

KAMIL A. MAJEWSKI

*Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Inżynierii Środowiska
Profesora Zygmunta Szafrana 15, 65-516 Zielona Góra
E-mail: kam.majewski@gmail.com*

W POSZUKIWANIU BRAKUJĄCEGO OGNIWA CZYLI NOWA PROPOZYCJA DEFINIOWANIA MIKROPLASTIKU

WSTĘP

Uwidocznienie problemu związanego z mikroplastikiem oraz badania nad jego obecnością w środowisku rozpoczęły się na szeroką skalę po roku 2004, kiedy to dzięki obserwacjom profesora Richarda Thompsona z Uniwersytetu Plymouth w Wielkiej Brytanii wprowadzony został do powszechnego stosowania termin „mikroplastik”. Nie oznacza to jednak, że tworzywa sztuczne zaczęły pojawiać się w środowisku dopiero po 2004 roku. Pierwszy raport na temat morskich granulek żywicznych sporządzono już w 1972 roku i dotyczył on właśnie obecności tworzyw sztucznych na powierzchni Morza Sargassowego (ENDO i współaut. 2005; CARPENTER i SMITH 1972).

Obecnie zarówno badacze, jak i organizacje zajmujące się zanieczyszczeniami mikroplastikiem, starają się w jednolity sposób określić, co kryje się za tym pojęciem. Przyjęcie spójnej definicji istotne jest chociażby w sytuacjach, gdy mają zostać wdrożone prawne lub dobrowolne środki mające na celu zmniejszenia emisji i wpływu mikrodrobin plastiku na człowieka i środowisko. Istnienie jednolitej terminologii gwarantuje bowiem pewność prawa i równe warunki działania między branżami oraz umożliwia spójne monitorowanie tendencji w zanieczyszczeniu mikrodrobinami plastiku, a także przejrzystą ocenę skutków działań politycznych (VERSCHOOR 2015).

Przez dwie dekady wieku XXI powstało już wiele definicji związanych z mikroplastikiem. Większość skupiła się głównie na rozmiarze cząstek, choć do nich dochodzą również klasyfikacje związane z jego kształtem, składem che-

micznym, strukturą oraz innymi aspektami, takimi jak sposób przedostawania się do środowiska i pochodzenie. Mimo wielu opracowań pojęcie mikroplastiku może być jednak dalej rozwijane o kolejne elementy, opierające się na przykład na zależności od rodzaju prowadzonych badań, a nawet miejscu (regionie), w którym dane badania są lub będą prowadzone.

Czy istnieje zatem konieczność ścisłego definiowania – zwłaszcza gdy pojęcie mikroplastiku zawiera w sobie tak wiele elementów składowych dla jego scharakteryzowania? W tej kwestii dostrzec można dwa odmienne stanowiska. Z jednej strony istnieje koncepcja odrzucenia sposobów ujednolicenia terminologii, ponieważ ogranicza to swobodę naukową i zawęża zakres zainteresowania naukowców do tego, co zawarte jest w definicji. Z drugiej strony, istnieje jednak pogląd, że ogólna, globalnie akceptowana definicja stanowi niezbędny warunek wstępny do zajęcia się zagadnieniem mikroplastiku, zwłaszcza z perspektywy regulacji prawnych (BRENNHOLT i współaut. 2018).

OBECNY STAN WIEDZY I POWSZECHNIE STOSOWANA TERMINOLOGIA

Obecny stan wiedzy na temat definiowania mikroplastiku pozwala zastosować siedem podstawowych kryteriów jego charakterystyki. Są nimi: skład chemiczny, stan skupienia, rozpuszczalność, wielkość (rozmiar) cząstek, kształt i struktura, kolor i opcjonalnie – pochodzenie (HARTMANN i współaut. 2019).

Skład chemiczny

Wszystkie tworzywa sztuczne składają się z polimerów, ale nie wszystkie polimery są tworzywami sztucznymi. Polimery są podstawowym materiałem dla tworzyw sztucznych i kauczków oraz naturalnych biopolimerów, których przykładem może być DNA oraz białka, mające zasadnicze znaczenie dla struktury i funkcji biologicznych (VERSCHOOR 2015). W związku z powyższym lekko zmodyfikowane polimery naturalne nie powinny być zaliczane do grupy określanej jako mikroplastik.

Jednoznacznie do mikroplastiku, bez uwzględniania dodatków, zaliczane więc będą: polimery syntetyczne i półsyntetyczne, kopolimery oraz kompozyty z polimerem syntetycznym jako podstawowym składnikiem (HARTMANN i współaut. 2019).

Stan skupienia ze wskazaniem na temperaturę zeszklenia i stopień krystaliczności

Tworzywa sztuczne są w stanie przyjmować różne stany skupienia. W zależności od temperatury mogą się znajdować w maksymalnie pięciu stanach fizycznych: szklistym kruchym, szklistym o wymuszonej elastyczności, lepko-sprężystym, wysokoelastycznym oraz plastycznym (BRONIEWSKI i współaut. 2000; ŻUCHOWSKA 1995). W podziale zaproponowanym przez Hartmanna (HARTMANN i współaut. 2019) do mikroplastiku powinny być zaliczone tworzywa, których stopień krystaliczności T_m i temperatura zeszklenia T_g jest wyższa niż 20°C, co oznacza, że w środowisku materiał powinien występować w formie ciała stałego. Bezpośrednio zostały wykluczone takie polimery jak: Poli(alkohol winylowy) PVA oraz Poli(tlenek etylenu), PEG – glikol polietylenowy. Natomiast pytaniem pozostaje, czy polimery woskopodobne powinno się zaliczyć do grupy mikroplastików ze względu na właściwości fizyczne.

Rozpuszczalność

Rozpuszczalność tworzyw sztucznych jest jedną z ich charakterystycznych cech. Polimery rozpuszczają się bardzo powoli, a proces rozpuszczania przechodzi przez etap pęcznienia. Rozpuszczalność polimeru w rozpuszczalniku może być różna, w zależności od masy cząsteczkowej, rozgałęzień i stopnia krystaliczności. Wzrost masy cząsteczkowej i stopnia krystaliczności zmniejsza rozpuszczalność, natomiast rozgałęzienie cząsteczek rozpuszczalność zwiększa. Polimery usieciowane mogą więc jedynie pęcznieć (BRONIEWSKI i współaut., 2000). Jeśli mowa o rozpuszczalności mikroplastiku, to zdecydowanie rozpuszczalnikiem, który powinno się brać pod uwagę jest woda – jako rozpuszczalnik naturalnie występujący w środowisku i w którym mikroplastik ostatecznie przebywa.

Definiowana rozpuszczalność mikroplastiku jest elementem wynikającym bezpośrednio ze stanu skupienia oraz właściwości chemicznych i została bezpośrednio zaproponowana do stosowania jako kryterium definiowania mikroplastiku przez Hartmanna i współautorów (HARTMANN i współaut. 2019) i ustalona jako $<1\text{ mg L}^{-1}$ w temperaturze 20°C, czyli jako materiały słabo rozpuszczalne.

Rozmiar

Rozmiar mikroplastiku to główna cecha, od której praktycznie rozpoczęły się badania nad tym zagadnieniem. Nic więc dziwnego, że element ten jest istotny dla badaczy z całego świata oraz organizacji zajmujących się problemami zanieczyszczenia mikroplastikiem. Jest to także główny czynnik sporny w kwestii kwantyfikacji mikroplastiku.

Mikroplastik został podzielony na podkategorie: megaplastik, makroplastik, mezoplastik, mikroplastik i nanoplastik (ZENG 2018), jednakże zakresy wielkości poszczególnych podkategorii nie są ujednolicone w żaden sposób.

Pierwsza klasyfikacja pod względem wielkości została opracowana przez autorów M. R. Gregory i A. Andrady (GREGORY i ANDRADY 2004), a zaproponowany przez nich zakres klasyfikacji to: mikroplastik 67-500 μm , mezoplastik 5-10 mm, makroplastik 1-15 cm, z pominięciem podziału na mniejsze części (nanoplastiki). W 2007 Mark Browne i współautorzy (BROWNE i współaut. 2007) przedstawili następujący podział: nanoplastik $<1\text{ }\mu\text{m}$, mikroplastik 1-1000 μm oraz makroplastik $>5\text{ mm}$, pomijając w klasyfikacji mezoplastik. Większego uproszczenia dokonał w 2008 roku Charles Moore (MOORE 2008), zaliczając do mikroplastiku cząstki o wielkości poniżej $<5000\text{ }\mu\text{m}$, zaś do makroplastiku cząstki powyżej tej wielkości. W roku 2010 Monika Costa i współautorzy (COSTA i współaut. 2010) zaproponowali z kolei, aby mikroplastikiem były określane cząstki poniżej 1000 μm . W 2014 roku Jean-Pierre Desforges i współautorzy (DESFORGES i współaut. 2014) przesunęli natomiast dolną granicę określania mikroplastiku do 1 μm , a górną do 5000 μm . W tym samym roku badacze Martin Wagner i współaut. (WAGNER i współaut. 2014) ponownie dokonali jednak podziału na cztery kategorie, wyróżniając: nanoplastik jako cząstki poniżej $<20\text{ }\mu\text{m}$, mikroplastik w granicach 20-5000 μm , mezoplastik 5-20 mm oraz makroplastik powyżej $>2,5\text{ cm}$. W roku 2015 po raz kolejny spotkać się można było z dwiema propozycjami klasyfikacji wielkości mikroplastiku. Pierwsza to ujęcie Alberta Koelmansa, sformułowane wraz z zespołem autorów (KOELMANS i współaut. 2015). Badacze ci wskazali na następujące wartości: nanoplastik 1-100 nm, mikroplastik

100 nm–5000 μ m, oraz makroplastik powyżej >5 mm. Drugą propozycję zaprezentował Anthony Andrady (ANDRADY 2015), który przedstawił czterostopniową klasyfikację, uwzględniającą: nanoplastik poniżej <1 μ m, mikroplastik 1–1000 μ m, mezoplastik 1–25 mm oraz makroplastik – gdzie po raz pierwszy w historii określona została górna jego granica jako cząsteczki od 2,5–100 cm. Nowe podejście związane z praktycznym określeniem wielkości zaproponowali w 2017 roku Albert Koelmans i inni (KOELMANS i współaut. 2017), przesuwając dolną granicę mikroplastiku powyżej 335 μ m i określając nanoplastik poniżej tej wartości, a makroplastik powyżej 5 mm. Dolna granica mikroplastiku na poziomie 335 μ m jest coraz częściej postrzegana jako praktyczna, ponieważ to najmniejszy wymiar oczek siatki neustonowej, którą używa się do połowu różnego rodzaju zanieczyszczeń, w tym zanieczyszczeń z tworzyw sztucznych (ARTHUR i współaut. 2009).

Zaznaczyć warto, że do rozważań nad zagadnieniem wielkości mikroplastiku i utworzeniem klasyfikacji przyczyniło się także kilka organizacji, zarówno rządowych, jak i pozarządowych. W 2006 roku Kongres Stanów Zjednoczonych upoważnił National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA (MDP) do pełnienia roli lidera rządu federalnego USA w rozwiązywaniu problemów związanych z odpadami morskimi. W wyniku działań NOAA powstał obszerny podręcznik: *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments* (MASURA i współaut. 2015), w którym wartość graniczną dla rozmiaru drobin mikroplastiku opisano na poziomie mniejszym niż 5000 μ m.

Wydarzeniem powiązaniem w pewnym stopniu z problemem definiowania mikroplastiku było ponadto uchwalenie przez Komisję Europejską zalecenia dotyczącego definicji nanomateriału (2011/696/UE) (COMMISSION RECOMMENDATION OF 18 OCTOBER 2011 ON THE DEFINITION OF NANOMATERIAL, 2011) jako cząstki o wielkości od 1 do 100 nm. Zalecenie to bowiem uznać należy za ważny krok dla przejścia z górnej granicy dla nanoplastiku do cząstek nazywanych mikroplastikiem w kategoriach wielkości cząstek.

Kolejne ważne wydarzenie w tym zakresie problemowym miało miejsce w roku 2013. Wtedy to unijna podgrupa techniczna ds. odpadów morskich dla dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (MARINE STRATEGY FRAMEWORK DIRECTIVE – MSFD – TECHNICAL SUBGROUP ON MARINE LITTER), działająca w Komisji Europejskiej, opracowała obszerny dokument przewodni w ramach wspólnej strategii wdrażania owej dyrektywy. Nosił on nazwę: *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas* (LITTER 2014)

i określał zakresy wielkości cząstek mikroplastiku, które pokrywały się z opracowaniem Wagnera (WAGNER i współaut. 2014). Wskazywał jednocześnie, że monitorowanie cząstek o rozmiarach mniejszych niż te, jakie można pobierać za pomocą uznanych metod, wykraczają poza zakres stworzonego opracowania (LITTER 2014).

W roku 2015 powstał ponadto raport przy udziale GESAMP (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection), czyli grupy niezależnych ekspertów naukowych, która doradza ONZ w zakresie naukowych aspektów ochrony środowiska morskiego. Dokument zatytułowany został: *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment* (KOEHLER i współaut. 2015), prezentując ponownie czterostopniową skalę wielkości cząstek mikroplastiku z podziałem na nano-, mikro-, mezo- i makroplastik, która wzorowana była na skali zaproponowanej przez Anthonego Andrady (ANDRADY 2015).

Warto dodać ponadto, że w kolejnym roku – na wniosek Niemieckiego Federalnego Instytutu Oceny Ryzyka (BfR – BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG) – o wydanie oświadczenia na temat obecności mikrodrobin plastiku i nanoplastików w żywności, ze szczególnym uwzględnieniem owoców morza, poproszony został Panel Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA – European Food Safety Authority) ds. zanieczyszczeń w łańcuchu żywnościowym (EFSA PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN CONTAM, 2016). Skala wielkości zaproponowana w tym dokumencie jest taka sama jak w pracach Koelmansa (KOELMANS i współaut. 2017), z pominięciem mezo- i makroplastików.

Kształt i struktura

Klasyfikacja pod względem kształtu i struktury nie jest już tak rozległa i niejednoznaczna jak w przypadku kryterium wielkości. Na ogół rozróżnia się sześć podstawowych kształtów: listek, folia, włókno, fragment, granulka i pianka (WU i współaut. 2018). Nawet w tej dość prostej kategoryzacji dostrzec można jednak próby większego uszczegółowienia. Jako przykład przytoczyć warto podkategorie granulki. Może ona zostać podzielona na kule lub kulki dla cząstek, w których każdy punkt na powierzchni znajduje się w tej samej odległości od środka, a także sferoidy i granulki cylindryczne dla kształtów przybliżonych do kształtów kul (HARTMANN i współaut. 2019).

Kolor

Kolor mikroplastików może być bardzo zróżnicowany, od mocno zabarwionych cząstek nieprzezroczystych do przezroczystych (SHAW

i DAY 1994; SU i współaut. 2016; PETERS i współaut. 2017; WANG i współaut. 2017; REZANIA i współaut. 2018; ZHANG i współaut. 2018). W wyniku degradacji pierwotny kolor zmienia się we wtórny, zwykle mniej jasny (CHEN i współaut. 2019). Choć nie uważa się, aby określenie koloru miało szczególne znaczenie (głównie ze względu na łatwy błąd w interpretacji podczas kontroli wzrokowej, w szczególności materiałów transparentnych), to jednak włączenie tej kategorii do charakterystyki mikroplastików może być przydatne. Proponuje się do opisu kolorów używania Pantone Color Matching System (HARTMANN i współaut. 2019).

Pochodzenie

Z punktu widzenia pochodzenia mikroplastików, utworzone zostało kryterium dwustopniowe z podziałem na mikroplastiki pierwotne i wtórne. Mikroplastiki pierwotne to takie, które zostały wyprodukowane celowo w określonym zakresie wielkości. Inna perspektywa zakłada, że pojęcie „pierwotne” obejmuje również mikroplastiki będące nieodłącznymi produktami ubocznymi użytkowania produktu (NORWEGIAN ENVIRONMENT AGENCY 2014; HARTMANN i współaut. 2019). Wtórne natomiast to takie, które powstały w wyniku fragmentacji większych elementów z tworzyw sztucznych (GESAMP 2015). W myśl jednakże przepisów wprowadzanych w poszczególnych krajach przez podmioty zajmujące się ograniczeniem przedostawania się mikroplastiku do środowiska, jak na przykład decyzja Komisji UE 2021/1870 z dnia 22 października 2021 r., ustanawiająca kryteria oznakowania ekologicznego UE dla produktów kosmetycznych i produktów do pielęgnacji zwierząt (THE EUROPEAN COMMISSION 2021), jak i z biologicznego punktu widzenia, nie ma znaczenia, czy przedmiot z tworzywa sztucznego, z którym styka się organizm, został wyprodukowany celowo (FENDALL i SEWELL 2009).

PRZYKŁADY NIEJASNOŚCI W OBECNIE STOSOWANYCH DEFINICJACH

Techniki wytwarzania przedmiotów z tworzyw sztucznych oparte są głównie na bazowym granulacie polimerowym. Bez względu na metodę wytwarzania przedmiotu, taką jak między innymi wytłaczanie, kalandrowanie, wtryskiwanie czy spienianie (BORKOWSKI 2015), głównym elementem tworzącym przedmiot jest właśnie granulata. Do takiego granulatu można także dołączyć pewną część tworzywa rozdrobnionego powstałego z produktów, które nie spełniały wymagań kontroli jakości lub były nadlewkami, albo wydostały się z form podczas procesu produkcji. Jeżeli spróbujemy zmierzyć

cząsteczki granulatu to widoczne staje się, że w wielu przypadkach ma on rozmiar oscylujący wokół górnej granicy najczęściej stosowanego definicyjnie pojęcia mikroplastiku, czyli 5 milimetrów. Okazuje się, że w kwestii pochodzenia owe cząsteczki granulatu także wypełniają definicję mikroplastiku, ponieważ granulata dostarczony od producenta to w myśl ujęć definicyjnych mikroplastik pierwotny, natomiast domieszki rozdrobnionych produktów to mikroplastik wtórny, powstały w wyniku degradacji mechanicznej większych elementów. Tego typu procesy spotkać można w zasadzie w większości fabryk na całym świecie zajmujących się wytwarzaniem produktów z tworzyw sztucznych lub je zawierających. Dyskusji zatem podlega fakt czy tworzywo bazowe do produkcji jest w istocie mikroplastikiem i czy obecne propozycje definiowania są właściwe.

PODSUMOWANIE

Mikroplastik jest charakteryzowany przez wiele kryteriów. Istnieją spory, czy te kryteria rozwijać czy raczej zamknąć w szczelnych ramach (HARTMANN i współaut. 2019). Jeżeli chodzi o samo ogólne pojęcie w tej tematyce, to brakuje określenia czym ów mikroplastik właściwie jest. Nie da się ukryć, że mówiąc o mikroplastiku mamy na myśli odpad z tworzywa sztucznego. W poprzednim rozdziale pokazane zostały przykłady mikroplastiku, który wpisuje się w określone kryteria, ale jego miejsce – czy to w procesie przedprodukcyjnym, czy jako składowa gospodarki o obiegu zamkniętym – skłania do refleksji nad tym, czy ten rodzaj cząstki powinien być w ogóle brany pod uwagę. Ta kwestia w definiowaniu wydaje się być tak oczywistą, że nie znalazła swojego odzwierciedlenia w istniejących ujęciach definicyjnych, a należałoby ją jasno podkreślić i postawić jako jedno z podstawowych kryteriów. Rozwijając zatem definicję, należałoby uznać, że mikroplastikiem powinniśmy nazywać odpad z tworzywa sztucznego (spełniający zaznaczone w tekście pozostałe kryteria, a w szczególności kryterium rozmiaru), który został już uwolniony do środowiska w sposób kontrolowany lub niekontrolowany, lub też znajduje się w organizmach żywych, które przyswoiły go w sposób nieświadomy. Jeżeli mowa o organizmach żywych to należy tu podkreślić, że także cząsteczki mikroplastiku znajdujące się w ciele człowieka zaliczać się powinny do tej definicji.

Kierując się powyższymi stwierdzeniami można zadać pytanie, czy jest zatem potrzebna klasyfikacja mikroplastiku pod względem pochodzenia? Jeżeli bowiem rozpatrujemy mikroplastik w kategorii odpadu, to każdy mikroplastik już z definicji powinien być

traktowany jako wtórny, ponieważ mikroplastik pierwotny to w rzeczywistości tworzywo przeznaczone do produkcji lub znajdujące się w produktach przeznaczonych do użytkowania. Mikrocząstki pierwotne tym samym dopiero po uwolnieniu do środowiska stają się automatycznie mikroplastikiem (wtórnym), ponieważ już rozpoczyna się proces jego przemian związanych z degradacją.

Kolejny problem, który do tej pory został podjęty w niewielkim stopniu to mikroplastik z tworzyw łatwo degradowalnych i biodegradowalnych. Tworzywa takie są uważane za alternatywę dla konwencjonalnych tworzyw sztucznych (RAGHAVAN 1995) dlatego, że tworzywa sztuczne z materiałów łatwo degradowalnych i biodegradowalnych są powszechnie uważane za nieszkodliwe dla środowiska (QIN i współaut. 2021). Za proces degradacji odpowiedzialne jest działanie trzech czynników: chemicznych (degradacja chemiczna), fizycznych (fotodegradacja) i biologicznych (biodegradacja). Takie tworzywa rozpadają się na mniejsze związki, bardziej przyjazne dla środowiska, a te z kolei nawet przez setki lat rozpadają się, aż do końcowych produktów degradacji: wody i dwutlenku węgla (ŻAKOWSKA 2009). Za udział w wytwarzaniu tworzyw z materiałów biodegradowalnych odpowiadają mieszanki polimerów jak np. kwas polimlekowy (PLA), polihydroksymaślan (PHB), polihydroksyoktanian (PHO), poli(busztynian butylenu) (PBS), skrobia termoplastyczna (TPS), polikaprolakton (PCL) (NARANCIC i współaut. 2018). Można się zatem domyślać, że z takich materiałów będą powstawać bio-mikroplastiki, których zachowanie w środowisku ludzkość przypomina zachowanie właściwe klasycznym tworzywom sztucznym oraz prawdopodobnie powoduje takie same zagrożenia, chociaż czas rozkładu może być nieco inny, niejednokrotnie znacząco krótszy. Co istotne, identyfikacja takiego tworzywa podczas badań terenowych i później laboratoryjnych jest niezwykle trudna, a czasem wręcz niemożliwa, w dużej mierze ze względu na to, że występujący w społeczeństwach duży nacisk na wytwarzanie tworzyw z materiałów biodegradowalnych przy jednoczesnym dość krótkim czasie od kiedy ten nacisk występuje, może generować sytuację, że ochrona patentowa firm zajmujących się jego wytwarzaniem uniemożliwia jego identyfikację w procesie badawczym. Odzwierciedleniem tego zjawiska jest brak dostępnych baz, w tym Raman i FTIR, zawierających nowo wytworzone tworzywa. Dyskusji należy zatem jeszcze poddać dodatkową klasyfikację mikroplastików na te łatwo- i biodegradowalne.

Streszczenie

Coraz częściej przedmiotem badań w ramach licznych dyscyplin stają się mikroplastiki, w odniesieniu do których prowadzi się rozważania zarówno nad problemem zanieczyszczenia nimi środowiska, jak i zjawiskiem ich obecności w różnego typu organizmach, w tym w ciele człowieka. Intensyfikacja analiz i multidyscyplinarność badań ujawniały różne aspekty tego tematu, wskazując równocześnie potrzebę stworzenia podstawowej definicji ogólnej mikroplastiku, porządkującej istniejący stan wiedzy oraz ułatwiającej formułowanie kolejnych problemów badawczych. Na przestrzeni lat podjęto wiele prób zdefiniowania tego pojęcia, a także przedstawienia jego charakterystyki i kategoryzacji. Z uwagi jednak na to, że zagadnienia związane z mikroplastikiem są stosunkowo nowe, jego definicja ciągle ewoluuje. Istnieje ponadto stanowisko wskazujące, że pojęcie mikroplastiku powinno pozostać w formie otwartej, aby nie ograniczać swobody naukowej i niepotrzebnie nie zawężać zakresu badań do tego, co zawarto w definicji. Niniejszy tekst przedstawia przegląd istniejących prób określenia terminu „mikroplastik”, wskazując jednocześnie na luki w sposobach jego definiowania.

LITERATURA

- ANDRADY A. L., 2015. *Plastics and environmental sustainability*. Nashville, TN: John Wiley & Sons.
- ARTHUR C., BAKER J., BAMFORD H., 2009. *Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris, September 9-11, 2008*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- BORKOWSKI K., 2015. *Plastics industry – manufacturing materials for 21st century*. Mechanik, nr 4 (kwiecień): 278–82.
- BRENNHOLT N., HEß M., REIFFERSCHIED G., 2018. *Freshwater microplastics: challenges for regulation and management*. [W:] The Handbook of Environmental Chemistry, 239–72.
- BRONIEWSKI T., KAPKO J., PŁACZEK W., THOMALLA J., 2000. *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- BROWNE M.A., GALLOWAY T., THOMPSON R., 2007. *Microplastic – an emerging contaminant of potential concern?* Integ. Environ. Assess. Manag. 3 (4): 559–561.
- CARPENTER E. J., SMITH Jr. K. L., 1972. *Plastics on the sargasso sea surface*. Science 175 (4027): 1240–41.
- CHEN Q., ZHANG H., ALLGEIER A., ZHOU Q., OUELLET J. D., CRAWFORD S. E., i współaut., 2019. *Marine microplastics bound dioxin-like chemicals: model explanation and risk assessment*. J. Hazard. Mater. 364 (February): 82–90.
- COMMISSION RECOMMENDATION OF 18 OCTOBER 2011 ON THE DEFINITION OF NANOMATERIAL, 2011. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011H0696>.
- COSTA M. F., IVAR do SUL J. A., SILVA-CAVALCANTI J. S., ARAÚJO M. C. B., SPENGLER A., TOURINHO P. S., 2010. *On the importance of size of plastic fragments and pellets on the strandline: a snapshot of a Brazilian beach*. Environ. Monit. Assess. 168 (1–4): 299–304.
- DESFORGES J.-P. W., GALBRAITH M., DANGERFIELD N., ROSS P. R., 2014. *Widespread distribution of*

- microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.* 79 (1–2): 94–99.
- EFSA PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN CONTAM, 2016. *Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood*. EFSA Journal 14 (6).
- ENDO S., REIKO T., KELJI O., HIDESHIGE T., KAZUHIRO C., HARUYUKI K., i współaut., 2005. *Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences*. *Mar. Pollut. Bull.* 50 (10): 1103–14.
- FENDALL L. S., SEWELL M. A., 2009. *Contributing to marine pollution by washing your face: microplastics in facial cleansers*. *Mar. Pollut. Bull.* 58 (8): 1225–28.
- GESAMP, 2015. *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Reports and studies 90*. Report editor: PETER KERSHAW.
- GREGORY M. R., ANDRADY A. L., 2004. *Plastics in the marine environment*. [W:] *Plastics and the Environment*, 379–401. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- GUIDANCE ON MONITORING OF MARINE LITTER IN EUROPEAN SEAS, 2013. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- HARTMANN N. B., HÜFFER T., THOMPSON R. C., HASSELÖV M., VERSCHOOR A., DAUGAARD A. E., i współaut., 2019. *Are we speaking the same language? Recommendations for a definition and categorization framework for plastic debris*. *Environ. Sci. Technol.* 53 (3): 1039–47.
- KOELMANS A. A., BESSELING E., SHIM W. J., 2015. *Nanoplastics in the aquatic environment. Critical review*. [W:] *Marine Anthropogenic Litter*, 325–40. Cham: Springer International Publishing.
- KOELMANS A. A., KOOI M., LAW K. L., SEBILLE E., 2017. *All is not lost: deriving a top-down mass budget of plastic at sea*. *Environ. Res. Lett.* 12 (11): 114028.
- LITTER, MSFD TECHNICAL SUBGROUP ON. 2014. *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas*. Publications Office of the European Union.
- MASURA J., BAKER J., FOSTER G., ARTHUR C., 2015. *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- MOORE C. J., 2008. *Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat*. *Environ. Res.* 108 (2): 131–39.
- NARANCIC T., VERSTICHEL S., CHAGANTI S. R., MORALES-GAMEZ L., KENNY S. T., DE WILDE B., i współaut., 2018. *Biodegradable plastic blends create new possibilities for end-of-life management of plastics but they are not a panacea for plastic pollution*. *Environ. Sci. Technol.* 52 (18): 10441–52.
- NORWEGIAN ENVIRONMENT AGENCY., 2014. *Sources of microplastic- pollution to the marine environment*. MEP&X.
- PETERS C. A., THOMAS P. A., RIEPER K. B., BRATTON S. P., 2017. *Foraging preferences influence microplastic ingestion by six marine fish species from the Texas Gulf Coast*. *Mar. Pollut. Bull.* 124 (1): 82–88.
- QIN M., CHEN C., SONG B., SHEN M., CAO W., YANG H., i współaut., 2021. *A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: another ecological threat to soil environments?* *J. Clean. Prod.* 312 (127816): 127816.
- RAGHAVAN D., 1995. *Characterization of biodegradable plastics*. *Polym. Plast. Technol. Eng.* 34 (1): 41–63.
- REZANIA S., PARK J., MD DIN M. F., TAIB S. M., TALAIEKHOZANI A., YADAV K. K. i współaut., 2018. *Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: a review of recent studies*. *Mar. Pollut. Bull.* 133 (August): 191–208.
- SHAW D. G., DAY R. H., 1994. *Colour- and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean*. *Mar. Pollut. Bull.* 28 (1): 39–43.
- SU L., XUE Y., LI L., YANG D., KOLANDHASAMY P., LI D. i współaut., 2016. *Microplastics in Taihu lake, China*. *Environ. Pollut. (Barking, Essex)* 1987 (September): 711–19.
- THE EUROPEAN COMMISSION, 2021. *Decyzja Komisji (UE) 2021/1870 z dnia 22 października 2021 r. ustanawiająca kryteria oznakowania ekologicznego UE dla produktów kosmetycznych i produktów do pielęgnacji zwierząt*. C (2021) 7500.
- VERSCHOOR A. J., 2015. *Towards a definition of microplastics: considerations for the specification of physico-chemical properties*. RIVM Letter report 2015-0116. Bilthoven The Netherlands. National Institute for Public Health and the Environment. <https://rivm.openrepository.com/bitstream/handle/10029/575986/2015-0116.pdf?sequence=3>.
- WAGNER M., SCHERER C., ALVAREZ-MUÑOZ D., BRENNHOLT N., BOURRAIN X., BUCHINGER S., i współaut., 2014. *Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know*. *Environ. Sci. Eur.* 26 (1): 12.
- WANG W., NDUNGU A. W., LI Z., WANG J., 2017. *Microplastics pollution in inland freshwaters of China: a case study in urban surface waters of Wuhan, China*. *Sci. Total Environ.* 575 (January): 1369–74.
- WU C., ZHANG K., XIONG X., 2018. *Microplastic pollution in inland waters focusing on Asia*. [W:] *The Handbook of Environmental Chemistry*, 85–99. The handbook of environmental chemistry. Cham: Springer International Publishing.
- ZENG E. Y., 2018. *Microplastic contamination in aquatic environments*. Philadelphia, PA: Elsevier Science Publishing.
- ZHANG K., SHI H., PENG J., WANG Y., XIONG X., WU C. i współaut., 2018. *Microplastic pollution in China's inland water systems: a review of findings, methods, characteristics, effects, and management*. *Sci. Total Environ.* 630 (July): 1641–53.
- ŻAKOWSKA H., 2009. *Degradowalne opakowania z klasycznych tworzyw sztucznych a opakowania kompostowalne z polimerów biodegradowalnych*. *Opakowanie* 6: 20–25.
- ŻUCHOWSKA D., 1995. *Polimery konstrukcyjne. Wprowadzenie do technologii i stosowania*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

KOSMOS Vol. 71, 4, 497-503, 2022

KAMIL A. MAJEWSKI

*Institute of Environmental, Engineering of the University of Zielona Gora, Profesora Zygmunta Szafrana 15, 65-516 Zielona Góra,
E-mail: kam.majewski@gmail.com*

SEARCHING FOR THE MISSING LINK OR A NEW SUGGESTION FOR DEFINING MICROPLASTICS

Summary

Increasingly, microplastics are becoming the subject of research within numerous disciplines, with regard to which consideration is being given to both the problem of their pollution of the environment and the phenomenon of their presence in various types of organisms, including the human body. Thus, the intensification of analysis and multidisciplinary of research revealed the need to develop various aspects of this topic, while raising the need for a basic general definition of microplastics, organizing the existing state of knowledge and facilitating the formulation of further research problems. Over the years, therefore, many attempts have been made to define the concept, as well as to present its characteristics and categorization. However, since the issues related to microplastics are relatively new, its definition is still evolving. In addition, there is a position indicating that the concept of microplastics should remain in an open form, so as not to limit scientific freedom and unnecessarily narrow the scope of research to what is included in the definition. This text stops reviewing existing attempts to define the term „microplastic”, while pointing out the gaps in the ways of defining it.

Key words: Microplastic, microplastic pollution, microplastic categorization, plastics, biodegradable plastics, biodegradable microplastic