

Antarktyczne pingwiny *Pygoscelis* jako wektory zanieczyszczeń antropogenicznych, na przykładzie metali ciężkich.

Kinga Hoszek

*Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii
e-mail: nanohoszek@gmail.com*

Tutor: dr Anna Panasiuk

*Uniwersytet Gdański
Wydział Oceanografii i Geografii, Instytut Oceanografii,
Zakład Badań Planktonu Morskiego*

Słowa kluczowe: Antarktyka, fauna, pingwiny Pygoscelis, metale ciężkie

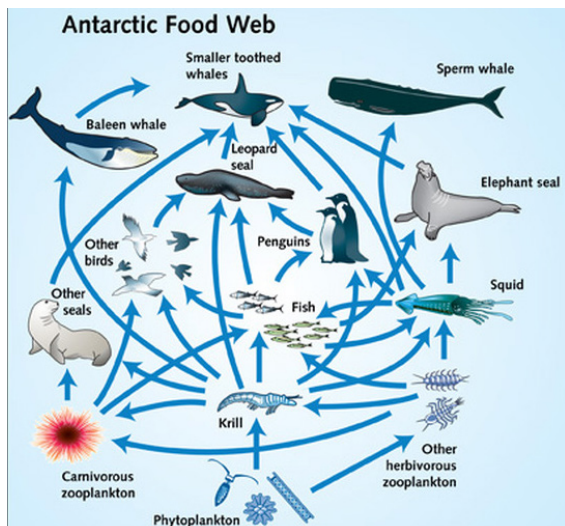
Wstęp

Środowisko Antarktyki jest uważane za dziewicze, nieskażone zanieczyszczeniami, szczególnie tymi o antropogenicznym źródle, jednakże już w 1966 roku odkryto tam obecność toksycznych substancji i od tego czasu obserwuje się rosnące zainteresowanie badaniem i monitorowaniem ich obecności w tym regionie świata (Corsolini, 2009). Prowadzone od kilku dekad analizy wykazały, że poziomy stężenia metali ciężkich mogą być znacznie podwyższone u wielu żyjących tam gatunków (Nygård i in., 2009). Zakłada się, że głównymi przyczynami tego stanu są rozwój badań naukowych, turystyki i rybołówstwa, które determinują wzrost obecności człowieka na Antarktydzie i Oceanie Południowym, a co za tym idzie obserwuje się również zwiększoną ilość związków chemicznych związanych chociażby z transportem bądź zrzutem ścieków (Bargagli, 2008). Nie należy również

zapomnieć o innych źródłach związków toksycznych, w tym topniejące wskutek zmian klimatycznych lodowce, z których potencjalnie mogą się uwalniać między innymi Pb, Cd, Cu, and Zn (Hong i in., 1998). Do równie istotnych przyczyn zaliczyć można transport atmosferyczny metali ciężkich takich jak Cu, Cr, Ni, As, Cd, Pb, Zn i Hg, który może indukować przenoszenie zanieczyszczeń na dalekie odległości (Wang i in., 2022).

Większość organizmów w Oceanie Południowym to gatunki endemiczne o unikalnych cechach ekofizjologicznych wynikających z długiej historii ewolucyjnej w izolacji w trudnych antarktycznych warunkach. Sprawia to niestety, iż organizmy te są dużo bardziej wrażliwe na toksyczne oddziaływanie zanieczyszczeń (Bargagli, 2008).

Antarktyczna sieć pokarmowa (Ryc. 1) jest stosunkowo prosta w porównaniu z ekosystemami w innych częściach świata (Nygård i in., 2001). Bazuje ona na krylu *Euphausia superba*, który jako gatunek kluczowy jest ważnym łącznikiem



Ryc. 1. Sieć troficzna Antarktyki [1]

troficznym w rejonie Oceanu Południowego, w tym będąc źródłem pożywienia drapieżników - wielorybów, fok i pingwinów (Wang i in., 2020).

Metale ciężkie w środowisku Antarktyki

Obecność metali ciężkich w ekosystemie antarktycznym może mieć podłoże naturalne, wynikające z procesów geochemicznych zachodzących w tym środowisku. Jednakże w ciągu ostatnich kilku dekad wzrasta również w tym rejonie ilość zanieczyszczeń antropogenicznych będących także źródłem związków toksycznych (Jerez, 2012). Stanowi to poważnie zagrożenie dla całego ekosystemu antarktycznego (Wang i Zhu, 2022). Pierwiastki śladowe występujące w ekosystemach morskich dzielimy na te, które są niezbędne dla funkcjonowania organizmów oraz te mniej istotne, a nawet stwarzające potencjalne zagrożenie dla nich. Wśród niezbędnych pierwiastków znajdują się chrom (Cr), miedź (Cu), kobalt (Co), żelazo (Fe), mangan (Mn), nikiel (Ni), selen (Se), cyna (Sn), wanad (V) i cynk (Zn) (Walker i in., 2002). Są one kluczowe w życiu organizmów, a co za tym idzie naturalnie występują w ich tkankach. Jednakże, w sytuacji gdy normy stężeń fizjologicznych tych pierwiastków zostaną przekroczone mogą mieć one

działanie toksyczne. „Mniej istotne” dla funkcjonowania organizmu pierwiastki śladowe obejmują arsen (As), kadm (Cd), rtęć (Hg) oraz ołów (Pb) (Walker i in., 2002). Te są tolerowane przez organizmy żywe na bardzo niskich poziomach, a ich bioakumulacja jest wysoce szkodliwa (Walker i in., 2002, Squadrone i in., 2018). Organizm, aby uchronić się przed negatywnym wpływem metali ciężkich wbudowuje je w białka, odkłada w granulach międzykomórkowych lub próbuje wydalzić (Walker i in., 2002). Akumulacja metali ciężkich w żywych organizmach ma wiele negatywnych skutków, takie jak zaburzenia wzrostu, rozmnażania, deformacje jaj, redukcje pazurów, nieprawidłowe formowanie kości, zahamowanie metabolizmu, a w ciężkich przypadkach śmierć organizmu (Burger i Gochfeld, 2000, Squadrone i in., 2018).

Rejestrowanie wartości stężeń metali ciężkich jest szeroko stosowane jako miara skażenia antropogenicznego, ze względu na ich powiązanie z działalnością człowieka oraz ich stabilność i trwałość w środowisku (Qibin i in., 2020). Antarktyka długo była nietknięta zanieczyszczeniami antropogenicznymi, lecz niestety nawet tam człowiek odcisnął swoje piętno (Nygård i in., 2001, Gray i in., 2008). Na początku XX wieku ludzie zaczęli eksplorować ten obszar, początkowo dla zysków z wielorybnictwa i rybactwa. W ciągu ostatnich 50 lat rozwój badań antarktycznych, turystyka i działalność rybacka spowodowały gwałtowny wzrost obecności człowieka w rejonie Antarktyki (Bargagli, 2008), która niesie za sobą zanieczyszczenia związane z rozwojem przemysłu, transportem i zrzućciem ścieków (Bargagli, 2008, Espejo i in., 2014). Co więcej, istnieją dowody wskazujące na to, że metale mogą być transportowane drogą powietrzną i wodną, a co za tym idzie zanieczyszczenia „produkowane” w rejonach zurbanizowanych mogą wpływać na najodleglejsze rejony

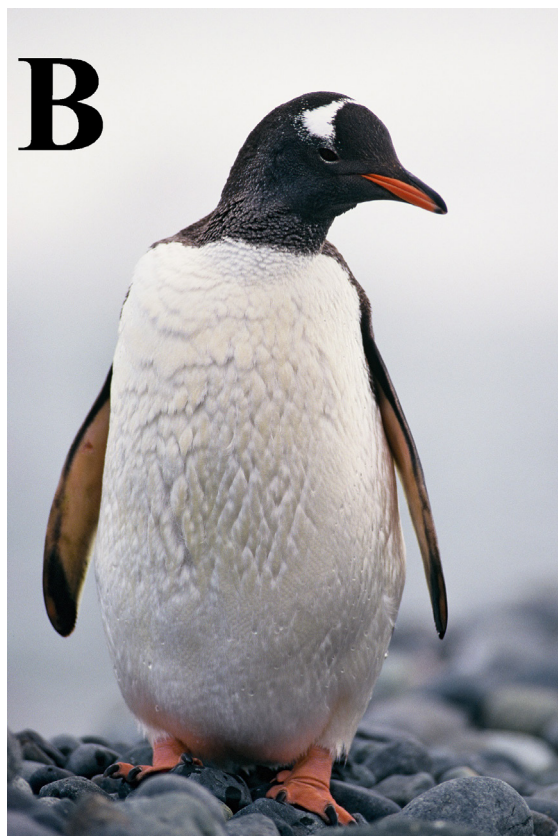
ziemi (Smichowski, 2006). Migrujące gatunki ptaków i ssaków morskich mogą także przyczynić się do przenoszenia zanieczyszczeń z bardziej uprzemysłowionej północy na południe (Bargagli, 2008).

Zanieczyszczenia, w tym metalami ciężkimi, mają zdolność "wędrowania" wzdłuż łańcucha troficznego, bioakumulując się na kolejnych jego ogniwach. Zwierzęta, poprzez swoje role w łańcuchu pokarmowym pełnią funkcję przenośnika dla różnych zanieczyszczeń, które są powiązane z działalnością człowieka (Qibin i in., 2020). Nygård i in. (2001) wykazali korelację między stężeniem metali w tkankach kryla a ich stężeniem w tkankach odżywiających się nim antarktycznych ptaków. Squadrone i in., (2019) obserwowali zaś, iż zanieczyszczenia Al, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Sn, Zn były wyższe w zbadanych piórach pingwinów Humbolta niż w tkankach ryb, którymi owe ptaki były karmione. Badania te są dowodem na bioakumulację metali ciężkich w antarktycznych łańcuchach troficznych. Co więcej, ze względu na ich zdolność do biomagnifikacji są one niezwykle niebezpieczne, szczególnie dla czołowych drapieżników. Ich stężenia zwiększają się wraz ze wzrostem poziomu troficznego, a wraz ze stężeniem ich toksyczność (Hammel, 2014).

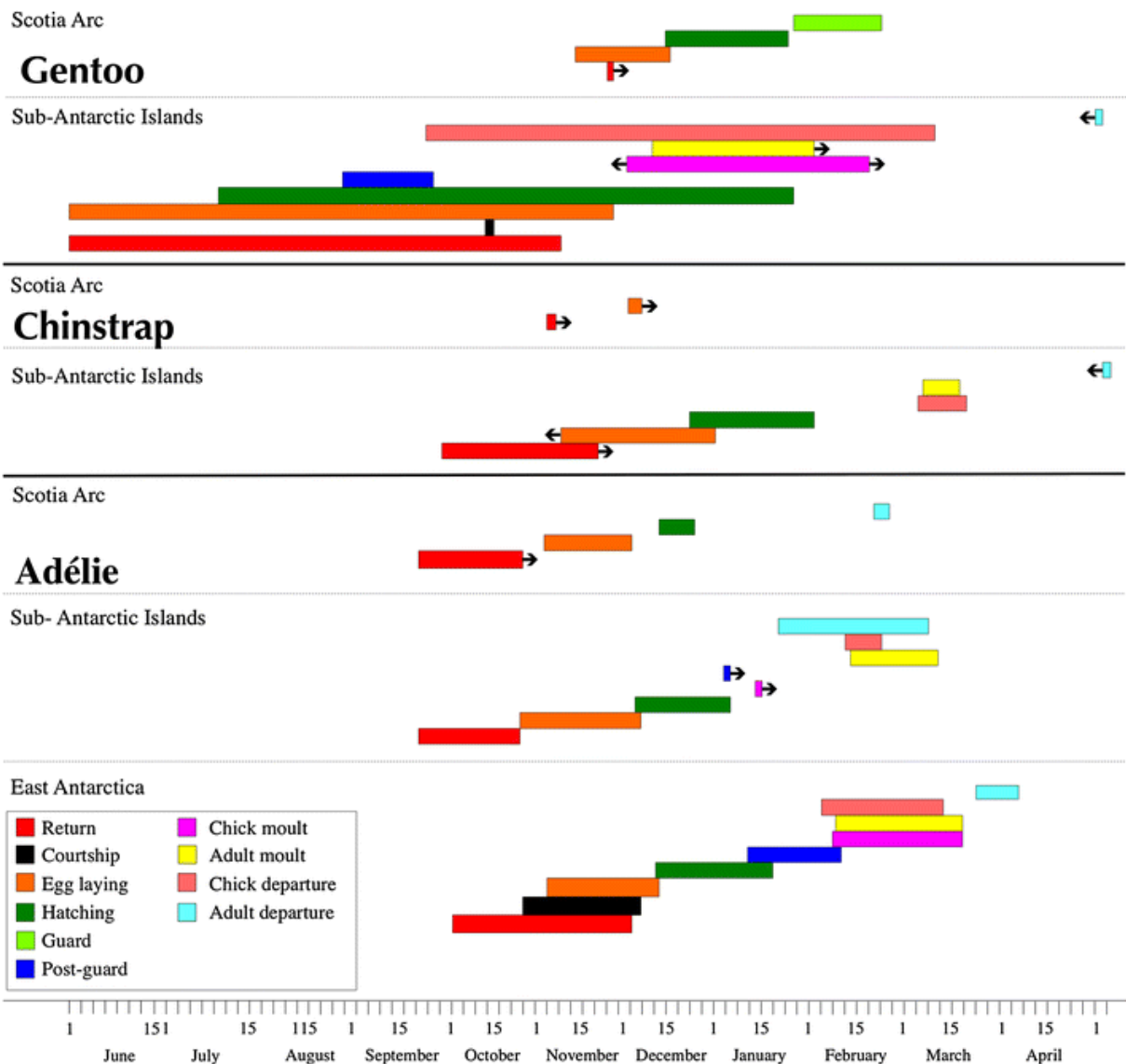
Pingwiny *Pygoscelis* jako wektory zanieczyszczeń metalami ciężkimi

Do rzędu *Pygoscelis* zaliczamy trzy gatunki pingwinów: pingwina białookiego *Pygoscelis adeliae* (Ryc. 2A), pingwina białobrewego *Pygoscelis papua* (Ryc. 2B) oraz pingwina maskowego *Pygoscelis antarcticus* (Ryc. 2C) [2].

Przedstawiciele tychże trzech gatunków zasiedlają zarówno rejony antarktyczne, jak i subantarktyczne (Black, 2016). Pingwiny białobrewe zostają cały rok w okolicy swojej kolonii, pozostałe gatunki opuszczają zaś miejsca lęgu i żerują na morzu przez parę miesięcy [3].



Ryc. 2. A - Pingwin białooki *Pygoscelis adeliae* [4], B - Pingwin białobrewy *Pygoscelis papua* [5], C - Pingwin maskowy *Pygoscelis antarcticus* [6]



Ryc. 4. Wykres Gannta przedstawiający różnice w okresach życia pingwinów z rzędu *Pygoscelis* na osi czasu, (Black, 2016)

Poszczególne gatunki *Pygoscelis* różnią się między sobą także okresem składania i wysiadywania jaj (Ryc. 4) (Black, 2016).

Ze względu na swój tryb życia, pingwiny są stale narażone na negatywny wpływ zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich. Są czołowymi drapieżnikami oraz żyją stosunkowo długo, przez co w ich organizmach zachodzi jednocześnie bioakumulacja, jak i biomagnifikacja zanieczyszczeń (Jerez, 2012). Najwięcej metali ciężkich pingwiny pobierają wraz z trawionym pożywieniem, w tym dla przykładu badania Squadrone i in. (2018) wykazały, iż stężenie Me w tkankach pingwinów można powiązać ze stężeniem

tych związków w tkankach zjadanych przez nich organizmów. W diecie pingwinów antarktycznych dominuje kryl (Flores i in., 2012) oraz ryby z rodziny świetlikowatych (Niemandt i in., 2016). Yamamoto i in. (1987) w oparciu o wyniki prowadzonych badań wykazali bioakumulację metali ciężkich w tkankach kryla. Należy jednak podkreślić, że gdy porównamy wyniki sprzed ponad 20 lat z najnowszą literaturą, stężenie Me w tkankach kryla wzrosło nawet kilkukrotnie (Wang i Zhu, 2022). Pierwiastki te są odkładane w tkankach pingwinów, a w szczególności w wątrobie, nerkach, mięśniach, kościach oraz piórach (Tab. 1) (Jerez 2012, Smichowski 2006).

Tabela 1. Stężenia poszczególnych metali ($\mu\text{g g}^{-1}$) w tkankach pingwinów z rodzaju *Pygoscelis*; próbki pobrano od przedstawicieli gatunków: ^{1,2} Pingwin białobrewy (*Pygoscelis papua*), ³Pingwin maskowy (*Pygoscelis antarcticus*) ^{4,5} Pingwin Adeli (*Pygoscelis adeliae*), (²Metchaeva i in., 2006, ⁴Smichowski i in., 2006, ⁵Jerez i in., 2012, ¹Merchaeva i in., 2012, ³Espejo i in., 2014)

Metal	Pióra		Odchody	Mięśnie		Wątroba	Nerki		Skorupki jaj
As	0,69 ¹	0,88 ²	0,33 ³	-	0,37 ⁵	-	-		<0,3 ¹
Cd	0,41 ¹	0,21 ²	2,51 ³	-	1,09 ⁵	-	-		<0,05 ¹
Cu	17 ¹	17 ²	199,95 ³	6,4 ⁴	7,43 ⁵	18 ⁴	1,6 ⁴	10,74 ⁵	1,24 ¹
Mn	1,7 ¹		1,5 ²	-		1,5 ⁴	0,63 ⁵		-
Se	-		3,1 ⁴	12,65 ⁵	8,4 ⁴	8,3 ⁴	3,78 ⁵		0,82 ¹
Pb	1.52 ¹		1,7 ²	2,89 ³	-	0,0008 ⁵	19,3 ⁵		-
Al	37 ¹	40 ²	-	3,27 ⁵	4,19 ⁵	0,74 ⁵	0,0008 ⁵		0,68 ¹
Cr	0,17 ¹	-	-	0,38 ⁵		0,26 ⁵	0,21 ⁵		28,96 ¹
Fe	47 ¹	56 ²	-	423,43 ⁵		2040,44 ⁵	531,94 ⁵		0,08 ¹
Ni	<0,05 ¹	0,84 ²	-	0,02 ⁵		0,01 ⁵	0,0004 ⁵		13,95 ¹
Zn	92 ¹	106 ²	379,9 ³	149,95 ⁵		136,30 ⁵	163,71 ⁵		<0,05 ¹

Wszystkie wyżej wymienione badania wykazały, iż stężenie metali w tkankach pingwinów jest wyższa niż ta wynikająca z naturalnej fizjologii tych zwierząt, co ma negatywny wpływ na ich zdrowie.

Ptaki mogą eliminować metale ciężkie z organizmu przez ekskrementy, rzucanie piór i składanie jaj (Mercheva i in., 2012). Ze względu na fizjologiczne mechanizmy samooczyszczania organizmu oraz mechanizmy homeostatyczne modulujące zawartość niektórych pierwiastków w organizmie, w większości przypadków odchody charakteryzują się najwyższą zawartością badanych pierwiastków (Yin i in., 2008, Merchaeva i in., 2012). Kolejnym efektywnym sposobem oczyszczania organizmu jest rzucanie piór - mają one mostki dwusiarczkowe w swoim białku strukturalnym - keratynie, do której wiele metali ciężkich ma wysokie powinowactwo (Metcheva i in., 2006, Squadrone, 2019). Podczas wzrostu (trwającego około 2-3 tygodni) pióra są perfundowane z naczyń krwionośnych, a metale zostają wbudowane do struktur keratynowych piór (Squadrone i in., 2018). W czasie corocznej zmiany opierzenia, pingwiny zrzucają zanieczyszczone metalami pióra dzięki czemu częściowo są w stanie pozbyć się zanieczyszczenia z organizmu (Metcheva i in., 2006, Squadrone, 2019). Co za tym idzie, można założyć, iż ilość metali zbadanych w piórach odzwierciedla 2-3 tygodniową akumulację metali w tkankach pingwinów (Mercheva i in., 2012).

Podsumowanie

Ekosystem Antarktyki jest wyjątkowy pod wieloma względami. Przez lata obszar ten był niedostępny dla ludzi. Organizmy tam żyjące wykształciły niezwykle przystosowania do życia w trudnych warunkach. Niestety, przez wzrastające zainteresowanie tym rejonem - zarówno badaczy jak i turystów, idące w parze z rozwojem techniki umożliwiającej eks-

plorację tego trudnego terenu, a także prądy morskie i zwierzęta migrujące niosące zanieczyszczenia z zurbanizowanych terenów na wiele tysięcy kilometrów, Antarktyka nie jest już tak nieskazitelnie „czystym” miejscem za które jest uważana. Przeprowadzane dotychczas badania dowodzą, że stężenia metali ciężkich w tkankach wielu organizmów jest wyższe niż te wykryte w środowisku ich życia. Rezultaty analiz prowadzonych przez wielu badaczy potwierdzają także zachodzenie zjawisk takich jak biomagnifikacja i bioakumulacja zanieczyszczeń w tkankach zwierząt zasiedlających omawiany rejon. Powyższe dywagacje skupiały się jedynie na pingwinach z rodzaju *Pygoscelis*, lecz nie tylko pingwiny są bezpośrednio narażone na bioakumulację i toksyczne działanie zanieczyszczeń. Badania nad zanieczyszczeniem tkanek innych gatunki antarktycznych ptaków, takich jak petrele antarktyczne (*Thalassoica antarctica*) czy też wydryki antarktyczne (*Stercorarius maccormicki*) także dają niepokojące wyniki (Tab. 2) (Nygård i in., 2001). Są to gatunki migrujące, wybierające na żer miejsca dużo silniej zurbanizowane niż Antarktyka, a co za tym idzie są jeszcze silniej narażone na bioakumulację zanieczyszczeń (Bargagli, 2008).

Obecność metali pochodzenia antropogenicznego obserwuje się również w organizmach ssaków morskich, które rozmnażają się lub żerują w Antarktyce w okresie letnim, po czym w zależności od gatunku spędzają resztę roku w tych wodach lub migrują na północ (Corsolini, 2009). Głównym źródłem pierwiastków śladowych u ssaków morskich jest ich dieta (Grey i in., 2008, Lehnert i in., 2017), która u wielu z nich, tak samo jak w przypadku pingwinów jest oparta na antarktycznym krylu (Nygård i in., 2001, Bargagli, 2008). Jako szczytowi drapieżcy w łańcuchu troficznym, są one szczególnie narażone na toksyczne skutki bioakumulacji zanieczyszczeń (Hammel,

Tabela 2. Stężenia metali ($\mu\text{g g}^{-1}$ suchej masy) w tkankach dorosłych osobników gatunków: petrel antarktyczny i wydrzyk polarny, (Nygård i in., 2001)

Metal	Petrel Antarktyczny				Wydrzyk Antarktyczny		
	Mięśnie	Nerki	Wątroba	Zawartość żołądka	Mięśnie	Nerki	Wątroba
Cd	2	61,8	10,2	10,2	0,441	68,3	10
Hg	0,45	1,2	2	2	1,01	3,83	5,08
Cu	23,6	20,1	21	21	19,3	10,9	10,8
Zn	52,9	131,1	104,9	104,9	50,9	105,5	66
Se	10,2	78,5	38,9	38,9	13,4	136	95,5

2014). Odkładają je w wątrobie, nerkach, kościach oraz włosach (Grey i in., 2008). Ekspozycja na zanieczyszczenia ma negatywny wpływ na fizjologię ssaków morskich (Lehnert i in., 2017), zaburza ich metabolizm oraz rozmnażanie (O'Shea i Brownell, 1994).

Podsumowując, efekty toksyczne akumulacji metali ciężkich mogą być szczególnie dotkliwe dla wszystkich antarktycznych organizmów, które choć wykształciły mechanizmy przystosowawcze do niezwykle trudnych warunków środowiska, gorzej radzą sobie ze skutkami działalności człowieka. Co więcej, wiedza w tym temacie nadal jest bardzo ograniczona. Dostępne dane bardzo często są sprzed lat, a biorąc pod uwagę szybkość zmian zachodzących w ekosystemach morskich i wzrost antarktycznej działalności człowieka w ostatniej dekadzie, mogą być już nieaktualne. Istnieje zatem ciągła potrzeba intensyfikacji dalszych badań w tym zakresie.

Literatura:

Bargagli, R., 2008. Environmental contamination in Antarctic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 400(1-3), 212-226.
Black, C. E., 2016. A comprehensive

review of the phenology of *Pygoscelis* penguins. *Polar Biology*, 39(3), 405-432.
Burger, J., 1993. Metals in avian feathers: bioindicator of environmental pollution. *Rev Environ Toxicol* 5:203-311.
Corsolini, S., 2009. Industrial contaminants in Antarctic biota. *Journal of Chromatography A*, 1216(3), 598-612.
Espejo, W., Celis, J. E., González-Acuña, D., Jara, S. Barra, R., 2014. Concentration of trace metals in excrements of two species of penguins from different locations of the Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, 37(5), 675-683.
Flores, H., Atkinson, A., Kawaguchi, S., Krafft, B. A., Milinevsky, G., Nicol, S., Reiss, C., Tarling, G. A., Werner, R., Bravo Rebolledo, E., Cirelli, V., Cuzin-Roudy, J., Fielding, S., Groeneveld, J. J., Haraldsson, M., Lombana, A., Marschoff, E., Meyer, B., Pakhomov, E. Werner, T., 2012. Impact of climate change on Antarctic krill. *Marine Ecology Progress Series*, 458, 1-19
Gray, R., Canfield, P., Rogers, T., 2008. Trace element analysis in the serum and hair of Antarctic leopard seal, *Hydrurga leptonyx*, and Weddell seal, *Leptonychotes weddellii*. *Science of*

- the Total Environment*, 399(1-3), 202-215.
- Hamel, S., 2014. *Heavy metal concentrations in feathers of the Adélie Penguin and the South-Polar Skua from Cape Royds, Ross Island.*
- Hong, S., Boutron, C. F., Edwards, R., Morgan, V. I., 1998. Heavy Metals in Antarctic Ice from Law Dome: Initial Results. *Environmental Research*, 78(2), 94-103.
- Jerez S., Motas M., Benzal J., Diaz J., Vidal V., D'Amico V., Barbosa A., 2013. Distribution of metals and trace elements in adult and juvenile penguins from the Antarctic Peninsula area. *Environ Sci Pollut Res Int.*;20(5):3300-11.
- Lehnert, K., Weirup, L., Harding, K. C., Härkönen, T., Karlsson, O., Teilmann, J., 2017. Antarctic seals: Molecular biomarkers as indicators for pollutant exposure, health effects and diet. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1693-1704.
- Metcheva R., Yurukova L., Teodorova S., Nikolova E., 2006. The penguin feathers as bioindicator of Antarctica environmental state. *Sci Total Environ.*;362(1-3):259-65.
- Metcheva, R., Yurukova, L., Teodorova, S. E., 2011. Biogenic and toxic elements in feathers, eggs, and excreta of Gentoo penguin (*Pygoscelis papua ellsworthii*) in the Antarctic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1-4), 571-585.
- Niemandt, C., Kovacs, K., Lydersen, C., Dyer, B., Isaksen, K., Hofmeyr, G., . . . De Bruyn, P., 2016. Chinstrap and macaroni penguin diet and demography at Nyrøysa, Bouvetøya. *Antarctic Science*, 28(2), 91-100.
- Nygård, T., Lie, E., Rov, N., Steinnes, E., 2001. Metal dynamics in an Antarctic food chain. *Marine Pollution Bulletin*, 42(7), 598-602.
- O'Shea, T. J., Brownell, R. L., 1994. Organochlorine and metal contaminants in baleen whales: a review and evaluation of conservation implications. *Science of the Total Environment*, The, 154(2-3), 179-200.
- Qibin, X., Zhuding, C., Yuesong, G., Yanjun, M., Zhongkang, Y., Yikang, H., Lianjiao, Y., Zhouqing, X. Liguang, S., 2020. Levels, sources and influence mechanisms of heavy metal contamination in topsoils in Mirror Peninsula, East Antarctica. *Environmental Pollution*, 257, 113552.
- Smichowski, P., Vodopivec, C., Munõz-Olivas, R., Gutierrez, A. 2006. Monitoring trace elements in selected organs of Antarctic penguin (*Pygoscelis adeliae*) by plasma-based techniques. *Microchem J* 82:1-7
- Squadrone, S., Abete, MC., Brizio, P., Pessani, D., Favaro, L., 2018. Metals in Feathers of African Penguins (*Spheniscus demersus*): Considerations for the Welfare and Management of Seabirds Under Human Care. *Bull Environ Contam Toxicol.*;100(4):465-471.
- Squadrone, S., Brizio, P., Favaro, L., Todino, G., Florio, D., Da Rugna, C., Abete, M.C., 2019. Humboldt penguins' feathers as bioindicators of metal exposure. *Sci Total Environ.*;650 (Pt 2):1734-1739.
- Walker, C.H, Hopkin, S.P., Sibly R.M. Peakall D.B., 2002. *Podstawy ekotoksykologii*. Wydawnictwo Naukowe PWN
- Wang, D., Zhu, G., 2022. Antarctic krill (*Euphausia superba*) as a bioindicator of trace elements reflects regional heterogeneity in marine environments in the northern Antarctic Peninsula, Antarctic. *Ecological Indicators*, 136, 108596.
- Wang, W., Ji, X., Abakumov, E., Polyakov, V., Li, G., Wang, D., 2022. Assessing Sources and Distribution of Heavy Metals in Environmental Media of

the Tibetan Plateau: A Critical Review. *Frontiers in Environmental Science*, 10 (April), 1–15.

Yamamoto Y., Honda K. Tatsukawa R., 1987. Heavy Metal Accumulation in Antarctic Krill, *Euphasia superba*. Proc. NIPR Symp. Polar Biol., 1, 198-204, 1987

Yin X., Xia, L., Sun, L., Luo, H., Wang, Y., 2008. Animal excrement: A potential biomonitor of heavy metal contamination in the marine environment. *Science of the Total Environment*, 399(1–3), 179–185.

[1] - underseaice.weebly.com/food-web.html (dostęp: 15.03.2022)

[2] - listaptakow.eko.uj.edu.pl/nonpasserines2.html#Spheniscidae (dostęp: 1.03.2022)

[3] - https://web.archive.org/web/20100501202914/http://www.pinguins.info/Engels/Pygoscelis_eng.html (dostęp: 1.03.2022)

[4] - observation.org/species/73562/ (dostęp: 31.05.2022)

[5] - grida.no/resources/3186 (dostęp: 31.05.2022)

[6] - observation.org/photos/8832346/ (dostęp: 31.05.2022)

Notka o Autorce

Kinga Hoszek jest absolwentką studiów II stopnia na kierunku Oceanografia, rozwija swoje zainteresowania kontynuując kształcenie w szkole doktorskiej. Jej wielką pasją są podróże, ale przede wszystkim morza i oceany – badania, jak również ich ochrona.