

Strefa przybrzeżna Morza Bałtyckiego jako filtr

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

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,

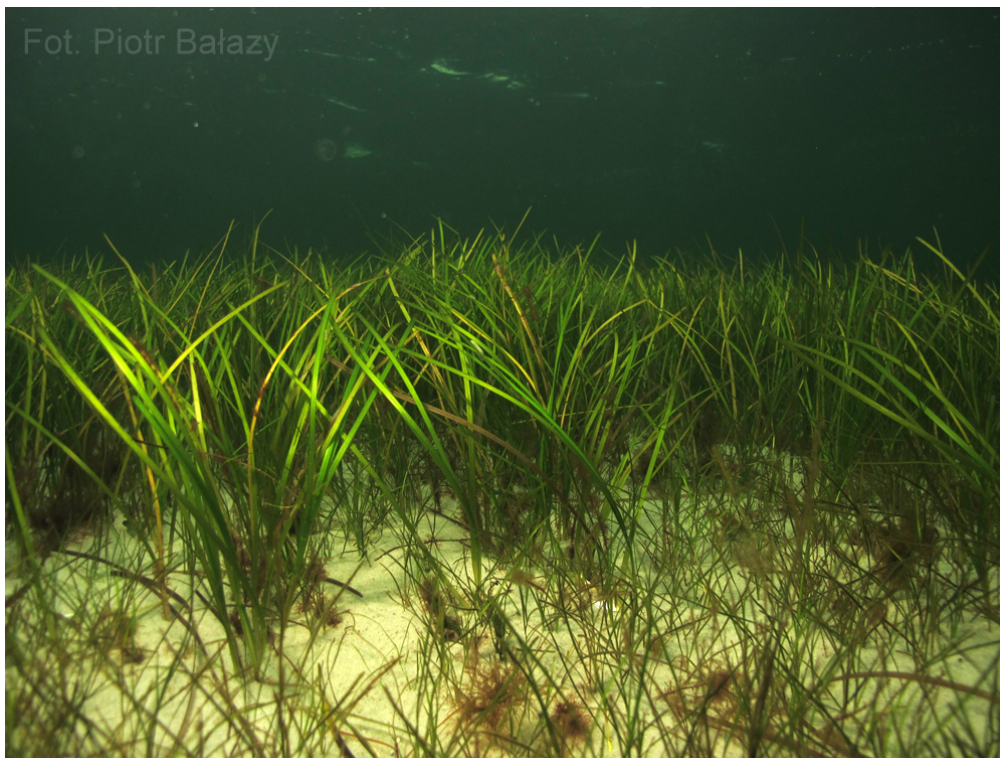
Zakład Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich

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

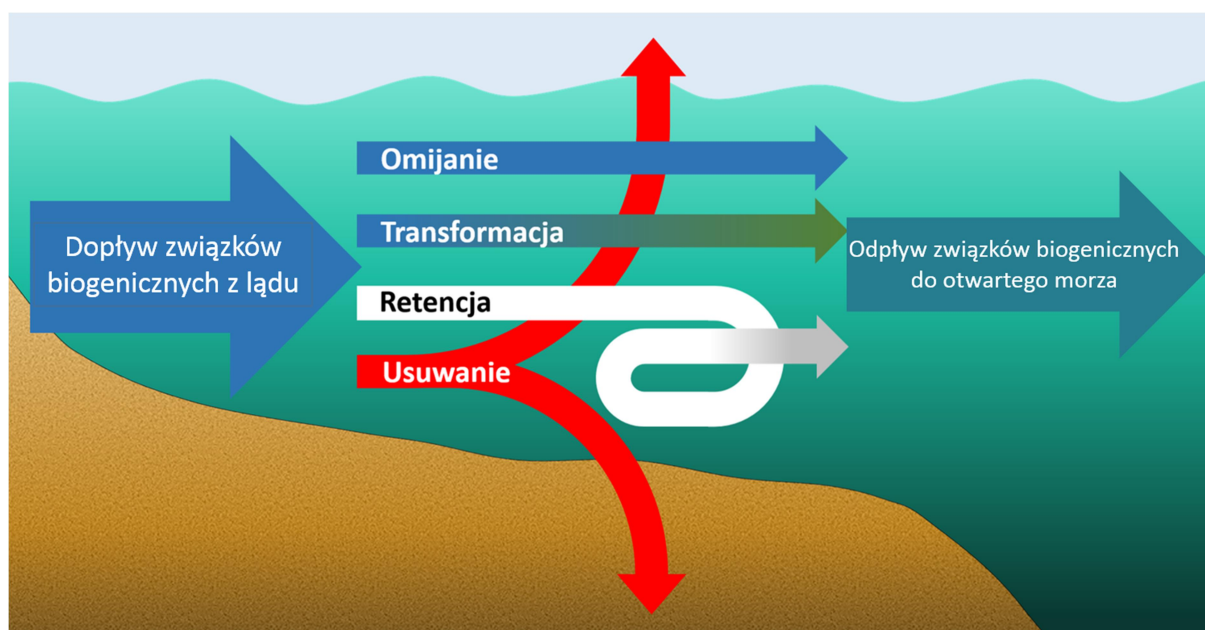
Eutrofizacją nazywamy proces wzbogacania wody w związki biogeniczne, czyli substancje niezbędne do życia roślin. Skutkiem eutrofizacji jest zwiększenie biomasy fitoplanktonu. Niesie to ze sobą szereg różnorodnych, w tym negatywnych skutków dla środowiska morskiego. Jednym z nich może być ograniczenie 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).



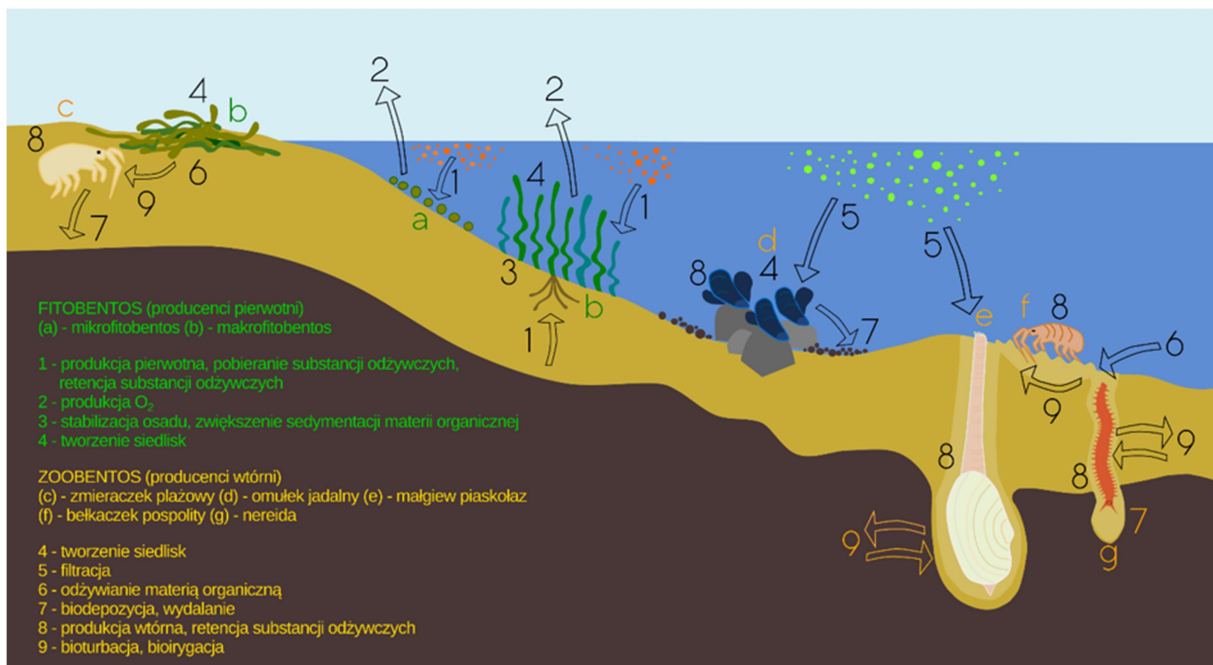
Ryc. 3. Schemat procesów, którym związki biogeniczne podlegają w strefie przybrzeżnej.
(opracowanie własne na podstawie Asmala i in. 2017)

Rola bentosu

Strefa przybrzeżna zasiedlana jest m.in. przez zoobentos, czyli organizmy zwierzęce związane z dnem (Ryc. 4). Zwierzęta te poprzez swoją aktywność (np. odżywianie 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 drażyć 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.
- Węśławski, 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 biologowie morza z Zakładu Ekologii Eksperymentalnej Organizmów Morskich. Mgr Radosław Brzana realizuje pracę doktorską poświęconą wpływowi budowy morskich na różnorodność gatunkową i funkcjonalną zespołów bentosowych w Zatoce Gdańskiej. Doktorantka mgr Marta Tykarska zajmuje się biologią i ekologią zwierzęcych (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.