

**MAGDALENA PODBIELSKA, EWA SZPYRKA**

Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Instytut Biotechnologii, Katedra Biotechnologii,  
e-mail: [mpodbielska@ur.edu.pl](mailto:mpodbielska@ur.edu.pl)

**NANO- I MIKROPLASTIK – ZANIECZYSZCZENIA XXI WIEKU**

*Tworzywa sztuczne są ważnym materiałem w naszej gospodarce i życiu codziennym. Dzięki niskim kosztom produkcji oraz możliwości formowania ich w różne kształty, stały się najbardziej uniwersalnym materiałem na świecie. Tworzywa sztuczne są masowo produkowane do zastosowań w opakowaniach, przemyśle budowlanym, przemyśle elektrycznym i elektronicznym, tekstyliach, transporcie i rolnictwie. Światowa produkcja tworzyw sztucznych w 2021 roku wyniosła 391 mln ton. W wyniku procesów fizycznych, biologicznych, chemicznych lub termicznych, materiały te ulegają rozpadowi tworząc cząstki zwane mikroplastikiem (MP) i/lub nanoplastikiem (NP), które w ostatnim dziesięcioleciu stały się istotnym zanieczyszczeniem środowiska. Ksenobiotyki te odnajdywane są w powietrzu, wodzie, glebie, a także w organizmach żywych. Mogą również wywoływać niekorzystne skutki dla zdrowia człowieka.*

**Słowa kluczowe:** nanoplastik, mikroplastik, plastik, środowisko

**I. WSTĘP**

Tworzywa sztuczne, potocznie nazywane plastikiem, to organiczne, syntetyczne polimery wytwarzane w drodze polimeryzacji monomerów pochodzących z ropy naftowej, gazu lub węgla [Nagalakshmaiah i in. 2019]. Oprócz polimeru zawierają również dodatki modyfikujące takie jak: napelniacze, stabilizatory termiczne, stabilizatory promieniowania ultrafioletowego, opóźniacze palenia – czyli polibromowane bifenyle (PBB), środki antystatyczne, środki spieniające czy barwniki [A Technical Raport 2023]. Zaletami tworzyw sztucznych są łatwość przetwórstwa, cena i trwałość. Wadą natomiast długi czas rozkładu. Szacuje się, że butelki plastikowe PET rozkładają się 450 lat, natomiast inne produkty nawet do 1000 lat [Chamas i in. 2020].

Produkcja tworzyw sztucznych, na masową skalę, rozpoczęła się po II wojnie światowej. W latach 50. XX wieku produkowano 1,5 miliona ton tworzyw sztucznych rocznie, obecnie produkcja ta wynosi 500 mln ton i stale rośnie [Nocoń i in. 2018, Statica 2023]. Tylko niewielka część wyprodukowanego plastiku jest poddawana recyklingowi (od 5 do 14%), reszta jest głównie wyrzucana na składowiska odpadów. Najczęściej stosowanymi polimerami są: politereftalan etylenu (PET), polietylen o dużej gęstości (HDPE), polietylen o małej gęstości (LDPE), polichlorek winylu (PVC), polipropylen (PP) oraz polistyren (PS), które stanowią około 90% całkowitej światowej produkcji tworzyw sztucznych [Phuong i in. 2016]. Tworzywa

zbudowane z tych polimerów stanowią największe zanieczyszczenie środowiska. Pomimo dużej trwałości, produkty plastikowe, z upływem czasu ulegają rozpadowi na mniejsze fragmenty pod wpływem procesów mechanicznych, biologicznych, chemicznych lub termicznych. W wyniku rozkładu powstaje tak zwany mikroplastik (MP) i nanoplastik (NP) [Phuong i in. 2016].

W 1997 roku w Północnej części Oceanu Spokojnego, pomiędzy Kalifornią a Hawajami, odkryto tzw. Wielką Pacyficzną Plamę Śmieci. Szacuje się, że zawiera ona około 45-129 tys. ton tworzyw sztucznych i zajmuje powierzchnię - 1,6 mln km<sup>2</sup>, czyli 5 x większą od Polski. (Polska – 0,3 mln km<sup>2</sup>) [Dacewicz i in. 2021]. Plama ta to w większości materiał fotodegradowalny, który rozpada się na pył. Szacuje się, że na całym oceanie spokojnym ilość plastiku sięga 100 mln ton. Pośród plastiku stwierdzono występowanie mikroorganizmów (tzw. Plastisfery), a wśród nich bakterii *Bacillus*, które mogą degradować plastik do prostych cząsteczek jak dwutlenek węgla i woda. W 2022 po raz pierwszy wykryto obecność cząsteczek plastików na obu biegunach Ziemi. Został odnaleziony w Himalajach na wysokości ponad 8 tysięcy metrów, oraz na dnie rowu mariańskiego (rowu oceanu Spokojnego) na głębokości 11 km. Największe ilości mikro- i nanoplastiku (MNP) są stwierdzane w wodach [Napper i in. 2020].

Celem opracowania jest przedstawienie problemu zanieczyszczeń środowiska przez MNP, przegląd najnowszych danych literaturowych na temat tego zagadnienia, a także wyników badań dotyczących narażenia organizmów żywych, w tym człowieka na te ksenobiotyki.

## II. METODA PRACY

Opracowanie jest artykułem przeglądowym, opartym na analizie wybranego piśmiennictwa, w tym artykułów naukowych i popularnonaukowych. We wstępie opisano rynek i rodzaje tworzyw sztucznych, pojęcie NP i MP, natomiast w wynikach i dyskusji przedstawiono występowanie tych ksenobiotyków w środowisku i ich wpływ na organizmy żywe w tym na człowieka.

## III. WYNIKI I DYSKUSJA

*Definicje nano- i mikroplastiku, rodzaje i metody analizy*

Po raz pierwszy pojęcie „mikroplastik” pojawiło się w roku 1972, a definicja MP powstała dopiero na początku XXI wieku. MP to cząsteczki tworzyw sztucznych o wymiarach od 1 μm – 5 mm, natomiast NP – cząsteczki o wymiarach poniżej 1 μm (czyli 1000 nm). MP można również podzielić na pierwotny i wtórny. MP pierwotny występuje w postaci mikrogranulek, które dodawane są celowo do środków piorących czy kosmetyków służących złuszczeniu naskórka, tzw. peelingów, jako wypełniacze i zagęstniki oraz jako tzw. pellet, wykorzystywany do wyrobu produktów z tworzyw sztucznych. „MP wtórny” to efekt fragmentacji, rozpadu większych elementów z tworzyw sztucznych na skutek działania procesów fizycznych, chemicznych czy biologicznych. MNP może występować w środowisku w różnych formach, w zależności od rodzaju polimeru z jakiego był wykonany:

- fragmenty (odłamki plastiku i granulki),
- włókna/nici – pozostałość po foliach produkowanych z polietylenu oraz ubraniach;
- pianki (m.in. styropian)
- granulaty i mikrokulki [Nocoń i in. 2018].

Zainteresowanie naukowców tematem MP przypada na ostatnie kilka lat. Uzyskiwane wyniki i wnioski z badań czasami są niespójne. Problemem są różne metody badań, różny zakres wielkości analizowanych cząsteczek, różnorodność struktur chemicznych MNP. Analizy muszą być prowadzone z wykluczeniem laboratoryjnych materiałów z tworzyw

sztucznych, tak by nie dochodziło do kontaminacji próbek MNP w trakcie ich analizy. Procedura identyfikacji i charakterystyki MNP obejmuje analizę wielkości, kształtu, koloru i ilości MNP (liczby lub masy cząstek na objętość lub masę próbki) oraz identyfikację polimeru. Technikami analitycznymi stosowanymi do identyfikacji i charakteryzacji MNP są: mikroskopia (optyczna, skaningowa SEM lub transmisyjna mikroskopia elektronowa TEM), spektroskopia fourierowska w podczerwieni FTIR (w szczególności spektroskopia osłabionego całkowitego odbicia w podczerwieni ATR-FTIR), spektroskopia Ramana, termogravimetria oraz pirolityczna chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrią mas Py-GC/MS [Soursou i in. 2023]. W badaniach toksyczności stosowane są stężenia MP dużo wyższe od tych, które rzeczywiście występują w środowisku. Stwierdzane są różnice wynikające z tego czy w badaniach zastosowano MP pierwotny czy starzony (wtórny).

#### *Wpływ MNP na organizmy żywe, w tym na człowieka*

Badania naukowców dowodzą, że MNP obecny w morzach i oceanach ulega akumulacji w kolejnych ogniwach łańcuch troficznego [Ivleva i in. 2017]. Mikrocząstki gromadzą się także w wodzie, glebie i powietrzu, skąd przedostają się do organizmów żywych. Badania potwierdzają, że wpływ MNP na organizmy jest niezależny od położenia geograficznego, natomiast różni się istotnie między poziomami troficznymi i/lub grupami taksonomicznymi [Parolini i in. 2023]. Podstawą morskiego łańcucha troficznego są mikroalgi. Dostarczają one składników odżywczych wielu gatunkom, w tym roślinożercom wodnym i lądowym, odgrywają więc fundamentalną rolę w utrzymaniu równowagi ekosystemu morskiego [Das i in. 2012]. Zatem toksyczne działanie zanieczyszczeń na mikroalgi może powodować uszkodzenia organizmów na wyższych poziomach troficznych [Podbielska i Szpyrka 2023].

Zooplankton - organizmy te działają jako nośniki MNP w łańcuchu pokarmowym. Wpływ MNP na rozwielitki jest różny w zależności od rozmiaru i kształtu cząstek - mniejsze, nieregularne fragmenty plastiku działają bardziej toksycznie. MNP znaleziono w przewodzie pokarmowym, w jajnikach i komorach łęgowych rozwielitek, stwierdzono negatywny wpływ na przeżycie i reprodukcję. Ponadto zaobserwowano, że małe cząsteczki mogą przywierać do powierzchni ciała i czułków rozwielitek, co skutkuje spadkiem ich zdolności do pływania [Brun i in. 2017, Cui i in. 2017].

Ryby pobierają MNP drogą pokarmową, a także poprzez wchłanianie przez skórę i skrzela [Makhdoumi i in. 2023]. Cząsteczki MNP spożywane przez ryby osadzają się głównie w ich przewodzie pokarmowym, powodują jego mechaniczne uszkodzenie i błędne uczucie sytości [Iheanacho i in. 2023]. Skutki działania MNP na ryby można sklasyfikować jako fizyczne lub chemiczne. Efekty fizyczne zależą od wielkości i kształtu cząstek, natomiast skutki chemiczne zależą od składu MNP, obecności dodatków lub innych zanieczyszczeń. Narażenie ryb na MNP może wywoływać neurotoksyczność, uszkodzenie tkanek, jelit, DNA, organów rozmnażania, stres oksydacyjny, zmiany zachowania (np. wolniejsze pływanie, osłabione żerowanie), zmiany ekspresji genów, zmniejszenie wzrostu, reprodukcji, a także śmiertelność [Iheanacho i in. 2023]. Biodostępność MNP i prawdopodobieństwo zagrożeń dla zdrowia ryb są ściśle związane z rozmiarem cząstek. Mniejsze MP oraz NP, mogą przemieszczać się, biokoncentrować i bioakumulować w niektórych tkankach zwierząt [Iheanacho i in. 2023]. O dalszym losie pobranych przez ryby MNP decyduje rozmiar cząsteczek. Większość MNP pozostaje w przewodzie pokarmowym, cząsteczki o rozmiarach mniejszych od 150  $\mu\text{m}$  mogą przejść przez nabłonek jelita, natomiast cząsteczki mniejsze od 1,5  $\mu\text{m}$  mogą przenikać do narządów, krwiobiegu i mięśni, a stąd droga może prowadzić do człowieka [Miloloža i in. 2021].

Możliwość łatwej dystrybucji MNP do otaczającego środowiska powoduje, że człowiek, nieświadomie, poddawany jest ekspozycji na te zanieczyszczenia. Główne drogi narażenia ludzi na MP obejmują wdychanie, picie wody i spożycie żywności. Szacuje się, że spożycie przez ludzi MP w powietrzu i powszechnie spożywanej żywności waha się od 203 do 332 cząstek na osobę dziennie [Cox i in. 2019]. MNP mogą przedostawać się do organizmu człowieka poprzez przewód pokarmowy w wyniku spożycia żywności, która była bezpośrednio narażona na ekspozycję na cząstki MNP obecne w wodzie morskiej – owoce morza, ryby. Drugim źródłem przedostawania się MNP do żywności jest uwalnianie cząstek z opakowań do których jest ona pakowana lub przechowywana. MNP uwalniane z tworzyw sztucznych mogą stanowić narażenie człowieka oraz wywoływać niekorzystne skutki dla zdrowia. Ryzyko dla zdrowia człowieka związane jest ze składem, rozmiarem i kształtem MNP [Abbasi and Turner 2021]. Wiedza na temat wpływu MNP na zdrowie ludzi jest stosunkowo mała. Brak jest jednoznacznych dowodów naukowych określających jakie skutki zdrowotne wywołuje obecność MNP w organizmie. Badania naukowe pokazują, że MNP znaleziono we, włosach, skórze twarzy, skórze dłoni, ślinie, tkance płuc, krwi i łożysku i ludzkim kale [Amato-Lourenço i in. 2021, Ragusa i in. 2021, Schwabl i in. 2019, Yan i in., 2020]. Badania wykazują, że MNP jest również doskonałym siedliskiem dla patogenów w organizmie człowieka [Schmitt-Jansen i in. 2020].

Organy należące do układu oddechowego i pokarmowego są najbardziej narażone na mikrocząsteczki plastików. Po dostaniu się do organizmu następuje przeniesienie mikrocząstek plastiku do organów gdzie mogą następować fizyczne uszkodzenia komórek (które mogą prowadzić do kancerogenezy). Możliwa jest również desorpcja zanieczyszczeń oraz dodatków obecnych w/na MP. Uważa się, że sam plastik nie jest toksyczny dla człowieka (jest on „uciążliwy”), natomiast szkodliwy wpływ może powodować MNP oraz zaadsorbowane na nim zanieczyszczenia (pestycydy, środki farmaceutyczne, metale ciężkie oraz mikroorganizmy). Po połączeniu tych dwóch cząsteczek może wystąpić efekt antagonistyczny – czyli osłabienie działania danego ksenobiotyku, lub efekt odwrotny – synergistyczny, gdy następuje spotęgowanie działania tych dwóch zanieczyszczeń.

Chociaż nie wiadomo, jaki będzie długoterminowy wpływ mikrodrobin plastiku należy podjąć wszelkie działania, aby minimalizować jego niekorzystny wpływ na organizmy żywe i zdrowie człowieka.

#### *Przepisy prawne*

24 maja 2023 r. zaczęła obowiązywać w Polsce unijna dyrektywa SUP (Single Use Plastics). Dyrektywa „plastikowa” wprowadza restrykcje w kwestii wprowadzania do obrotu produktów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych oraz wyrobów wykonanych z oksydegradowalnych tworzyw sztucznych, takich jak patyczki higieniczne, sztućce, talerze, słomki, mieszadła do napojów, patyczki mocowane do balonów oraz mechanizmy tych patyczków, pojemniki na żywność oraz pojemniki i kubki na napoje wykonane z polistyrenu ekspandowanego. Zakazem nie są objęte wyroby stosowane do celów medycznych [Dyrektywa 2019]. Dodatkowo w kolejnych latach zwiększony będzie nacisk na zagospodarowanie odpadów plastikowych. Od 2025 roku butelki na napoje mają zawierać co najmniej 25% tworzyw sztucznych pochodzących z recykling. Komisja Europejska zdecydowała się również na wprowadzenie zakazu sprzedaży produktów zawierających celowo dodawany MP w tym kosmetyków, detergentów, produktów wybielających zęby czy zabawek [Rozporządzenie 2023].

#### IV. PODSUMOWANIE

MNP stały się wszechobecnym, antropogenicznym zanieczyszczeniem środowiska. Pomimo wprowadzenia odpowiednich przepisów prawnych dotyczących recyklingu oraz ograniczenia zużycia tworzyw sztucznych, ilość MNP w środowisku stale rośnie. W celu ochrony środowiska oraz zdrowia wszystkich organizmów i człowieka, konieczne są dalsze działania ze strony władzy ustawodawczej, a także wzrost i szerzenie świadomości wśród społeczeństwa.

#### BIBLIOGRAFIA

1. A Technical Report. Chemicals in Plastics. 2023. United Nations Environment Programme and Secretariat of the Basel, Rotterdam and Stockholm Conventions. [<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/42366/Chemicals-in-Plastics.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; data wejścia 27.11.2023].
2. Abbasi S., Turner A. 2021. Human exposure to microplastics: a study in Iran. *J. Hazard Mater.* 403123799. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123799>.
3. Amato-Lourenço L.F., Carvalho-Oliveira R., Ribeiro Júnior G., dos Santos Galvão L., Ando R.A. Mauad T. 2021. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *J. Hazard Mater.* 416126124. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.126124.
4. Brun NR., Beenakker M.M.T., Hunting E.R., Ebert D., Vijver M.G. 2017. Brood Pouch-Mediated Polystyrene Nanoparticle Uptake during *Daphnia Magna* Embryogenesis. *Nanotoxicology.* 11 (8). 1059-1069. doi: 10.1080/17435390.2017.1391344.
5. Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J.H., Abu-Omar M., Scott S.L., Suh S. 2020. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 8 (9). 3494-3511. doi: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>.
6. Cox K.D., Covernton G.A., Davies H.L., Dower J.F., Juanes F., Dudas S.E. 2019. Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53. 7068-7074. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01517>.
7. Cui R., Kim SW., An Y.J. 2017. Polystyrene Nanoplastics Inhibit Reproduction and Induce Abnormal Embryonic Development in the Freshwater Crustacean *Daphnia Galeata*. *Sci. Rep.* 7. 12095. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12299-2>.
8. Dacewicz E., Bergel T., Łobos-Moysa E., Moraczewska-Majkut K., Nocoń W. 2021. Mikroplastik i mezoplastik w zastoiskach wód Wisły na obszarach silnie zurbanizowanych powiatu krakowskiego – badania wstępne. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus.* 20 (3/4). 5-17.
9. Das P., Mandal S., Bhagabati S., Akhtar M., Singh S. 2012. Important Live Food Organisms and Their Role in Aquaculture. [w:] Sundaray J., Sukham M., Mohanty R., Otta S. (red.), *Frontiers in Aquaculture*. Narendra Publishing House. New Delhi. 69-86.
10. DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej* L 155/1. 1-19.
11. Iheanacho S., Ogbu M., Bhuyan M.S., Ogunji J. 2023. Microplastic Pollution: An Emerging Contaminant in Aquaculture. *Aquaculture and Fisheries.* 8. 603-616. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.01.007>.
12. Ivleva N.P., Wiesheu A.C., Niessner R. 2017. Microplastic in Aquatic Ecosystems. *Angewandte Chemie International Edition.* 56 (7). 1720-1739. doi: 10.1002/anie.201606957.

13. Makhdoumi P., Hossini H., Pirsahab M. 2023. A Review of Microplastic Pollution in Commercial Fish for Human Consumption. *Rev Environ Health*. 38 (1). 97-109. doi:10.1515/reveh-2021-0103.
14. Miloloža M., Bule K., Ukić Š., Cvetnić M., Bolanča T., Kušić H., Bulatović V.O., Grgić D.K. 2021. Ecotoxicological Determination of Microplastic Toxicity on Algae *Chlorella* Sp.: Response Surface Modeling Approach. *Water Air Soil Pollut*. 232. 327. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05267-0>.
15. Nagalakshmaiah M., Afrin S., Malladi R.P., Elkoun S., Robert M., Ansari M., Svedberg A., Karim Z. 2019. Biocomposites: Present trends and challenges for the future. In: *Green Composites for Automotive Applications*. Elsevier. 197-215.
16. Napper I.E., Davies B.F.R., Clifford H., Elvin S., Koldewey H.J., Mayewski P.A., Miner K.R., Potocki M., Elmore A.C., Gajurel A.P., Thompson R.C. 2020. Reaching New Heights in Plastic Pollution-Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest. *One Earth*. 3 (5). 621-630. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.020>.
17. Nocoń W., Moraczewska-Majkut K., Wiśniowska E., Pałka M. 2018. Mikroplastik w wodzie – stopień zanieczyszczenia i zagrożenia związane z obecnością tych mikrozanieczyszczeń. *Technologia Wody*. 60. 24-29.
18. Parolini M., Stucchi M., Ambrosini R., Romano A. 2023. A Global Perspective on Microplastic Bioaccumulation in Marine Organisms. *Ecological Indicators*. 149. 110179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110179>.
19. Phuong N.N., Zalouk-Vergnoux A., Poirier L., Poirier L., Kamari A., Châtel A., Mouneyrac C., Lagarde F. 2016. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environ. Pollut*. 211. 111-123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.035>.
20. Podbielska M., Szpyrka E. 2023. Microplastics – An Emerging Contaminants for Algae. Critical Review and Perspectives. *Sci. Total Environ*. 885. 163842. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163842>.
21. Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti M.C. A., Baiocco F., Draghi S., D'Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. 2021. Plasticenta: first evidence of microplastics in human placenta. *Environ. Int*. 106274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>.
22. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) 2023/2055 z dnia 25 września 2023 r. zmieniające załącznik XVII do rozporządzenia (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) w odniesieniu do mikrocząstek polimerów syntetycznych. *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*. L 238/67. 1-22.
23. Schmitt-Jansen M., Lips S., Schäfer H., Rummel C. 2020. Microplastic – A New Habitat for Biofilm Communities. In: Rocha-Santos T., Costa M., Mouneyrac C. (eds) *Handbook of Microplastics in the Environment*. Springer. Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10618-8\\_22-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10618-8_22-1).
24. Schwabl P., Köppel S., Königshofer P., Bucsics T., Trauner M., Reiberger T., Liebmann B. 2019. Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Ann. Intern. Med*. 171 (7). 453-457. doi: 10.7326/M19-0618.
25. Soursou V., Campo J., Picó Y. 2023. A critical review of the novel analytical methods for the determination of microplastics in sand and sediment samples. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 166. 117190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117190>.

26. Statista 2023. Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2021. [<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>; data wejścia 27.11.2023].
27. Yan Z., Zhao H., Zhao Y., Zhu Q., Qiao R., Ren H., Zhang Y. 2020. An efficient method for extracting microplastics from feces of different species. *J. Hazard. Mater.* 384. 121489. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121489>.

## **NANO- AND MICROPLASTICS – POLLUTION OF THE 21st CENTURY**

### Summary

*Plastics are an important material in our economy and everyday life. Thanks to low production costs and the ability to form them into various shapes, they have become the most universal material in the world. Plastics are mass-produced for applications in packaging, construction, electrical and electronics, textiles, transportation and agriculture. Global plastic production in 2021 amounted to 391 million tonnes. As a result of physical, biological, chemical or thermal processes, these materials decompose, forming particles called microplastics (MP) and/or nanoplastics (NP), which have become a significant environmental pollutant in the last decade. These xenobiotics are found in the air, water, soil, as well as in living organisms. They may also cause adverse effects on human health.*

**Keywords:** nanoplastic, microplastic, plastic, environment

