

Mikroplastiki – czy są dla nas szkodliwe?

Microplastics – are they harmful to humans?

Aleksandra Bogdanowicz *)

Słowa kluczowe: mikroplastiki, zanieczyszczenie mikroplastikiem, mikroplastiki w środowisku wodnym.

Streszczenie

Mikroplastiki stanowią zanieczyszczenie o charakterze globalnym, o czym świadczy ich obecność w różnych ekosystemach (m.in. w wodzie, glebie, powietrzu). Co więcej, mogą być one transportowane w środowisku na duże odległości, docierając tym samym do bardzo odległych i odludnych miejsc. Zanieczyszczenie produktów przeznaczonych do spożycia oraz atmosfery mikroplastikami powoduje, że człowiek jest narażony na ich spożycie i wdychanie, jednakże możliwe konsekwencje zdrowotne z tym związane nie są znane. W niniejszym artykule zestawiono najważniejsze informacje na temat występowania mikrodrobin plastiku w środowisku wodnym, powietrzu, jak również produktach żywnościowych. Ponadto przedstawiony został aktualny stan wiedzy na temat wpływu mikroplastików na człowieka w oparciu o dostępne dane literaturowe.

Keywords: microplastics, microplastic pollution, microplastics in the aquatic environment.

Abstract

Microplastic pollution is global, as evidenced by their presence in various ecosystems (including water, soil, air). What's more, they can be transported in the environment over long distances, thus reaching very remote and desolate areas. Contamination of food products and the atmosphere with microplastics means that people are exposed to the consumption and inhalation of these micro-pollutants, however, the possible health consequences are unknown. This article summarises the most important information on the occurrence of microplastics in the aquatic environment, air and food. Furthermore, the current state of knowledge on the effects of microplastics on humans is presented based on available literature data.

1. Wstęp

Mikroplastiki to cząstki tworzyw sztucznych, których najdłuższy wymiar – zgodnie z powszechnie akceptowaną definicją – mieści się w zakresie od 1 do 5000 μm [6,22]. Biorąc pod uwagę pochodzenie tych mikrozanieczyszczeń, można je podzielić na dwie kategorie, tj. pierwotne i wtórne. Do pierwszej grupy zaliczają się cząstki, które ze względu na swoje zastosowanie, zostały celowo wyprodukowane w tak niewielkim rozmiarze. Wśród nich można wymienić granulki stosowane w kosmetykach (takich jak peelingi lub pasty do zębów), składniki substancji powłokotwórczych czy granulaty tworzyw sztucznych wykorzystywane w przetwórstwie [3,7]. Z kolei mikroplastiki wtórne są wynikiem fragmentacji większych plastikowych odpadów, w szczególności takich jak butelki i torby foliowe, wystawionych na działanie różnych czynników, zarówno atmosferycznych, jak i mechanicznych [6,7]. Przeprowadzone dotychczas pomiary zawartości tych mikrozanieczyszczeń w środowisku potwierdzają ich obecność (w szerokich zakresach stężeń) w wodzie, powietrzu, glebie i osadach, a także w organizmach żywych [6]. Jak się okazuje, woda uzdatniona oraz produkty żywnościowe również mogą być skażone mikrodrobinami plastiku, a co za tym idzie – stanowić źródło ich przedostawania się do wnętrza organizmu ludzkiego [20]. Nie budzi zatem zdziwienia, że zanieczyszczenie środowiska mikroplastikami, a także ich wpływ na organizmy żywe to tematy cieszące się rosnącym zainteresowaniem i zarazem wywołujące coraz większy niepokój wśród społeczeństwa.

2. Występowanie mikroplastików w środowisku wodnym

Mikroplastiki mogą przedostawać się do ekosystemów wodnych na wiele różnych sposobów: pośrednio, tj. przy udziale ścieków pochodzących zarówno z gospodarstw domowych, jak i przemysłu, wraz ze splotami powierzchniowymi, na skutek depozycji atmosferycznej, lub bezpośrednio – w wyniku degradacji odpadów z tworzyw sztucznych obecnych w wodzie [21].

W zależności od położenia geograficznego, obserwuje się dużą różnorodność w zakresie zanieczyszczenia środowiska wodnego mikrodrobinami plastiku pod względem ich kształtów, rozmiarów, budowy chemicznej, a przede wszystkim stężeń (tab. 1) [4,8]. Istotny wpływ na liczebność, rozmieszczenie i rodzaj cząstek tworzyw sztucznych mają czynniki antropogeniczne, w tym natężenie ruchu morskiego, rybołówstwo, jak również turystyka. Wynika stąd, że najbardziej zaludnione obszary świata, takie jak Chiny czy Indie, charakteryzujące się silnie rozwiniętą działalnością gospodarczą człowieka, są w szczególnym stopniu narażone na zanieczyszczenie mikroplastikami [8]. Ponadto bardzo ważną rolę w rozprzestrzenianiu się tych mikrozanieczyszczeń odgrywają także czynniki środowiskowe, takie jak prądy morskie lub cyklony. Świadczą o tym wyniki badań potwierdzające obecność mikroplastików nawet w najbardziej odległych i najgłębszych miejscach na Ziemi – w dwóch skrajnych obszarach kuli ziemskiej, tj. w Arktyce i na Antarktydzie, oraz w Rowie Mariańskim, stanowiącym największy znany rów oceaniczny

*) Aleksandra Bogdanowicz – Politechnika Warszawska, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, ul. Nowowiejska 20, 00-653 Warszawa, e-mail: aleksandra.bogdanowicz.dokt@pw.edu.pl

[8,14,18]. Stosunkowo niewiele wiadomo na temat występowania mikrodrobin plastiku w Polsce, jednakże w ciągu ostatnich lat pojawiły się pierwsze publikacje, informujące o zanieczyszczeniu nimi kilku polskich rzek. Mikroplastiki zostały wykryte w Wiśle, a także w dwóch mniejszych ciekach – rzece Słupi i Łupawie [15,20].

Tabela 1. Zawartość mikroplastików w wybranych ekosystemach morskich i słodkowodnych [8,14,18,20]

Table 1. Abundance of microplastics in selected marine and freshwater ecosystems [8,14,18,20]

Lokalizacja	Stężenie mikroplastików
Chiny, ujście rzeki Jangcy	4137,3(±2461,5) szt./m ³
Chiny, Zapora Trzech Przełomów	1597–12611 szt./m ³
Indie, Zatoka Bengalska	do 20000 szt./km ²
Turcja, Zatoka Iskenderun	0,2254 szt./m ²
Wielka Brytania, rzeka Itchen	1155 szt./m ³
Włochy, jezioro Bolsena	0,82–4,42 szt./m ³
Morze Śródziemne, Zatoka Calvi	0,062 szt./m ²
Arktyka, Morze Beauforta	37,3(±6,9) szt./m ³
Antarktyda, Morze Rossa	0,0032–1,18 szt./m ³
Ocean Spokojny, Rów Mariański (strefa hadalna)	2,06–13,51 szt./l
Polska, rzeka Wisła	1,6–2,55 szt./l

Obecne w ekosystemach wodnych cząstki tworzyw sztucznych mogą być zawieszane w słupie wody na różnych wysokościach lub też ulegać akumulacji w osadach dennych. Są one zatem łatwo dostępne do spożycia przez organizmy wodne [22]. Przeprowadzone w tym zakresie badania wykazały, że mikroplastiki są połykane przez różne rodzaje organizmów, reprezentujące różne poziomy troficzne, w tym ssaki morskie, ptaki, ryby, a także bezkręgowce (m.in. małże, strzykwy i wąsonogi) (tab. 2) [7]. W ten sposób mikrodrobiny plastiku przedostają się do łańcucha pokarmowego, stwarzając potencjalne zagrożenie dla ludzi spożywających produkty pochodzące z zanieczyszczonych ekosystemów wodnych (np. owoce morza) [23].

Tabela 2. Spożycie mikroplastików na przykładzie wybranych organizmów wodnych [17]

Table 2. Abundance of microplastics in selected aquatic organisms [17]

Lokalizacja	Organizm	Stężenie mikroplastików [szt./osobnik]
Morze Jońskie	ryby z gatunku <i>P. violacea</i> , <i>G. melastomus</i> , <i>S. blainville</i> , <i>E. spinax</i> , <i>P. bogaraveo</i>	1,3
Morze Adriatyckie, Włochy	ryby z rodziny mugilowatych	1–1,78
Ocean Atlantycki, Francja	małże z gatunku <i>Crassostrea gigas</i>	2,10(±1,71)
	małże z gatunku <i>Mytilus edulis</i>	0,61(±0,56)
Morze Śródziemne	ryby z gatunku <i>Xiphias gladius</i> , <i>Thunnus thynnus</i> , <i>Thunnus alalung</i>	4–16
Ocean Spokojny, Stany Zjednoczone, Waszyngton	ptaki morskie z gatunku <i>Fulmarus glacialis</i>	13,3
	ptaki morskie z gatunku <i>Ardena grisea</i>	19,5

3. Mikroplastiki w wodzie uzdatnionej

Jak pokazują wyniki badań przeprowadzonych w zakładach zaopatrzenia w wodę, stosowane procesy uzdatniania nie zawsze są w pełni skuteczne w kwestii usuwania mikroplastików. W konsekwencji obecne są one także w uzdatnionej wodzie, a tym samym trafiają do konsumentów (tab. 3) [23].

Tabela 3. Zawartość mikroplastików w wodzie kranowej na przykładzie wybranych lokalizacji [23]

Table 3. Abundance of microplastics in tap water in selected locations [23]

Lokalizacja	Stężenie mikroplastików [szt./l]
Dania	0
Niemcy	0,9
Szwajcaria	2,7
Słowacja	3,8
Indie	6,2
Kuba	7,2
Wielka Brytania	7,7
Stany Zjednoczone	9,2

Ponadto należy mieć na uwadze, że niezależnie od efektywności stacji uzdatniania pod względem eliminacji mikroplastików, istnieje także ryzyko wtórnego zanieczyszczenia wody. W przypadku gdy elementy systemu zaopatrzenia w wodę (np. zbiorniki czy przewody wodociągowe) wykonane są z tworzyw sztucznych, może dojść do mechanicznego ścierania materiału w wyniku tarcia wywołanego kontaktem z przepływającą cieczą, skutkującego powstawaniem nowych mikrodrobin plastiku [13].

4. Mikroplastiki w produktach żywnościowych

Woda uzdatniona nie jest jedynym potencjalnym źródłem narażenia ludzi na spożycie mikroplastików. Cząstki tworzyw sztucznych obecne są także w produktach żywnościowych, takich jak sól, miód, mleko, woda butelkowana oraz ryby i owoce morza (tab. 4 i 5) [11,23].

Tabela 4. Zawartość mikroplastików w wodzie butelkowanej [23]

Table 4. Abundance of microplastics in bottled water [23]

Lokalizacja	Stężenie mikroplastików [szt./l]
Indie	0–39
Brazylia	(0,1–1,5) # 102
Chiny	(0,7–1,6) # 102
Tajlandia	4,7 # 102
Niemcy	2,6 # 103
Włochy	5,4 # 107

Tabela 5. Zawartość mikroplastików w wybranych produktach żywnościowych [11]

Table 5. Abundance of microplastics in selected food products [11]

Pochodzenie produktu	Rodzaj produktu	Stężenie mikroplastików
Indie	sól morską	56(±49)–103(±39) szt./kg
Chiny	sól morską	550–681 szt./kg
Turcja	sól morską	16–84 szt./kg
Hiszpania	sól morską	50–280 szt./kg
Stany Zjednoczone	piwo	0–14,3 szt./l
Niemcy	piwo	16–254 szt./l
Meksyk	Mleko	3–11 szt./l
Chiny	nori (wodorosty)	0,9–3,0 szt./g
Kanada, Niemcy, Iran, Japonia, Łotwa, Malesja, Maroko, Polska, Portugalia, Rosja, Szkocja, Tajlandia, Wietnam	sardynki i szproty w puszcze	0–0.75 szt./puszka

Jak można zauważyć, skażenie mikroplastikami dotyczy nie tylko produktów pochodzących ze środowiska wodnego (m.in. ryb i soli morskiej). Badania zrealizowane przez Schymanski i in. [19]

oraz Cella i in. [5] pokazują, że za zanieczyszczenie żywności mikrodrobinami plastiku mogą być w dużym stopniu odpowiedzialne opakowania wykonane z tworzyw sztucznych, takie jak plastikowe butelki, torebki na herbatę czy woreczki do lodu.

5. Mikroplastiki w powietrzu

Powietrze stanowi rezerwuár różnego rodzaju zanieczyszczeń, i jak się okazuje, w tym także mikroplastików. Występują one zarówno na obszarach zurbanizowanych, jak i tych słabo zaludnionych (tab. 6) [2]. Wyniki pomiarów wykonanych przez zespół francuskich i szkockich naukowców na stacji meteorologicznej Bernadouze, zlokalizowanej w Pirenejach, świadczą o tym, że nawet tak oddalone od cywilizacji miejsca nie są wolne od zanieczyszczenia mikrodrobinami plastiku [1]. Oznacza to, że w wyniku transportu atmosferycznego obecne w powietrzu cząstki tworzyw sztucznych są w stanie przemieszczać się na duże dystanse, docierając tym samym do bardzo odległych i niezamieszkałych obszarów [1,2].

Co ważne, narażenie człowieka na mikroplastiki znajdujące się w powietrzu, w przeciwieństwie do innych części środowiska, ma charakter ciągły i bezpośredni. W związku z tym niezwykle ważne jest określenie, jak duże zagrożenie dla zdrowia stwarza regularne wdychanie tych mikrozanieczyszczeń [2].

Tabela 6. Występowanie mikroplastików w atmosferze na przykładzie wybranych lokalizacji [2]

Table 6. Abundance of microplastics in the atmosphere at selected locations [2]

Lokalizacja	Stężenie mikroplastików
Iran, Hrabstwo Asaluyeh	0,3–1,1 szt./m ³
Chiny, Szanghaj	4,18 szt./m ³
Chiny, Yantai	115–602 szt./m ² · d
Niemcy, Hamburg	136–512 szt./m ² · d
Francja, Paryż	118 szt./m ² · d
Indonezja, Surabaja	132,75–174,97 szt./m ³
Pireneje, Francja, stacja meteorologiczna Bernadouze	44–249 szt./m ² · d

6. Wpływ mikroplastików na ludzi

Wszegobecność mikrodrobin plastiku w wodzie, powietrzu i produktach żywnościowych powoduje, że regularna ekspozycja ludzi na ten rodzaj zanieczyszczenia jest nieunikniona. Biorąc to pod uwagę, można wskazać trzy drogi narażenia człowieka na mikroplastiki, tj. poprzez spożycie, wdychanie, jak również kontakt ze skórą [16].

Negatywny wpływ na organizmy żywe wystawione na działanie mikrodrobin plastiku można podzielić na dwie kategorie: skutki fizyczne i chemiczne. Pierwsza z nich związana jest właściwościami fizycznymi cząstek, takimi jak wielkość lub kształt, jak również z ich stężeniem. Z kolei druga kategoria odnosi się do substancji chemicznych, wchodzących w skład tworzyw sztucznych (np. monomery, dodatki modyfikujące) oraz zanieczyszczeń adsorbowanych na powierzchni cząstek z otaczającego środowiska [4,22]. Dodatki modyfikujące to substancje dodawane podczas produkcji tworzyw sztucznych, w celu poprawy ich właściwości (takich jak odporność mechaniczna i termiczna) oraz zwiększenia wydajności procesów przetwórczych. Zaliczają się do nich m.in. wypełniacze, stabilizatory UV, antyutleniające, opóźniacze palenia oraz plastyfikatory [4]. W przeciwieństwie do monomerów, większość środków modyfikujących nie jest związana chemicznie z polimerem, jednakże w obu przypadkach istnieje możliwość migracji do otoczenia, np. z plastikowego opakowania do znajdującej się w nim żywności [4,21]. Wiele substancji chemicznych, wchodzących w skład tworzyw

sztucznych, wykazuje potencjalną toksyczność wobec organizmów żywych, w związku z czym ich uwalnianie do środowiska może nieść ze sobą negatywne konsekwencje [4]. Zagrożenie stanowią także zanieczyszczenia akumulowane na powierzchni mikroplastików. Hydrofobowy charakter większości tworzyw sztucznych pozwala na adsorpcję hydrofobowych substancji, takich jak trwałe zanieczyszczenia organiczne, do których zaliczają się m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, polichlorowane bifenyle oraz pestycydy chloroorganiczne [21]. Związki te uważane są za niebezpieczne, ponieważ mogą wykazywać działanie toksyczne, mutagenne oraz kancerogenne wobec organizmów żywych, a przy tym charakteryzują się wysoką trwałością w środowisku [6,22].

Wpływ mikroplastików na człowieka będący efektem kontaktu ze skórą jest stosunkowo nowym obszarem badawczym [16]. Do bezpośredniego zetknięcia cząstek tworzyw sztucznych z powłoką ciała ludzkiego może dojść na skutek używania kosmetyków zawierających plastikowe mikrogranulki lub noszenia odzieży syntetycznej [9,16]. Naskórek pełni rolę bariery ochronnej przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi, dlatego też absorpcja mikroplastików przez warstwę rogową jest mało prawdopodobna, aczkolwiek niewykluczone, że w miejscach, gdzie ciągłość tej powłoki nie jest zachowana (takich jak mieszki włosowe, ujścia gruczołów łojowych czy rany), mikrodrobiny plastiku mogą być w stanie przedostać się w głąb skóry [9].

W porównaniu z kontaktem ze skórą pozostałe dwie drogi narażenia człowieka na mikroplastiki, tj. spożycie oraz wdychanie, stanowią znacznie większe zagrożenie dla zdrowia ze względu na wprowadzanie tych mikrozanieczyszczeń bezpośrednio do wnętrza organizmu, tym samym umożliwiając im translokację oraz akumulację w różnych narządach i tkankach [23]. Najnowsze wyniki badań, opublikowane w I kwartale 2022 r., wykazały obecność mikroplastików w ludzkim organizmie, zarówno w układzie oddechowym [10], jak i krwionośnym [12].

Mimo iż układ oddechowy człowieka wyposażony jest w szereg mechanizmów ochronnych przed zanieczyszczeniami, okazuje się, że mikrodrobiny plastiku są w stanie pokonać te bariery i przedostać się do płuc [10,23]. W badaniach przeprowadzonych przez Jenner i in. [10] próbki tkanki płucnej do analizy obecności mikroplastików zostały wyizolowane od pacjentów szpitala Castle Hill Hospital w Wielkiej Brytanii podczas zabiegów chirurgicznych. Jak pokazują uzyskane wyniki, cząstki tworzyw sztucznych były obecne aż w 11 z 13 próbek. Łącznie zidentyfikowano 12 rodzajów polimerów, wśród których dominował PP (polipropylen) oraz PET (poli(tereftalan etylenu)). Co więcej, mikrodrobiny plastiku pojawiły się we wszystkich obszarach płuc, tj. w płacie górnym, środkowym i dolnym [10]. Informacje na temat występowania mikroplastików w płucach pojawiały się już we wcześniejszych latach [10], natomiast obecność tych mikrozanieczyszczeń w ludzkiej krwi, świadcząca o możliwości ich wchłaniania do krwioobiegu, stanowi przełomowe i zarazem bardzo niepokojące odkrycie [12]. Leslie i in. [12] w swoich badaniach przeanalizowali próbki krwi pochodzące od zdrowych, anonimowych dawców. Mikroplastiki zostały wykryte w 17 spośród 22 próbek (77%). Do najczęściej występujących rodzajów polimerów zaliczają się PET, PS (polistyren) oraz PE (polietylen) [12]. Warto zauważyć, że zidentyfikowane rodzaje tworzyw sztucznych, zarówno w przypadku płuc, jak i krwi, to materiały znajdujące szerokie zastosowanie w przedmiotach codziennego użytku: PET – butelki, odzież; PP i PS – opakowania na żywność; PE – torby foliowe [6].

Przytoczone rezultaty badań pokazują, że pochłonięte przez człowieka – w wyniku spożycia lub wdychania – mikroplastiki mogą być obecne w różnych częściach organizmu [10,12]. Szczególnie niepokojący jest fakt, że są one w stanie przenikać do krwioobiegu. Krew pełni wiele bardzo ważnych funkcji w naszym organizmie, m.in. odpowiada za transport tlenu i składników odżywczych do komórek. Biorąc to pod uwagę, niewykluczone, że obecne w niej

mikroplastiki mogą przemieszczać się po całym ciele i docierać do różnych organów, ulegając w nich akumulacji [12]. Konieczne są zatem dalsze badania w tym zakresie, aby określić rzeczywisty stopień narażenia ludzi na ten rodzaj mikrozanieczyszczeń, zrozumieć ich zachowanie w organizmie, a co najważniejsze – poznać wpływ na zdrowie człowieka.

7. Podsumowanie

Żyjemy w czasach, w których większość przedmiotów wykonana jest z tworzyw sztucznych, w związku z czym zanieczyszczenie mikroplastikami jest nieuniknione. Są one obecne w środowisku wodnym, powietrzu, a także żywności, przez co jesteśmy narażeni na ich regularne spożycie oraz wdychanie. Czy zatem mikroplastik nam szkodzi? Na to pytanie wciąż nie ma odpowiedzi. Obecna wiedza na temat toksyczności mikroplastik w odniesieniu do ludzi jest bardzo ograniczona. Niemniej jednak, w obliczu najnowszych doniesień naukowych potwierdzających obecność mikroplastików we krwi, ocena związanego z tym zagrożenia dla zdrowia staje się niezwykle ważną kwestią. ■

LITERATURA

- [1] Allen, S., Allen, D., Phoenix, V. r., Le Roux, G., Jiménez, P. D., Simonneau, A., Galop, D. (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12.
- [2] Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S. i Pillai, S. (2021). Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview. *Frontiers in Microbiology*.
- [3] Boucher, J. i Friot, D. (2017). *Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources*. Switzerland: IUCN.
- [4] Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. i Uricchio, V. F. (2020). A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- [5] Cella, C., La Spina, r., Mehn, D., Fumagalli, F., Ceccone, G., Valsesia, A. i Gilliland, D. (2022). Detecting Micro – and Nanoplastics Released from Food Packaging: Challenges and Analytical Strategies. *Polymers*, 14.
- [6] Crawford, C. B. i Quinn, B. (2017). *Microplastic Pollutants*. Amsterdam: Elsevier.
- [7] GESAMP. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment*.
- [8] Hamid, F. S., Bhatti, M. S., Anuar, N., Anuar, N., Mohan, P. i Periathamby, A. (2018). Worldwide distribution and abundance of microplastic: How dire is the situation? *Waste Management & Research*, 36.
- [9] Hu, M. i Palić, D. (2020). Micro – and nano-plastics activation of oxidative and inflammatory adverse outcome pathways. *Redox Biology*, 37.
- [10] Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, r. T., Cowen, M., Tentzeris, V. i Sadofsky, L. r. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of The Total Environment*, 831.
- [11] Kwon, J.-H., Kim, J.-W., Pham, T. D., Tarafdar, A., Hong, S., Chun, S.-H., . . . Jung, J. (2020). Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17.
- [12] Leslie, H. A., van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J. i Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163.
- [13] Mintenig, S., Löder, M., Primpke, S. i Gerds, G. (2019). Low numbers of microplastics detected in drinking water from ground water sources. *Science of The Total Environment*, 648.
- [14] Peng, X., Chen, M., Chen, S., Dasgupta, S., Xu, H., Ta, K., . . . Bai, S. (2018). Microplastics contaminate the deepest part of the world's ocean. *Geochemical Perspectives Letters*.
- [15] Piskula, P. i Astel, A. M. (2022). Microplastics Occurrence in Two Mountainous Rivers in the Lowland Area—A Case Study of the Central Pomeranian Region, Poland. *Microplastics*, 1.
- [16] Rahman, A., Sarkar, A., Yadav, O. P., Achari, G. i Slobodnik, J. (2021). Potential human health risks due to environmental exposure to microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Science of the Total Environment*, 757.
- [17] Rezaia, S., Park, J., Md Din, M. F., Taib, S. M., Talaiekhozani, A., Yadav, K. K. i Kamyab, H. (2018). Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine Pollution Bulletin*, 133.
- [18] Ross, P., Chastain, S., Vassilenko, E., Etemadifar, A., Zimmermann, S., Quessel, S.-A., . . . Williams, B. (2021). Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs. *Nature Communications*.
- [19] Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. i Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129.
- [20] Sekudewicz, I., Dąbrowska, A. M. i Syczewski, M. D. (2021). Microplastic pollution in surface water and sediments in the urban section of the Vistula River (Poland). *Science of The Total Environment*, 762.
- [21] WHO. (2019). *Microplastics in drinking-water*.
- [22] Zeng, E. (2018). *Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency*. Amsterdam: Elsevier.
- [23] Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. i Shi, H. (2020). A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure. *Environmental Science & Technology*, 54.