznym i fizjologicznym każdego indywidualnego organizmu. Ruch – sposób poruszania się poszczególnych gatunków w pelagialu – odgrywa podstawową rolę w realizacji funkcji życiowych. Filtracja dokonywana przez organizmy filtrujące, atak drapieżcy czy ucieczka ofiary to różne rodzaje recepcji sygnałów związanych z ruchem. Poszukiwanie partnera czy najkorzystniejszych dla danego gatunku warunków środowiskowych również związane jest z ruchem. Prowadzone wcześniej badania różnych grup planktonu wskazują na potrzebę skorelowania ruchu organizmów oraz związków między organizmami z ruchem wód oceanu w skali globalnej.

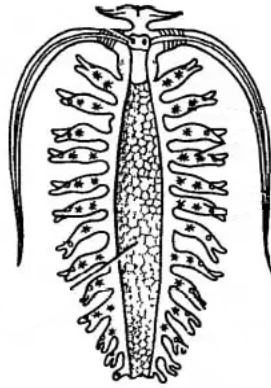
Ruch osobniczy

Tomopteridae, *Chaetognatha*, *Copepoda* oraz *Euphausiidae* są jednymi z głównych grup gatunków stanowiących mezoplankton pelagiczny w morzach. Ruch każdej z tych grup taksonomicznych jest całkowicie odmienny, ale wskazuje na wysoce specjalistyczne dostosowania, jakie powstały w wyniku ewolucji. Wydaje się, że każda z tych grup wykształciła korzystny dla siebie sposób odżywiania związany z procesem przemieszczania.

Tomopteris posiada po obu stronach ciała liczne parapodia (ryc. 1), w efekcie ich metachronalnego ruchu porusza się spiralnie. Kinetyka ruchu tego zwierzęcia intere-

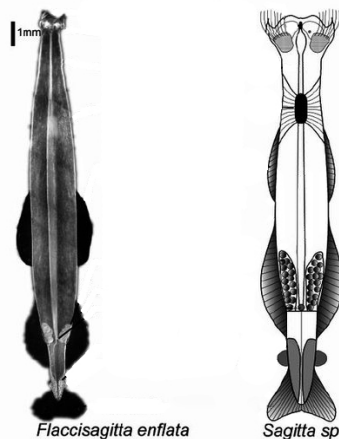
* Prof. dr hab. Stanisław Rakusa-Suszczewski (rakusa.suszczewski@gmail.com), członek rzeczywisty PAN

suje nie tylko biologów, lecz również inżynierów robotyki (Joost Daniels et al. 2021). Nie było wiadomo, czym odżywiają się pelagiczne *Tomopteridae* (*Polychaeta*), ponieważ przezroczyste ciało i wyraźny przewód pokarmowy najczęściej robi wrażenie pustego.



Ryc. 1. *Tomopteris*

Badania (Rakusa-Suszczewski S. 1968) wykazały, że *Tomopteris helgolandica* odżywia się pokarmem płynnym. Wysłysanie ofiary jest dość powszechną cechą przede wszystkim dennych wieloszczetów. *Tomopteris* jest pelagicznym gatunkiem i poluje na szczecioszczękie w toni wodnej. Sposób poruszania się spiralnym ruchem zwiększa częstość trafienia w boczną część ciała ofiar, którymi są *Chaetognatha*. W ciele *Parasagitta elegans* po raz pierwszy zaobserwowano otwory powstałe w wyniku przyssania się *Tomopteris*.



Ryc. 2. *Chaetognatha*

Szczecioszczękie poruszają się po liniach prostych, używając płetw bocznych i płetwy ogonowej (ryc. 2), posiadają otwór gębowy skierowany w dół, otoczony szczecinami, stąd ich polska nazwa. Głównym pokarmem szczecioszczękich, jako planktono-

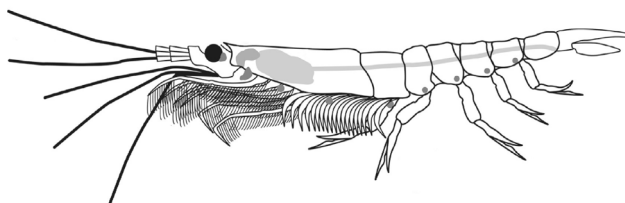
wych drapieżców, są liczne gatunki widłonogów – *Copepoda* (ryc. 3), ale w przewodzie pokarmowym spotykamy również jaja i larwy ryb.



Ryc. 3. *Copepoda* sp.

W odżywianiu się tych drapieżnych *Chaetognatha* wraz ze zwiększeniem się długości ciała istnieje wyraźna tendencja do łowienia pojedynczych, większych *Copepoda*, a nie licznych małych osobników. Pozwala to na oszczędność energii zużywanej na ruch (Rakusa-Suszczewski 1969). Większy osobnik wybiera większą ofiarę. Głównym pokarmem na szczecioszczękich w Morzu Północnym są różnej wielkości stadia rozwojowe *Calanus finmarchicus*. *Parasagitta elegans* i *Sagitta setosa* odżywiają się intensywniej nocą, wtedy gdy *Copepoda* wędrują aktywnie w kierunku powierzchni. Otwór gębowy u *Chaetognatha* umieszczony jest na stronie brzusznej, dalej ciągnie się rurkowaty przewód pokarmowy. Łowiony widłonóg łapany jest za przednią część ciała wzdłuż odnóży, a nie „pod włos”. Ruch w górę jest więc decydujący w efektywnym łapaniu pokarmu. Ruch *Copepoda* jest złożony, naupli mają trzy funkcjonalne odnóży, poruszają się skokowo i jak wykazano u licznych gatunków *Temora*, *Oithona* i *Acartia* ruch naupli każdego z nich jest nieco odmienny. *Copepodity* mają 5 par odnóży na głowotułowie i 4–5 na odwłoku, wspomagają one ruch, ale głównym napędem są anteny. Jak zaobserwowano drapieżna *Oithona* ma długie antenule i dotknięcie ich wywołuje natychmiastowy skok, taka reakcja nie występuje u roślinożernego *Calanusa*. Dorosłe *Copepoda* mogą biernie opadać lub płynąć aktywnie w dół lub do góry. W strefie umiarkowanej i tropikalnej dobowe wędrówki są wyraźne, w strefie polarnej lodów zanikają, co niektórzy tłumaczą oszczędnością energii. Ruch w górę nocą jest korzystny dla polujących *Chaetognatha* ze względu na pozycję drapieżcy i położenie ofiary. Trawienie zachodzi w przewodzie pokarmowym, a chitynowe pozostałości segmentów ciała *Copepoda* i odnóży po strawieniu są „pakowane”, jakby teleskopowo, do pierwszego największego pancerzyka segmentu tzw. *cephalothoraxu* i wydalone jako jeden pelet przez otwór odbytowy znajdujący się na stronie brzusznej *Chaetognatha*.

Inny sposób poruszania się i ruchu wykazują *Euphausiacea*, po polsku szczётki (ryc. 4). Obecnie najlepiej poznanym jest *Euphausia superba*, planktonowy gatunek antarktyczny (tzw. kryl). W wodzie porusza się on do przodu za pomocą 5 par pleopodów na odwłoku i skokowo do tyłu za pomocą telsonu.

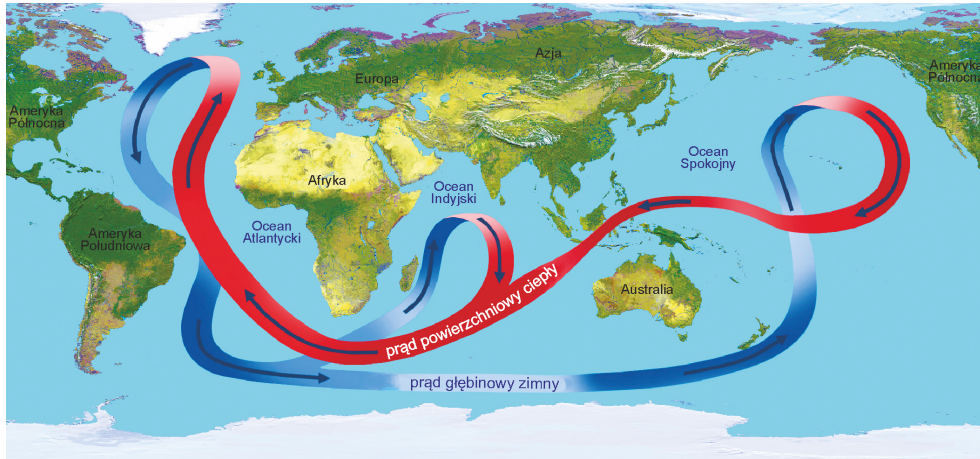


Ryc. 4. *Euphausia superba*

Aparat filtracyjny *Euphausia superba*, tak zwany koszyczek, tworzy na tułowie 8 par pereopodów uzbrojonych w szczecinki (*setae*) pierwszego, drugiego (*setulae*) i trzeciego rzędu. Ilość wody cedzonej przez dorosłego osobnika może wahać się od 3,6 litra do nawet 6,6 litra na godzinę. Ruch tego zwierzęcia wywołany pracą pleopodów jest niezależny od ruchu pereopodów. Nachylenie pływającego osobnika względem horyzontu wynosi około 45° . Poruszające się pleopody wywołują ruch wody o specyficznym strumieniu omywającym brzuszną stronę *Euphausia superba* między 2–5 parą odnóży odwłokowych, dzięki temu na odwłoku właśnie między 2–5 parą najliczniej usadowiają się epibiontyczne pierwotniaki – *Ephelothidae* (*Suctoria*), po polsku bezrzęski (Rakusa-Suszczewski S., Nemoto T. 1989). W koszyczku pokarmowym tworzonym przez pereopody, którego działanie jest filtrujące, na szczecinkach usadowiają się bardzo licznie zupełnie inne pasożytnicze pierwotniaki – *Foettingeriidae* (*Apostomatida*). Znaczne ilości pierwotniaków z obu tych grup są niewątpliwie obciążeniem dla *Euphausia superba* zarówno w procesie odżywiania, jak i poruszania się, zmniejszając powierzchnię filtrującą koszyczka czy zwiększając opory przepływu wody w czasie ruchu. Bardzo dokładne „geograficzne” rozmieszczenie *Protozoa* na określonych pereopodach i pleopodach *Euphausia superba* jest następstwem ruchu gospodarza ilustrującym ewolucyjną adaptację międzygatunkową.

Ruch zbiorowy

Ruchy wody morskiej zarówno w poziomie, jak i w pionie, decydują o przemieszczaniu się ogromnej biomasy planktonu w skali globalnej w prądach (*Global Conveyor Belt*) głębinowych zimnych i powierzchniowych ciepłych (ryc. 5). Obliczono, że trzeba 1000 lat, by cząsteczka wody przepłynęła cały pas prądów wszystkich oceanów. Mimo lokalnego zróżnicowania jest to system globalny obejmujący wszystkie oceany.



Ryc. 5. Zimny prąd głębinowy i ciepły prąd powierzchniowy

W planktonie *Copepoda*, w tym *Calanus finmarchicus*, jest jednym z liczniejszych i ważniejszych gatunków stanowiących pokarm dla ryb. W rejonie Morza Północnego występuje w jego północnej części i jest wskaźnikiem ruchu wód z północy na południe. U wschodnich wybrzeży USA gatunek ten pełni istotną rolę w odżywianiu się ryb. Wieloletnie badania prowadzone w tym obszarze wskazują, że zmiany klimatyczne i ocieplanie się wód wywołują przesuwanie się *C. finmarchicus* bardziej na północ w tempie 8,1 km/rok. Podobne zjawisko zaobserwowano także na Morzu Północnym.

Na Nowej Funlandii rozmnażanie się gromadnika, bardzo licznego gatunku, który odbywa tarło na linii wody i piaszczystej plaży, związane jest z ruchem fal i pływów przemieszczających te ryby w strefę brzegową.

Na południowej półkuli badania planktonu głównie dotyczyły *Euphausia superba* – kluczowego gatunku dla całego ekosystemu Antarktyki. Krył występuje na obszarze ok. 32 mln km² od strefy konwergencji antarktycznej aż po strefę paku lodowego na południu i pod nim. Prąd wokół Antarktydy płynie z maksymalną szybkością do 4,5 m/godz, zwykle w zakresie od 15 do 50 cm/s. *Euphausia superba*, dominujący gatunek mezoplanktonu, przemieszcza się wraz z prądami, przy powierzchni na północ, a warstwy głębsze na południe. Występuje w skupieniach osobników płynących w jednym kierunku z szybkością około 20 cm/s. Skoro prąd płynie szybciej od osobników, możliwa jest reotaksja i ustawianie się pod prąd, dzięki czemu mogą odżywiać się fitoplanktonem osobniki ze środka i końca dużych skupień. Reotaksja może być powodem rozdzielania skupienia ze względu na wymiary osobników, co znajduje odbicie w obserwowanych dość jednorodnych wymiarowo skupieniach (Jażdżewski et al. 1978). Wydaje się, że jest to efektem selekcji osobników o podobnych możliwościach ruchu i szybkości pływnięcia pod prąd. Latem gęste skupienia obserwuje się podczas dnia na głębokości

do 200 m, nocą zaś w górnych warstwach następuje ich rozproszenie. Ruch ten zaburzony jest przez warunki hydrologiczne, zawirowania, stykanie się wód o różnych parametrach fizyko/chemicznych, różne głębokości i ukształtowania dna. Na przykład w rejonie szelfu wyspy Elephant skupienie mezoplanktonu *Euphausia* oceniono na 10 mln ton w ciągu jednego roku. Obserwowano skupienia na powierzchni 10×10 km o biomase 2 mln ton. W 1 m^3 może znajdować się 30 000 osobników. Ogromna biomasa skupiona jest zwykle na niewielkiej powierzchni, głównie do głębokości 200 m. Rozmieszczenie kryła nie jest jednorodne, są obszary bardzo ubogie, zaś strefy styku wód o różnych cechach hydro/chemicznych i zawirowania mogą sprzyjać powstawaniu skupień (Stein M., Rakusa-Suszczewski S. 1984). Więcej niż połowa strefy odpowiadającej rozmnażaniu się kryła znajduje się na południowo-zachodnim Atlantyku w rejonie Półwyspu Antarktycznego. *Euphausia* osiąga 6 cm, jaja po złożeniu toną na głębokość od 500 do 2000 m. Ten bierny ruch jaj chroni je przed zjedzeniem przez dorosłe osobniki filtrujące wodę. Rozwój mezoplanktonu następuje powoli na dużych głębokościach, stopniowo przechodząc kolejne stadia *nauplius*, *metanauplius*, *calyptopis*, *furcilia* i wynurzając się w warstwy powierzchniowe, osiągają formę młodocianą, której bezpieczeństwo rośnie wraz ze wzrostem wymiarów. Wydaje się, że istotną rolę w cyklu życiowym tego skorupiaka odgrywają ruchy wód przenoszące jaja i nauplii nieco dalej od skupienia kryła i zmniejszające ryzyko ich odfiltrowania przez odżywiające się osobniki dorosłe. Modele oceaniczne ruchu i rozmieszczenia planktonu oceanicznego i wymiarów ciała w skali globalnej (Ernesto Villarino et al. 2018) wykazały, że skala rozproszenia dla różnych grup planktonu wykazuje negatywną korelację z wymiarami ciała. Mniej liczne, większe organizmy mają wyraźnie krótszy czas rozproszenia. Rozproszenie organizmów planktonowych i mikronektonu jest więc uwarunkowane lokalną liczebnością i wymiarami ciała.

Zmiany intensywności prądu i ruchu wód wokół Antarktydy mają związek z El Niño, w efekcie czego na przykład rejon Południowej Georgii zasilany jest, lub nie, odnogą prądu ACC (*Antarctic Circumpolar Current*) przynoszącego *Euphausia* z rejonu zachodu i Półwyspu Antarktycznego. Ilość kryła w wodach Południowej Georgii decyduje o sukcesach lęgowych pingwinów, ale i przemieszczaniu się *Arctocephalus gazella* (uchatek antarktycznych) na południe w rejon Szetlandów Południowych w poszukiwaniu pokarmu (Salwicka K., Rakusa-Suszczewski S. 2002). Jest to przykład powiązania ruchu oceanu z cyklem rozrodczym zwierząt naziemnych. Ruchy zooplanktonu i jego ogromnej biomasy niesionej przez prądy morskie i indywidualne ruchy osobników stanowią układy modelowe przybliżające nas do zrozumienia funkcjonowania ekosystemów i ich racjonalnej eksploatacji. Warto wspomnieć, że zasoby *Euphausia superba*, najliczniejszego w skali świata gatunku, ocenia się na ok. 400 mln ton. Aktualne limity połowowe ogłaszane przez międzynarodową Konwencję o Ochronie Antarktycznych Żywych Zasobów (CCALMR), której członkiem jest również Polska, określa miejsca, czas i wielkości

połowów. Dla Południowego Atlantyku wynosi on 5,6 mln ton rocznie zaś dla południowej części Oceanu Indyjskiego 3 mln ton. Połow odbywają się głównie z udziałem Rosji, Japonii i Norwegii, wynoszą rocznie ok. 300 000 ton i wzrastają. Odbywają się bez udziału Polski, która nigdy nie łowiła kryla na polski rynek w skali przemysłowej, ale wypracowała sobie *know how*.

Literatura

- Jażdżewski K., Dzik J., Porębski J. Rakusa-Suszczewski S., Witek Z., Wolnomiejski N. (1978) *Biological and populational studies on krill near south Shetland Island Scotia Sea and South Georgia in Summer 1976*. Pol. Arch. Hydrobiol. 25(3): 607–631.
- Daniels J., Aoki N., Havassy J., Kakani K., Osborn K.J. (2021) Integrative and Comparative Biology 61(5): 1658–1673.
- Wirtz K., Lan Smith S. (2020) *Vertical migration by bulk phytoplankton sustains biodiversity and nutrient input to the surface ocean*. Sci. Rep. 11. 2044–2333.
- Rakusa-Suszczewski S. (1968) *Predation of Chaetognatha by Tomopteris helgolandica Greff.* J. Cons. perm. int. Explor. Mer. 32(2): 226–231.
- Rakusa-Suszczewski S. (1969) *The food and feeding of Chaetognatha in the seas around the British Isles*. Pol. Arch. Hydrobiol. 16(29): 213–232 (praca doktorska).
- Salwica K., Rakusa-Suszczewski S. (2002) *Long-term monitoring of antarctic pinnipeds in Admiralty Bay (South Shetlands Antarctic)* Acta Theriologica 47(4): 443–457.
- Stein M., Rakusa-Suszczewski S. (1984) *Meso-scale structure of water masses and bottom topography as the basis for krill distribution in the SE Bransfield Strait, February-March 1981*. Meeresforschung 30(2): 73–81.
- Villarino E. et al. (2018) *Large-scale ocean connectivity and planktonic body*. Nature communications 9,142.

Ruch w oceanie

Indywidualny ruch planktonu w oceanie związany jest z zależnościami troficznymi między dominującymi grupami zooplanktonu. Ruch zbiorowy jest następstwem przemieszczania się mas wodnych, cykliów dobowych i globalnego ruchu prądów oceanicznych oraz zmian klimatu.

Słowa kluczowe: plankton, odżywianie, ruch indywidualny i zbiorowy

Movements in the ocean

Individual movement of plankton in the ocean is related to trophic relationships between dominant groups. Collective movement is a consequence of the movement of water masses, diurnal cycles and global movement of ocean currents, and climate change

Key words: plankton, feeding, individual and collective movement

