

MIKROPLASTIK – MEGAPROBLEMEM

MIKROplastic – MEGAprblems

Ewelina Ratajczak, Iwona Mośkowiak (Kórnik), Aleksandra M. Staszak (Białystok)

Streszczenie

Wśród współczesnych problemów badawczych wzrok naukowców i przyrodników przykuwa nie tylko kwestia zmiany klimatu. Coraz większą wagę przypisuje się zanieczyszczeniom tworzywami sztucznymi, a szczególnie mikro- i nanoplastikiem. Te ledwie dostrzegalne dla naszych oczu cząsteczki badane są obecnie zwłaszcza w kontekście ich wpływu na środowisko glebowe. Czy mikroplastik zmienia obieg pierwiastków w przyrodzie? W jaki sposób oddziałuje na zwierzęta, grzyby i rośliny?

Abstract

Among the contemporary research problems, not only the issue of climate change attracts the attention of scientists and naturalists. Increasing importance is attached to pollution with plastics, especially micro- and nanoplastics. These barely visible particles are currently being investigated in the context of their impact on the soil environment. Does microplastic change the cycle of elements in nature? How does it affect animals, fungi and plants?

Era tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne opanowały różne sfery życia człowieka (Ryc. 1). Ze względu na ich plastyczność, niskie koszty produkcji, a przede wszystkim trwałość, na stałe zagościły w naszym codziennym życiu. Ich użycie wzrosło około 25-krotnie w ciągu ostatnich 40 lat, a roczna produkcja przekracza aktualnie 380 milionów ton. W 2014 roku w Europie wyprodukowano 47,8 milionów ton takich tworzyw, przy czym 25,8 milionów pochodziło z odzysku (54%), zaś w ujęciu globalnym ta wartość jest niższa i wynosi 32%. Biorąc pod uwagę produkcję, wykorzystanie i odpady, szacuje się, że produkcja plastiku utrzymuje się na poziomie 6300 milionów ton rocznie, z czego około 4977 milionów ton jest gromadzonych na składowiskach i w środowisku naturalnym [3].

W ciągu ostatniej dekady zainteresowanie ochroną przyrody wyraźnie wzrosło. Naszej uwadze nie umknął, pomimo swych rozmiarów, temat mikroplastiku. Jego wpływ na gleby, rośliny i zwierzęta coraz częściej skupia na sobie uwagę społeczeństwa. Gleba jest podstawą dla wszystkich ekosystemów lądowych: zapewnia wchłanianie i magazynowanie węgla z atmosferycznych zasobów CO₂, wspomaga

recykling odpadów, a co najważniejsze – dostarcza wodę i składniki odżywcze roślinom. Pomimo tego najwięcej wiemy o mikroplastiku w ekosystemach wodnych, ale to zanieczyszczenie gleby może wywołać bardzo wiele nieodwracalnych i niepożądanych zmian w przyrodzie, o których warto wiedzieć. A przede wszystkim poszukiwać nowych rozwiązań, by dbać o naszą planetę pomimo rozwoju technologii i podnoszenia standardu życia. [12].

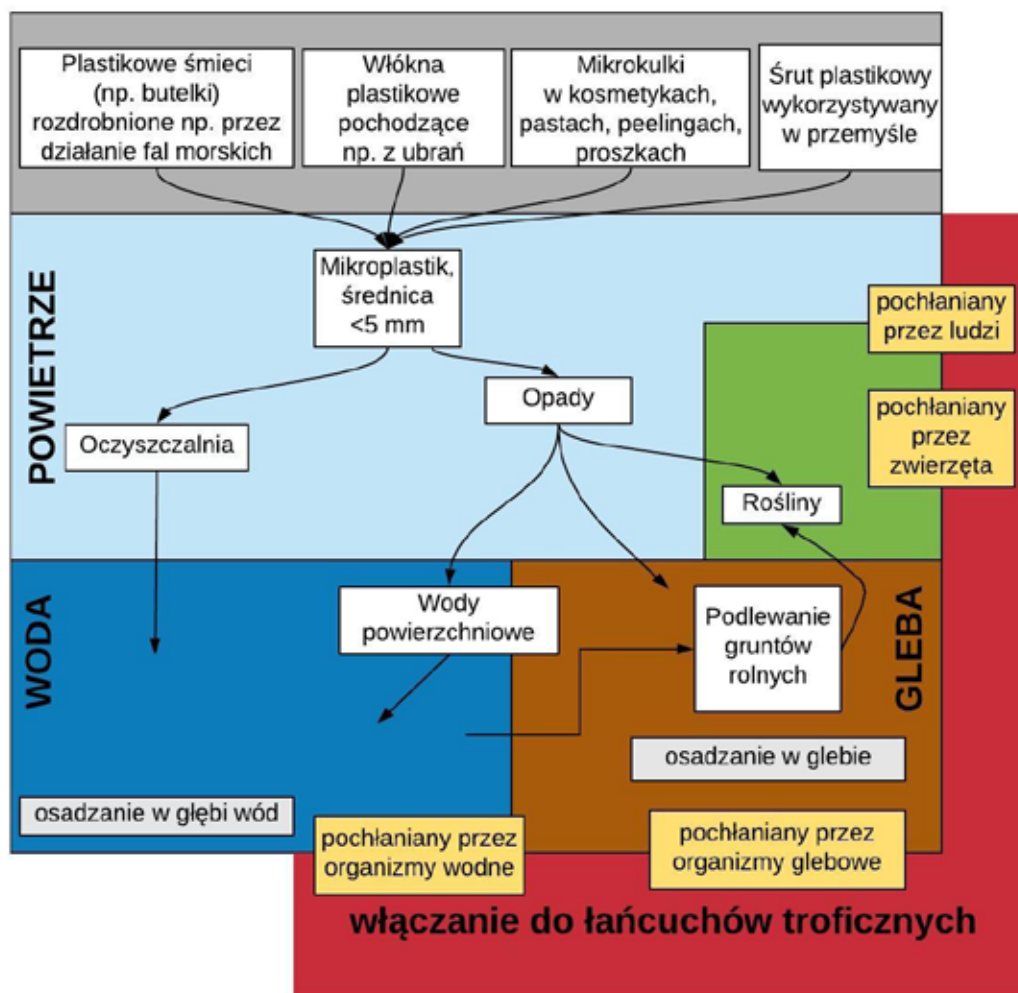
Skąd pochodzi mikroplastik?

Plastikowe odpady podlegają procesowi starzenia, czyli degradacji i dezintegracji na skutek działania procesów fizycznych, chemicznych i biologicznych. Odpady o rozmiarze mniejszym niż 5 mm nazywane są mikroplastikiem [3].

Mikroplastik może być bezpośrednio emitowany do środowiska jako mikrocząsteczki wykorzystywane w przemyśle, np. w środkach piorących czy kosmetykach służących złuszczeniu naskórka, tzw. peelingach. Degradacja tego typu cząsteczek powoduje powstanie zanieczyszczeń o rozmiarze mniejszym niż 1 mm; ten typ zanieczyszczeń nazywany jest nanoplastikiem [12].

Zanieczyszczenia mikroplastikiem są jednym z powszechniejszych zanieczyszczeń antropogenicznych, które mogą być transportowane na duże odległości (Ryc. 1). Gromadzone w ekosystemach złoża mikroplastiku powodują zaburzenia w ich funkcjonowaniu.

w glebie jest procesem długotrwałym. Dodatkowo trzeba pamiętać, że gleba nie jest ostatecznym miejscem depozycji mikroplastiku w środowisku z uwagi na możliwość pobrania go ze środowiska przez organizmy glebowe, takie jak małe kręgowce, pierścieni-



Ryc. 1. Obieg mikroplastiku w przyrodzie. Sieć dystrybucji zanieczyszczeń odpadami plastikowymi w różnej formie, np. butelki, włókna, mikrokulki, śrut etc. i drogi ich transportu poprzez ekosystem wodny, glebę, rośliny i powietrze.

Bank glebowy

Pomimo tego, że zanieczyszczenie lądów mikroplastikiem może być od 4 do 23 razy wyższe niż w środowiskach wodnych, bardzo niewiele wiemy o wpływie tych cząsteczek na organizmy glebowe. Co ciekawe, choć mechanizmy przedostawania się mikroplastiku do organizmów wodnych zostały stosunkowo dobrze zbadane, to gleby rolnicze, a nie oceany gromadzą największą liczbę jego cząstek [12], stając się jednym z ważniejszych zanieczyszczeń antropogenicznych.

Mikroplastik dostaje się do gleby z powietrza i poprzez wodę opadową bądź wodociągową, stosowaną do podlewania roślin. Gromadzenie się mikroplastiku

ce, a także rośliny [6]. Przez to mikroplastik dostaje się do łańcuchów troficznych. Niezwykle ważne dla rozwoju badań nad mikroplastikiem jest udoskonalenie metod pomiaru jego zawartości w środowisku. Informacje dotyczące sposobu raportowania wielkości i rozmieszczenia jego cząsteczek, a także rozwój modeli pozwalających na weryfikowanie uzyskanych wyników badań jest kwestią kilku najbliższych lat.

Nanoplastik (o cząsteczkach bez mała 5-krotnie mniejszych od mikroplastiku) jest słabo rozpuszczalny w wodzie, może wchodzić w interakcję z błonami biologicznymi, organellami i cząsteczkami. Konsekwencje tych zmian przypominają działanie stresu oksydacyjnego wywołanego stresem abiotycznym, np. suszą czy chłodem. W trakcie analiz wpływu

nanooplastiku na funkcjonowanie żywych organizmów niezbędnym jest uwzględnienie rodzaju cząsteczek, stopnia i dynamiki rozkładu, właściwości chemicznych i struktury ich powierzchni [3].

Mikroplastik a fauna i flora

Zanieczyszczenia w postaci mikroplastiku mogą przyczyniać się do zmian w różnorodności biologicznej mikroorganizmów, fauny glebowej, może także wpływać na związki symbiotyczne (a więc na powiązania funkcjonalne organizmów). Mikroplastik ma ponadto negatywny wpływ na retencję wody w glebie. W konsekwencji takich zmian spada wydajność fotosyntezy, dającej roślinom życiową energię [4].

Obecnie prowadzi się intensywne badania nad działaniem mikroplastiku na rośliny wyższe. Dotychczasowe badania wykazały wpływ mikroplastiku na pszenicę [10], rzeżuchę [1], cebulę dymkę [3]. Mikroplastik powoduje obniżenie żywotności tych roślin, spadek biomasy, zmiany w komórkowej zawartości wody i azotu, a także w grubości korzenia i jego średnicy.

Wszystkie modyfikacje biofizyczne mogą przyczynić się do zaburzeń funkcjonowania gleby. Wykazano, że mikroplastik stanowi siedlisko wielu organizmów, w tym ponad 80 różnych gatunków grzybów [5]. Częstki mikroplastiku rozkładają się bardzo powoli i dlatego mogą transportować przylegające do nich żywe organizmy na duże odległości, przez co przyczyniają się do rozprzestrzeniania gatunków inwazyjnych, pasożytniczych lub chorobotwórczych. Mikroplastik może być transportowany w różnych kierunkach w glebie (także do głębszych jej warstw) poprzez skoczogonki i dżdżownice. Wykazano, że drobiny tworzyw sztucznych hamują wzrost dżdżownic, powodują utratę masy ich ciała, a więc poważnie szkodzą niezwykle istotnymapulchniaczom i użyźniaczom gleby. W przypadku skoczogonków właściwości biofizyczne gleby wpływają na ich aktywność poprzez zmiany w ich mikrobiomie jelitowym, a tym samym obecność mikroplastiku w glebie prowadzi do zaburzeń wzrostu i zdolności reprodukcyjnej tych stawonogów [3, 5]. Duża zawartość azotu (N) w mikroplastikach może wywoływać intensywniejszy wzrost i łatwiejszą adaptację inwazyjnych gatunków roślin, co jednocześnie może prowadzić do osłabienia rozwoju gatunków rodzimych. Częsteczki mikroplastiku mają także wysoką zawartość węgla (C), który jest długo rozkładany. Biorąc pod uwagę duże zmiany w zawartości węgla i azotu, możemy spodziewać się negatywnych zmian w składzie mikroorganizmów glebowych, których prawidłowe funkcjonowanie wiąże się z odpowiednim obiegiem materii

w środowisku. Obecność stałych zanieczyszczeń, a także ich konglomeratów ze związkami chemicznymi, może prowadzić do zaburzenia prawidłowej komunikacji między organizmami glebowymi, a w konsekwencji do zaburzeń w działaniu ekosystemu, np. poprzez zerwanie możliwości komunikacji pomiędzy grzybami. Wzrost roślin i ich witalność zależy od stanu gleby i jej chemizmu, głównie od pH (stopnia kwasowości), a także od obecności mikroorganizmów związanych z ich korzeniami, m.in. grzybów mykoryzowych. Hydrofobiny wydzielane przez grzyby odpowiadają za regulację uwodnienia i skłonność do odpychania cząsteczek wody przez glebę i jej prawidłową agregację, a także stabilność zapobiegającą erozji gleby. Wykazano, że mikroplastik wpływa istotnie na zmiany pH gleby, co może hamować albo aktywować wzrost niektórych gatunków roślin oraz zawiązywanie zależności mykoryzowych. Ryzoderma (skórka) korzeni jest prawdopodobnie głównym miejscem wchłaniania nanooplastiku. Pod wpływem jego cząsteczek dochodzi do zaburzeń w strukturze korzeni, ich wzroście i penetracji. Negatywny wpływ mikroplastiku na rozwój roślin jest kwestią wymagającą dokładnego zbadania [3, 5].

Organizmy żywe a mikroplastik

W 2013 roku stwierdzono, że miód produkowany na terenach zurbanizowanych może zawierać mikroplastik. Jego cząstki obecne w ekosystemie mogą znajdować się w kwiatach różnych gatunków owadopylnych roślin, skąd przenoszone są przez pszczoły. W doświadczeniach z poliestrowymi kulkami nanoszonymi na znamiona słupków roślin owadopylnych wykazano, że mogą one być transportowane do wnętrza zalążni, jeśli wielkość mikrocząstki ma wielkość zbliżoną do rozmiaru ziarna pyłku danego gatunku. Ekologiczne konsekwencje i możliwości przenoszenia mikrocząstek przez zapylacze wymagają dalszych poszerzonych analiz, jednak już obecnie wiadomo, że mogą bardzo negatywnie wpływać na florę [4, 6].

Do sieci troficznej plastik dostaje się poprzez zjedanie cząstek odpowiadających wielkości pokarmu danego zwierzęcia, pochłaniane mogą być również mniejsze cząstki, co wskazuje, że dostały się do organizmu poprzez przeniesienie troficzne. Transfer troficzny trudno szacować, jednak pojawiają się już pierwsze prace na ten temat, opierając się na szacowaniu ilości mikroplastiku w glebie, a potem w wydalinach organizmów w następujących po sobie ogniach łańcucha troficznego. W świetle tych analiz proces może odbywać się następująco: mikroplastik w glebie (~ 0,9 cząstek/g) → gleba wydalona przez

dżdżownice (~ 14 cząstek/g) → kał kurczaka (~ 129 cząstek/g). Widać zatem wzrost stężenia mikroplastiku w wydalinach organizmów z następujących po sobie poziomów łańcucha troficznego, co wskazuje, że wraz ze zmianą poziomu w łańcuchu do organizmów dostaje się coraz więcej mikroplastiku [2]. U myszy powoduje to zaburzenia w metabolizmie lipidów wątroby, głównie przez obniżenie ekspresji mRNA niektórych ważnych genów odpowiedzialnych za litogenezę i syntezę trójglicerydów [7]. Wykazano, że mikroplastik spożywany przez zwierzęta glebowe wywołuje mechaniczne uszkodzenia przełyku, niedrożność jelit, niższą odpowiedź immunologiczną i ogólne zaburzenia w metabolizmie [11]; jego wpływ na sieć troficzną jest więc bardzo poważny.

Mikroplastik znajdujący się w owocach morza, soli, cukrze i piwie, choć sposoby szacowania jego zawartości w produktach spożywczych nie zostały znormalizowane i cały czas dyskutowana jest poprawność zastosowanych metod pomiaru. [8]. Rozwój metod pomiaru jest niezbędny dla prawidłowego zbierania i interpretacji danych na temat wpływu mikroplastiku na ekosystem.

Cząsteczki mikroplastiku mogą dostawać się do naszego organizmu wraz z wodą pitną, ale także drogą powietrzną. Może być on wchłaniany w postaci pyłu [9]. Jaki jest jego wpływ na nasze zdrowie? Na to pytanie nie ma jeszcze jednoznacznej odpowiedzi.

Czy mikroplastik steruje obiegiem pierwiastków?

Wiele obaw budzi wysoka zawartość węgla (C) i azotu (N) w mikroplastikach. Węgiel w tej postaci nazywamy C-mikroplastikowym. Może on być gromadzony przez wiele lat w glebie, stanowiąc „magazyn” tego pierwiastka. Badacze uważają, że C-mikroplastikowy nie funkcjonuje w przyrodzie w taki sposób, jak naturalnie występujący węgiel - różnice dotyczą np. oddziaływań z drobnoustrojami glebowymi. Jego duża zawartość może prowadzić do niedoszacowania ilości węgla zmagazynowanego w glebie. Jaki więc jest jego udział w obiegu tego pierwiastka w całym ekosystemie?

„Metabolizm gleby” w dużym stopniu zależy od zawartych w glebie organizmów żywych (fauny drobnoustrojów, grzybów, korzeni roślin). Gleba zawiera wiele tzw. „wolnych” enzymów. Ich aktywność jest ściśle regulowana przez warunki panujące w glebie. Enzymami glebowymi nazywa się naturalne mediatory i katalizatory wielu ważnych procesów glebowych. Enzymy glebowe o wysokiej zdolności do katalizy są ściśle związane z wieloma procesami biochemicznymi gleby; działają jako wskaźnik oceny

żywności gleby i odgrywają istotną rolę w regulacji obiegu składników odżywczych, takich jak C, N i P (fosfor). Wykazano, że mikroplastik może mieć wpływ na aktywność enzymów glebowych, a tym samym wywoływać zmiany w składzie pierwiastków, co wpływa na jakość gleby. Uzyskane wyniki badań wskazują, że mikroplastik wpływa negatywnie na aktywność enzymów glebowych takich jak uraza, katalaza, hydrolaza dioctanu fluoresceiny i oksydaza fenolowa. Zmiany w aktywności tych enzymów mogą wpływać na jakość gleby i na funkcjonowanie całego ekosystemu [4].

Obecność mikroplastiku w glebie jest przyczyną znaczących zmian w biomacie roślin, składzie elementarnym tkanki (m. in. ma wpływ na zawartość wody i azotu w liściach oraz stosunek C:N, czyli wskaźnik stopnia rozkładu materii), kształtuje cechy korzeni (w tym długość, średnicę, całkowitą powierzchnię i gęstość) i symbiozę korzeni z grzybami.

Podsumowanie

Plastik, a co za tym idzie jego odpady w postaci mikroplastiku, jest we współczesnym świecie wszechobecny i jego istnienie w środowisku wiąże się bezpośrednio z działalnością gospodarczą człowieka, a wespół z pogłębiającymi się zmianami klimatu może stać się on poważnym zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania ekosystemu.

Mechanizm oddziaływania mikroplastiku na środowisko i funkcjonowanie organizmów żywych, w tym człowieka, jest przedmiotem intensywnych badań. Co najistotniejsze, już dzisiaj cząsteczki mikroplastiku mają ogromny wpływ na skład gatunkowy grzybów i roślin w ekosystemach. Efekty działania mikroplastiku mogą być różne. Z jednej strony pozornie pozytywne, ponieważ sprzyjają pojawianiu się nowych dla określonych obszarów gatunków grzybów i roślin (jednak czy może być to pierwszy krok do ich inwazji?), z drugiej zaś strony będą wpływały na pierwotny skład gatunkowy ekosystemów, wywołując zmniejszenie ich bioróżnorodności i potencjalnie daleko idące tego konsekwencje [3].

Ogromnym wyzwaniem dla badaczy jest zrozumienie mechanizmu działania mikroplastiku nie tylko na pojedynczą roślinę, ale na cały ekosystem, niezależnie od jego rodzaju. Badania te są niezwykle ważne w świetle współcześnie obserwowanych gwałtownych zmian warunków klimatycznych [8].

Przyrost wiedzy na temat wpływu mikroplastików na glebę, rośliny i grzyby oraz na obieg pierwiastków jest bardzo dynamiczny. Kolejnych kilka lat przyniesie nam wiele nowych obserwacji i pozwoli na lepsze

zrozumienie roli mikro- i nanoplastików w funkcjonowaniu ekosystemów. Płynące z nich wnioski, wespół z wynikami badań dotyczących zmian klimatu,

mogą zmienić dzisiejsze postrzeganie funkcjonowania różnych ekosystemów w pełnej ich złożoności.

Bibliografia

1. Bosker T., Bouwman L.J., Brun N.R., Behrens P., Vijver M.G. (2019). Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere* 226: 774–781.
2. de Souza Machado A.A., Kloas W., Zarfl C., Hempel S., Rillig M.C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24:1405–1416
3. de Souza Machado A.A., Lau C.W., Kloas W., i wsp. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. *Environmental Science and Technology*, 53:6044–6052.
4. Guo J.J., Huang X.P., Xiang L., i wsp. (2020) Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environ Int.* 137:105263.
5. Kettner M.T., Rojas-Jimenez K., Oberbeckmann S., Labrenz M., Grossart H.P. (2017). Microplastics alter composition of fungal communities in aquatic ecosystems. *Environmental Microbiology*, 19, 4447–4459.
6. Liang Y., Lehmann A., Ballhausen M-B., Muller L., Rillig M.C. (2019). Increasing Temperature and microplastic fibers jointly influence soil aggregation by saprobic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 10:2018.
7. Liu M., Lu S., Song Y., i wsp. (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai China. *Environ. Pollut.* 242: 855-862.
8. Rillig M.C., Lehmann A., de Souza Machado A.A., Yang G., (2019). Microplastic effects on plants. *New Phytologist*, 223:1066–1070.
9. Schymanski D., Goldbeck Ch., Humpf H.U., 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: 154-162.
10. Qi Y.L., Yang X.M., Pelaez A.M., i wsp. (2018) Macro- and micro- plastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth. *Sci. Total Environ.*, 645: 1048-1056.
11. Wang J., Liu X., Li Y., i wsp. (2019). Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review. *Sci. Total Environ.* 691: 848-859.
12. Zhu F., Zhu C., Wang C., Gu C. (2019). Occurrence and ecological impacts of microplastics in soil systems: a review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102:741–749.

Ewelina Ratajczak, Instytut Dendrologii PAN w Kórniku. E-mail: ewelinaratajczak@tlen.pl

Iwona Moškowiak, Instytut Dendrologii PAN w Kórniku

Aleksandra M. Staszak, Uniwersytet w Białymstoku