

OUR LIFE WITH PLASTIC, A REVIEW OF PLASTIC PRODUCT ABUSE IN THE AGE OF CONSUMERISM

NASZE ŻYCIE Z PLASTIKIEM, PRZEGLĄD ASPEKTÓW NADUŻYWANIA PRODUKTÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH W DOBIE KONSUMPCJONIZMU

Ewa Plażuk^{1,B,E-F}, Łukasz Zbucki^{2,A,G}

¹ Regional Research Center for Environment, Agriculture and Innovative Technologies EKO-AGRO-TECH, John Paul II University in Białą Podlaska, Poland

² Department of Management, John Paul II University in Białą Podlaska, Poland

¹ Regionalne Centrum Badań Środowiska, Rolnictwa i Technologii Innowacyjnych EKO-AGRO-TECH, Akademia Bialska im Jana Pawła II, Polska

² Zakład Zarządzania, Akademia Bialska im Jana Pawła II, Polska

Plażuk, E., Zbucki, Ł., (2024). Our life with plastic, a review of plastic product abuse in the age of consumerism / Nasze życie z plastikiem, przegląd aspektów nadużywania produktów z tworzyw sztucznych w dobie konsumpcjonizmu, *Social Dissertations / Rozprawy Społeczne*, 18(1), 506-525 <https://doi.org/10.29316/rs/194060>

Authors' contribution /

Wkład autorów:

A. Study design /

Zaplanowanie badań

B. Data collection / Zebranie danych

C. Data collection /

Dane – analiza i statystyki

D. Data interpretation /

Interpretacja danych

E. Preparation of manuscript

/ Wyszukiwanie i analiza

literatury

F. Literature analysis /

Wyszukiwanie i analiza

literatury

G. Funds collection /

Zebranie funduszy

Tables / Tabele: 0

Figures / Ryciny: 0

References / Literatura: 98

Submitted / Otrzymano:
13.02.2024

Accepted / Zaakceptowano:
03.10.2024

Summary: It is estimated that up to 9 million tons of plastic waste enters the oceans every year. There is a top of research on the harmfulness of microplastics to our health. While aspects of the use of polymeric packaging for food, dishes, or plastic furniture and clothing are often dictated by economic considerations, psychological, sociological and cultural aspects can be shaped at the level of operation of healthy and rational product choices in local markets. With increased exposure to plastic in the world, the goal of the natural sciences is to develop research tools on the harmfulness of microplastics. Within the framework of social responsibility, social sciences should give recommendations in areas of social life and propose practical measures to make people aware of where microplastic comes from and how to reduce its use.

Keywords: food, plastics, consumerism, microplastics – health aspects

Streszczenie: Szacunkowo określa się, że co roku do oceanów trafia nawet do 9 milionów ton odpadów z plastikowych surowców. Jest coraz więcej badań na temat szkodliwości mikroplastiku na nasze zdrowie. O ile aspekty stosowania polimerowych opakowań do żywności, naczyń, czy mebli i ubrań z tworzyw sztucznych często podyktowane są względami ekonomicznymi, o tyle psychologiczne, socjologiczne i kulturowe aspekty mogą być kształtowane na poziomie funkcjonowania zdrowych i racjonalnych wyborów produktów na rynkach lokalnych. Wobec wzmożonej ekspozycji na plastik w otaczającym nas świecie celem nauk przyrodniczych jest rozwijanie narzędzi badawczych nad szkodliwością mikroplastiku. W ramach społecznej odpowiedzialności nauki socjologiczne powinny dawać zalecenia w dziedzinach życia społecznego i proponować praktyczne działania w celu uświadamiania ludzi skąd się bierze mikroplastik i jak ograniczyć jego stosowanie.

Słowa kluczowe: żywność, tworzywa sztuczne, konsumpcjonizm, mikroplastik – aspekty zdrowotne

Address for correspondence: Ewa Plażuk, Regionalne Centrum Badań Środowiska, Rolnictwa i Technologii Innowacyjnych EKO-AGRO-TECH, Akademia Bialska, Siderska 107C, 21-500, Białą Podlaska, Polska; email: e.plazuk@akademiabialska.pl ORCID: 0009-0003-9684-1815

Copyright by: John Paul II University in Białą Podlaska, Ewa Plażuk, Łukasz Zbucki.

This is an Open Access journal, all articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercialShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

Introduction

It is consumption that is the flywheel of modern society in the 21st century. It determines the economy and economic growth, and also becomes an existential value. At a time of overuse of plastic products in our market as they are relatively cheap and convenient to use, special attention should be paid to building public awareness of the harmful consumer behaviour associated with our purchasing choices. If we want to make sure we are buying microplastic-free products, we can check the composition of the product carefully on the packaging, verify the contents, and choose glass packaging over plastic, especially for food, and dutifully educate others about the harmful effects of microplastic particles on our health. Even taking your own bags for shopping, or buying food by weight rather than packed and on plastic trays, can reduce this pressing global problem of polymer waste pollution every day.

The improvement of the selective collection of plastics, accurate automated sorting, as well as reuse and recycling seem to be most significant in an era of plastic overuse. Waste sorting should be taught at primary school level, which seems to have been introduced from the earliest school years.

According to global researchers of the microplastic problem, it is important to make the public aware of the impact of plastics on human health, i.e. the educational role of science, but also the development of research on the topic. More lectures or surveys are needed on the disastrous effects of plastics on our lives. In addition, many research studies aim to improve measurement methods to determine what risks these microparticles pose to humans (Veerasingam et al., 2021).

The ubiquity of microplastics – a macro-level problem

In our time, microplastics are not subject to uniform

Wprowadzenie

W XXI wieku to konsumpcja jest kołem zamachowym współczesnego społeczeństwa. Warunkuje ona ekonomikę, wzrost gospodarczy, ale też staje się wartością egzystencjalną. W dobie nadużywania na naszym rynku produktów z tworzyw sztucznych, które są relatywnie tanie i wygodne w użyciu, szczególnie uwagę należy poświęcić budowaniu świadomości społecznej, dotyczącej szkodliwych zachowań konsumenckich, związanych z naszymi wyborami zakupowymi. Jeśli chcemy mieć pewność, że kupujemy produkty pozbawione mikroplastiku, możemy sprawdzić dokładnie ich skład z opakowania i weryfikować jego zawartość, a także wybierać opakowania szklane zamiast plastikowych, szczególnie w przypadku żywności oraz obowiązkowo edukować innych na temat szkodliwego wpływu cząstek mikroplastiku na nasze zdrowie. Już choćby zabieranie na zakupy własnych toreb, czy kupowanie żywności na wagę, a niepakowanej na plastikowych tackach, może ograniczyć ten palący globalny problem zanieczyszczania środowiska odpadami polimerowymi każdego dnia.

Najbardziej znaczące w dobie nadużywania plastików wydaje się ulepszanie selektywnej zbiórki tworzyw sztucznych, dokładne zautomatyzowane sortowanie oraz ponowne wykorzystanie i recykling. Należy zadbać o edukację na poziomie szkół podstawowych pod względem sortowania śmieci, co wydaje się być wprowadzone od najmłodszych lat szkolnych.

Według światowych badaczy problemu mikroplastiku ważne jest uświadamianie społeczeństwa na temat wpływu tworzyw sztucznych na zdrowie ludzi, czyli rola edukacyjna nauki, ale również rozwój badań w tym temacie. Potrzebne jest więcej wykładów czy ankiet dotyczących zgubnego wpływu plastików na nasze życie. Ponadto celem wielu badań naukowych jest ulepszanie metod pomiarowych, dzięki którym możliwe jest określenie jakie zagrożenie dla człowieka niosą te mikrocząsteczki (Veerasingam i in., 2021).

Wszechobecność mikroplastiku – problem w skali makro

W naszych czasach mikrodrobiny plastiku nie pod-

definitions. According to EFSA (European Food Safety Authority), microplastics (MP) are a heterogeneous mixture of materials with different shapes. They can be in the form of fibres, flakes, ellipsoids or granules, with fragments ranging in size from 0.1 μm to 5 mm still classified as microplastics. Those particles that are smaller in diameter, i.e. less than 100 nm, fall under the group of nanoplastics (EFSA, 2016). Microplastics can be divided into secondary microplastics, i.e. those that result from the degradation and fragmentation of polymeric plastics (Waller et al., 2017), and primary microplastics, i.e. those derived from chemical products often used in our homes such as cosmetics, laundry detergents, as well as pharmaceuticals and substances resulting from industrial processing. Their addition can often improve in the stability, density or abrasive properties of the materials in which they are used. They are also known to function as carriers of fragrances, moisturisers or other ingredients with an activating effect. Their fragmentation into smaller particles can be a consequence of the use of various synthetic materials from our surroundings, such as abrasion from tyres, clothes, shoes or furniture. It can also be the result of mechanical erosion (e.g.: due to wind and wave power) and abrasion of larger plastics by masses of sand and gravel or degradation due to ageing of the polymer material. The most common reasons for this phenomenon are various atmospheric conditions, such as high temperatures or UV radiation (Andrady, 2011).

Polymer microparticles can also be released during the production of plastic objects in industrial processes. Microbeads of plastic are generated every day in our homes, for example as a result of the use of cosmetics and household chemicals, or the use of plastic crockery and packaging, and even from wearing clothes and items made of polymeric materials. Such particles then pass through the sewerage system. The particles flow through the sewerage system with the sewage, into watercourses and further into rivers and lakes, and contaminate the larger water bodies of the seas and oceans (Issac and Kandasubramanian, 2021). It turns out that microplastics are everywhere in our environment now, including oceans, rivers, sediments,

legają jednolitym definicjom. Mikroplastik (MP) według EFSA (Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności) to niejednorodna mieszanina materiałów o różnych kształtach. Mogą one przyjmować w postaci: włókien, płatków, elipsoid czy granulek, przy czym fragmenty o wielkości w zakresie od 0,1 μm do 5 mm to jeszcze mikroplastiki. Te cząstki, które mają mniejszą średnicę - poniżej 100 nm, podlegają zaliczeniu do grupy nanoplastików (EFSA, 2016). Mikroplastiki możemy podzielić na wtórne, czyli te, które powstają w wyniku degradacji i fragmentacji polimerowych tworzyw sztucznych (Waller i in., 2017) oraz pierwotne, czyli pochodzące z produktów chemicznych, często używanych w naszych domach takich jak: kosmetyki, środki piorące, a także farmaceutyki oraz substancje pochodzące z przetwórstwa przemysłowego. Często ich dodatek może zapewnić poprawę stabilności, gęstości czy właściwości ściernych materiałów, w których są stosowane. Znana jest również ich funkcja jako nośników zapachów, środków nawilżających albo też innych składników o działaniu uaktywniającym. Ich fragmentacja na mniejsze drobiny może być konsekwencją użytkowania różnych materiałów syntetycznych z naszego otoczenia, np. ścierania opon, ubrań, butów czy mebli. Może być również wynikiem erozji mechanicznej (np.: w wyniku działania wiatru i fal morskich) oraz ścierania większych plastików pod wpływem mas piasku i żwiru lub degradacji na skutek starzenia się materiału polimerowego. Najczęstszym powodem tego zjawiska są różne warunki atmosferyczne, takie jak: wysoka temperatura czy promieniowanie UV (Andrady, 2011).

Mikrocząstki polimeru mogą być również uwalniane podczas produkcji przedmiotów z tworzyw sztucznych w procesach przemysłowych. Mikrodrobiny plastiku są generowane codziennie w naszych domach na skutek na przykład stosowania kosmetyków i chemii gospodarczej, czy używania naczyń i opakowań plastikowych, a nawet w związku z noszeniem ubrań i przedmiotów wykonanych z materiałów polimerowych. Dalej cząstki takie przechodzą przez kanalizację. Cząsteczki wraz ze ściekami płyną kanalizacją do cieków wodnych, a dalej do rzek i jezior, a następnie zanieczyszczają większe akweny wodne morza i oce-

sewage, soil and even exist as particles commonly suspended in the air (Rillig, 2012, Prata, 2018, Gasperi et al., 2018, Rios Mendoza et al., 2018, Alimba and Faggio, 2019, Ferreira et al., 2019, Koelmans et al., 2019).

Along with microplastics, other small molecules called auxiliary molecules (also present in plastics) such as plasticising, colouring or modifying agents, can be released into the environment. Their low molecular weight increases their susceptibility to migration into the environment; the rate at which they migrate also depends on the rate of ageing of the starting material and the prevailing atmospheric conditions in the environment. Substances introduced into polymer plastics, such as phthalates and dyes containing lead or cadmium, are identified as the most hazardous contaminants (Castle, 2007, WHO, 2019). Production of all plastics is growing at an alarming rate. Its growth is estimated to be sizable with each passing year: from 1.5 million tonnes in the 1950s to a projected 33 billion tonnes in 2050 (Rochman et al., 2013, Li et al., 2016). In particular, plastics are derived from synthetic polymers produced by polymerising multiple monomers and mixtures of different materials (Thompson et al., 2009). As a result, plastics are mainly produced as polyethylene (PE) or low-density polyethylene (LDPE) and high-density polyethylene (HDPE). A number of other polymers can also be mentioned, which include the popularly used ones: polyester (PES), polyethylene terephthalate (PET), polyetherimide (PEI, trade name: Ultem), polystyrene (PS), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC), polyvinylidene chloride (PVDC, trade name: Saran), polycarbonate (PC), polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene (PC/ABS), high impact polystyrene (HIPS), polyamides (PA, nylon), acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), polyurethanes (PU), urea-formaldehyde (UF), melamine-formaldehyde (MF), polymethylmethacrylate (PMMA), polytetrafluoroethylene (PTFE) and polylactic acid (PLA), etc. All the polymers mentioned can have many applications in everyday life. For example, PP is widely used in: plant pots, bags, industrial fibres, nets, medical masks, bottle caps, rope, straws, containers,

any (Issac i Kandasubramanian, 2021). Okazuje się, że mikroplastik jest obecnie wszędzie w naszym środowisku, w tym w: oceanach, rzekach, osadach, ściekach, glebie, a nawet jako cząsteczki powszechnie zawieszona w otaczającym nas powietrzu (Rillig, 2012, Prata, 2018, Gasperi i in., 2018, Rios Mendoza i in., 2018, Alimba i Faggio, 2019, Ferreira i in., 2019, Koelmans i in., 2019).

Wraz z mikroplastikami do środowiska mogą być uwalniane inne małe cząsteczki, tzw. pomocnicze (obecne też w tworzywach sztucznych), takie jak substancje plastyfikujące, nadające barwę, czy będące modyfikatorami. Niska masa cząsteczkowa zwiększa ich podatność na migrację do otoczenia, również szybkość ich migrowania zależy od szybkości procesu starzenia się materiału wyjściowego i panujących w otoczeniu warunków atmosferycznych. Jako najbardziej niebezpieczne zanieczyszczenia są określane substancje wprowadzane do tworzyw polimerowych, takie jak ftalany i barwniki zawierające ołów lub kadm (Castle, 2007, WHO, 2019). Produkcja wszystkich tworzyw sztucznych rośnie w tempie zatrważającym. Szacuje się, że jej wzrost z każdym rokiem daje pokaźne rezultaty: od 1,5 miliona ton w latach pięćdziesiątych XX wieku do przewidywanych 33 miliardów ton w 2050 (Rochman i in., 2013, Li i in., 2016). Tworzywa sztuczne pochodzą w szczególności z syntetycznych polimerów wytwarzanych przez polimeryzację wielu monomerów i mieszanin różnych materiałów (Thompson i in., 2009). W związku z tym tworzywa sztuczne są produkowane głównie jako: polietylen (PE) czy polietylen o niskiej gęstości (LDPE) oraz polietylen o wysokiej gęstości (HDPE). Można wymienić również szereg innych polimerów, do których należą również popularnie stosowane: poliester (PES), politereftalan etylenu (PET), polieteroimid (PEI, nazwa handlowa Ultem), polistyren (PS), polipropylen (PP), polichlorek winylu (PVC), polichlorek winylidenu (PVDC, nazwa handlowa Saran), poliwęglan (PC), poliwęglan/akrylonitryl-butadien-styren (PC/ABS), wysokoudarowy polistyren (HIPS), poliamidy (PA, nylon), akrylonitryl-butadien-styren (ABS), poliuretany (PU), mocznik-formaldehyd (UF), melamina-formaldehyd (MF), polimetakrylan metylu (PMMA), po-

tanks and jugs, car fenders, plastic pressure pipe systems and centrifuge tubes. LDPE is typically used in outdoor furniture, wire cables, floor tiles, plastic bags, shower curtains, buckets, packaging and soap dispenser bottles. PVC is typically used in plumbing pipes and gutters, shower curtains, blood bags, window frames and flooring. HDPE is typically used in detergent bottles, plastic bottles, plastic bags, bottle caps. As a result of the overuse of plastic products, they are ubiquitous today and therefore one of the most common and persistent pollutants (Huang and Huang, 2007, Andrady and Neal, 2009, Ghosh, 2013, Hahladakis, 2018, Hitchcock and Mitrovic, 2019, Bastante-Rabadán and Boltes, 2024).

Plastics as a common food packaging material

The widespread use of plastic containers in the catering industry has increased concerns about microplastic contamination of food or beverages through forms of food packaging, preparation and cooking. There are increasing reports that larger multinational food companies have reduced their use of plastic packaging (Kędzierski et al., 2020, Shruti et al., 2020). Many studies on food contamination and beverage storage have mainly focused on bottled water (Mason et al., 2018, Oßmann et al., 2018, Winkler et al., 2019, Kankanige and Babel, 2020). Mason et al. (2018), Kankanige and Babel (2020) have found that microplastic contamination comes from PP and PET bottles, while Oßmann et al. (2018) reported higher microplastic values from single-use PET plastic bottles and, at the same time, from associated caps. The effect of microplastic release from beverage containers has also been tested by Winkler et al. (2019) who found

litetrafluoroetylen (PTFE) i kwas polimlekowy (PLA) itp. Wszystkie wymienione polimery mogą mieć wiele zastosowań w życiu codziennym. Na przykład PP jest szeroko używany w: doniczkach na rośliny, torbach, włóknach przemysłowych, siatkach, maskach medycznych, zakrętkach do butelek, linach, słomkach, pojemnikach, zbiornikach i dzbankach, błotnikach samochodowych, plastikowych systemach rur ciśnieniowych i rurkach wirówkowych. LDPE jest zwykle stosowany w: meblach zewnętrznych, kablach drucianych, płytach podłogowych, plastikowych torbach, zasłonach prysznicowych, wiadrach, opakowaniach i butelkach z dozownikiem mydła. PVC jest zwykle stosowany w: rurach hydraulicznych i rynnach, zasłonach prysznicowych, workach na krew, ramach okiennych i podłogach. HDPE jest zwykle używany w: butelkach na detergenty, plastikowych butelkach, plastikowych torbach, zakrętkach do butelek. W wyniku nadużywania produktów z tworzyw sztucznych są one wszechobecne w dzisiejszych czasach, a zatem są jednym z najbardziej powszechnych i trwałych zanieczyszczeń (Huang i Huang, 2007, Andrady i Neal, 2009, Ghosh, 2013, Hahladakis, 2018, Hitchcock i Mitrovic, 2019, Bastante-Rabadán i Boltes, 2024).

Plastik jako powszechny materiał do pakowania żywności

Powszechne stosowanie plastikowych pojemników w branży gastronomicznej zwiększyło obawy o zanieczyszczenie mikroplastikami żywności lub napojów poprzez formy pakowania, przygotowywania i gotowania żywności. Coraz częstsze są doniesienia, że większe międzynarodowe firmy spożywcze ograniczyły stosowanie opakowań z tworzyw sztucznych (Kędzierski i in., 2020, Shruti i in., 2020). Wiele badań dotyczących zanieczyszczenia żywności i przechowywania napojów koncentrowało się głównie na wodzie butelkowanej (Mason i in., 2018, Oßmann i in., 2018, Winkler i in., 2019, Kankanige i Babel, 2020). Mason i in. (2018), Kankanige i Babel (2020) stwierdzili, że zanieczyszczenie mikroplastikami pochodzi z butelek PP i PET, podczas gdy Oßmann i in. (2018) odnotowali wyższe wartości mikrodrobin plastiku z jednorazowych plastikowych butelek PET i jednocześnie

that particles from PET bottles and HDPE caps are a source of contamination of the drinking water stored in these bottles, which contains MP, especially after many bottle opening and closing procedures. Similarly, a mechanical process such as the grinding of salt or other spices, has been associated with finding many microplastic contaminants such as: PET, PMMA, POM and PS polymer particles when using spice mills containing plastics (Schymanski et al., 2020). When it comes to plastic food packaging, it is known that plastic can be peeled off the surface during its use, entailing the release of the MP which gets into food products, putting consumers at risk. Among takeaway containers, the highest release of plastic microparticles was recorded when boxes constructed mainly of PS were subjected to hot treatment with their contents (Du et al., 2020). Similarly, abrasion of microplastic particles caused by repeated washing of melamine bowls that were intended for food storage was observed. In that case, the migration of melamine monomer from cooking utensils was specifically investigated due to potential risks to human health (Ebner, 2020).

Fundamentals of microplastic food contamination

Estimates of MP intake rates currently average up to around 20 per cent of the weight of total food consumed daily (Heraud et al., 2013). One of the most common ways that MP enters the human body is through contaminated food (Kumar et al., 2020). As the number of publications in the field of microplastics in food products increases exponentially, several new studies have reported the occurrence of MP in fruit and vegetables (Oliveri et al., 2020) and packaged meat (Kędzierski et al., 2020). The number of plastic particles was determined in five commonly consumed fruit and vegetables (apples, pears, broccoli, lettuce and carrots) from different grocery shops. Between

z powiązanych z nimi nakrętek. Efekt uwalniania mikroplastiku z pojemników na napoje został również przetestowany przez Winklera i innych (2019), którzy stwierdzili, że cząstki z butelek PET i zakrętek HDPE są źródłem zanieczyszczenia przechowywanej w tych butelkach wody pitnej, która zawiera MP, zwłaszcza po wielu procedurach otwierania i zamykania butelek. Podobnie proces mechaniczny, taki jak mielenie soli lub innych przypraw, był związany ze znalezieniem wielu zanieczyszczeń mikrodrobinami plastiku, takiego jak: PET, PMMA, POM i cząstki polimerów PS podczas używania młynków do rozdrabniania przypraw zawierających tworzywa sztuczne (Schymanski i in., 2020). Jeśli chodzi o plastikowe opakowania do żywności wiadomo, że podczas ich użytkowania może dochodzić do zdzierania plastiku z ich powierzchni i w wyniku tego do uwalniania MP, który przedostaje się do produktów żywnościowych, zagrażając konsumentom. Wśród pojemników na wnos, najwyższy stopień uwalniania mikrodrobin plastiku notowano, gdy pudełka zbudowane głównie z PS były poddawane wraz z zawartością obróbce «na gorąco» (Du i in., 2020). Podobnie obserwowano ścieranie drobin mikroplastiku spowodowane wielokrotnym myciem misek melaminowych, które przeznaczone były do przechowywania żywności. W tym przypadku szczegółowe badania dotyczyły migracji monomeru melaminy z naczyń kuchennych ze względu na potencjalne zagrożenia dla zdrowia ludzi (Ebner, 2020).

Podstawy zanieczyszczenia żywności mikroplastikami

Obecnie szacunki dotyczące wskaźników spożycia MP stanowią średnio nawet do około 20% masy całkowitej żywności spożywanej codziennie (Heraud i in., 2013). Jednym z najczęstszych sposobów przedostawania się MP do organizmu człowieka jest zanieczyszczona żywność (Kumar i in., 2020). W miarę jak liczba publikacji w dziedzinie mikroplastiku w produktach żywnościowych rośnie wykładniczo, kilka nowych badań zgłosiło występowanie MP w owocach i warzywach (Oliveri i in., 2020) oraz pakowanym mięsie (Kędzierski i in., 2020). Liczba cząstek plastiku została określona w pięciu powszechnie spożywanych owocach i warzywach (jabłka, gruszki, brokuły, sałata

these food categories, the estimated daily intake of MP particles from fruit and vegetables was higher, averaging 1.50×10^7 particles/capita/day (in adults with a mean body weight of 70 kg) with a median size of approximately $2 \mu\text{m}$ (Oliveri et al., 2020). Plastic microparticles have also been found in products such as drinking mineral water, beer, tap water, seafood, table salt, canned food, as well as honey and sugar. Low concentrations combined with chronic exposure and ingestion of plastic microbeads by humans pose a potential risk to human health. Scientific reports show that microplastics have become ubiquitous in food and beverages (Liebezeit and Liebezeit, 2013, Yang et al., 2015, Gündođdu et al., 2018, Karami et al., 2018, Kosuth et al., 2018, Renzi and Blařkovič, 2018, Schymanski et al., 2018). Microplastic contamination of salt is a consequence of the widespread occurrence of plastic waste in the aquatic environment. Gündođdu et al. (2018) identified MP particles by way of μ -Raman spectroscopy in Turkish salts. These included sea salt (16 to 84 particles/kg), lake salt (8 to 102 particles/kg) and rock salt (9 to 16 particles/kg). The most common plastic polymers were PE and PP. The results obtained by Kosuth et al. (2018) on salt samples sold in US grocery shops and sourced from various countries around the world were significantly higher (from 46.7 to 806 particles/kg). Yang et al. (2015) also recorded microplastic particles in sea salt, lake salt and rock salt from China ranging from 7 to as many as 680 particles/kg. In all studies, rock salts and well salts were less contaminated than sea salts and lake salts (Yang et al., 2015).

Human exposure to microplastics and its effects

Microplastics that contaminate food have unclear effects on the functioning/physiology of organisms, but increasingly frequent reports describe damage and disease caused by human plastic consumption (Kumar et al., 2022, Bastante-Rabadán and Boltes, 2024), spreading through the food chain, via the

i marchew) z różnych sklepów spożywczych. Pomiedzy tymi kategoriami żywności szacowane dzienne spożycie cząstek MP z owoców i warzyw było wyższe i wynosiło średnio $1,50 \times 10^7$ cząstek / mieszkańca / dzień (u dorosłych o średniej masie ciała 70 kg) przy medianie wielkości około $2 \mu\text{m}$ (Oliveri i in., 2020). Mikrodrobiny plastiku znaleziono również w produktach takich jak: pitna woda mineralna, piwo, woda z kranu, owoce morza, sól kuchenna, żywność w puszkach oraz miód i cukier. Niskie stężenie, ale przewlekłe narażenie i spożycie mikrodrobin plastiku przez ludzi stanowi potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Raporty naukowe dowodzą, że mikrodrobiny plastiku stały się wszechobecne w żywności i napojach (Liebezeit i Liebezeit, 2013, Yang i in., 2015, Gündođdu i in., 2018, Karami i in., 2018, Kosuth i in., 2018, Renzi i Blařkovič, 2018, Schymanski i in., 2018). Zanieczyszczenie soli mikroplastikami jest konsekwencją powszechnego występowania odpadów z tworzyw sztucznych w środowisku wodnym. Gündođdu i in. (2018) zidentyfikował cząstki MP za pomocą spektroskopii μ -Ramana w tureckich solach. Obejmowały one sól morską (od 16 do 84 cząstek/kg), sól jeziorną (od 8 do 102 cząstek/kg) i sól kamienną (od 9 do 16 cząstek/kg). Najczęściej występującymi polimerami z tworzyw sztucznych były PE i PP. Wyniki uzyskane przez Kosuth i innych (2018) na próbkach soli sprzedawanych w amerykańskich sklepach spożywczych i pochodzących z różnych krajów na całym świecie były znacznie wyższe (od 46,7 do 806 cząstek/kg). Yang i inni (2015) również odnotowali cząstki mikroplastiku w soli morskiej, soli jeziornej i soli kamiennej z Chin w ilości od 7 do nawet 680 cząstek/kg. We wszystkich badaniach sole skalne i sole studzienne były mniej zanieczyszczone niż sole morskie i sole jeziorne (Yang i in., 2015).

Ekspozycja lu dzi na mikroplastik i jego skutki

Mikroplastik, który zanieczyszcza żywność, ma niejasny wpływ na funkcjonowanie/fizjologię organizmów, ale coraz częściej opisuje się szkody i choroby spowodowane konsumpcją plastiku przez ludzi (Kumar i in., 2022, Bastante-Rabadán i Boltes, 2024), rozprzestrzeniające się w łańcuchu pokarmowym,

dermal route or by inhalation. Once the right research has been done to understand these issues, it will be possible to focus on ways of dealing with the problems caused by overuse of plastics around the world. All food products should comply with production and storage standards and be strictly controlled by the relevant inspections, especially in the area of consumer health and safety. It has been proven that many products consumed are contaminated with MP. Although research in this area has been mentioned previously, there are still gaps in knowledge of the occurrence of microplastics in foodstuffs. There is a lack of standardised methods, techniques and protocols for monitoring and regulatory frameworks for the presence of microplastics in seafood and foodstuffs; therefore, parallel expertise in the consumer market is needed. For a proper definition of microplastics and standardisation methods, it is also important to check the diversity of food consumption around the world. We must understand the term 'exposure' as the amount of microplastic that comes into contact with humans in food and drink. Initially, it was not very easy to find measurable amounts of MP in body cells, in the bloodstream or in faeces. According to a recent study, microplastics have been detected in human blood from healthy donors (Leslie et al., 2022). The researchers developed a highly sensitive sampling method and a combined analytical method with dual pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry and measured plastic particles ≥ 700 nm in human whole blood. The most common polymers there were polyethylene terephthalate, polyethylene and styrene polymers, as well as polymethyl methacrylate. The mean measurable concentration of plastic particles in blood was 1.6 $\mu\text{g}/\text{ml}$ in this study group (Schwabl et al., 2019). Other researchers have detected MP in human faecal samples (Schwabl et al., 2019, Zhang et al., 2021) and even in placentas (Ragusa et al., 2021). The researchers speculate that such microplastic particles, which are larger than about 150 μm , are unlikely to be absorbed, while MPs of less than 150 μm can move from the gut to the lymph and circulatory system, causing systemic exposure. The smallest fraction of MP (0.1 > 10 μm) would be able to enter all organs, cross

drogą skórą lub poprzez wdychanie z powietrza. Po przeprowadzeniu odpowiednich badań, które pozwolą zrozumieć te kwestie, możemy skupić się na tym, jak radzić sobie z problemami spowodowanymi nadużywaniem plastiku na całym świecie. Wszystkie produkty spożywcze powinny być zgodne ze standardami produkcji i przechowywania oraz ściśle kontrolowane przez odpowiednie inspekcje, zwłaszcza w obszarach zdrowia i bezpieczeństwa dla konsumentów. Udowodniono, że wiele produktów spożywanych jest zanieczyszczone MP. Chociaż wspomniano wcześniej o badaniach w tej dziedzinie, nadal istnieją luki w wiedzy na temat występowania mikroplastiku w środkach spożywczych. Brakuje ustandaryzowanych metod, technik i protokołów monitorowania oraz ram regulacyjnych dotyczących obecności mikrodrobin plastiku w owocach morza i środkach spożywczych, w związku z czym konieczne jest prowadzenie równoległych ekspertyz na rynku konsumenckim. Dla właściwej definicji mikroplastiku i metod standaryzacji ważne jest również sprawdzenie różnorodności konsumpcji produktów spożywczych na całym świecie. Musimy wziąć pod uwagę słowo „ekspozycja” jako ilość mikroplastiku, która ma kontakt z człowiekiem w żywności i napojach. Początkowo nie można było zbyt łatwo znaleźć mierzalnych ilości MP w komórkach ciała, w krwiobiegu lub w kale. Według ostatnich badań mikroplastik został wykryty w ludzkiej krwi zdrowych dawców (Leslie i in., 2022). Badacze opracowali bardzo czułą metodę pobierania próbek i skojarzoną metodę analityczną z podwójną pirolizą - chromatografią gazową / spektrometrią mas i zmierzili cząstki plastiku ≥ 700 nm w ludzkiej krwi pełnej. Najczęściej tam występującymi polimerami były: politereftalan etylenu, polietylen i polimery styrenu, jak również polimetakrylan metylu. Średnie mierzalne stężenie cząstek plastiku we krwi wynosiło 1,6 $\mu\text{g}/\text{ml}$ w tej grupie badanej (Schwabl i in., 2019). Inni badacze wykrywali MP w próbkach ludzkiego kału (Schwabl i in., 2019, Zhang i in., 2021), a nawet w łożyskach (Ragusa i in., 2021). Naukowcy spekulują, że takie cząsteczki mikroplastiku, które mają wielkości powyżej około 150 μm prawdopodobnie nie mogą zostać wchłonięte, podczas gdy MP rzędu mniej niż 150 μm mogą przemieszczać się

membranes, blood-brain barriers and placentas. In addition, interactions of micro- and nanoplastics with the immune system are expected to have the potential to lead to immunotoxicity, with consequent side effects (i.e. immunosuppression, immune activation and abnormal inflammatory responses) (Bouwmeester et al., 2015, Galloway, 2015, Lusher et al., 2017, Wright and Kelly, 2017). Microplastics have been reported in human colectomy samples obtained from patients with colorectal cancer (Ibrahim et al., 2021). However, these MP particles were comparably large (800-1600 μm) and therefore unable to cross the gastrointestinal epithelium. Particles $<150 \mu\text{m}$ are theoretically capable of crossing the gastrointestinal barrier in mammalian bodies (Hussain, 2001, Campanale et al., 2020). The presence of microplastics degrades the environment and can lead to a number of physiological disorders in living organisms, ranging from reduced growth or reproductive capacity to accelerated death. There are still not enough studies to date confirming the close link between microplastics and food safety. Sooner or later, the entire food chain may become contaminated with plastics and their derivatives (Issac and Kandasubramanian, 2021).

Health consequences of MP particulate pollution

The adverse and long-term effects of human exposure to plastic microparticles are not well understood, given the simultaneous exposure to such particles via several routes and from multiple sources (CIEL, 2019). Although scientific evidence indicates the presence of plastics in many foods, there is no information available on the fate of microplastics in the human body after ingestion of the particles (Wright and Kelly, 2017, Rist et al., 2018). The main challenge at this point is that we do not know the amount of very small MPs, including those of a size capable of penetrating cells, in water, sediments, organisms and air. According to recent studies, the widespread

z jelit do limfy i układu krążenia, powodując ekspozycję ogólnoustrojową. Najmniejsza frakcja MP ($0,1 > 10 \mu\text{m}$) byłaby w stanie dostać się do wszystkich narządów, błon krzyżowych, barier krew-mózg i łożysk. Ponadto oczekuje się, że interakcje mikro- i nanoplastików z układem odpornościowym mogą potencjalnie prowadzić do immunotoksyczności, a w konsekwencji powodować skutki uboczne (tj. immunosupresję, aktywację immunologiczną i nieprawidłowe reakcje zapalne) (Bouwmeester i in., 2015, Galloway, 2015, Lusher i in., 2017, Wright i Kelly, 2017). Mikroplastik odnotowano w ludzkich próbkach z kolektomii uzyskanych od pacjentów z rakiem jelita grubego (Ibrahim i in., 2021). Jednak te cząstki MP były porównywalnie duże (800-1600 μm), a zatem nie były w stanie przekroczyć nabłonka przewodu pokarmowego. Cząsteczki $<150 \mu\text{m}$ są teoretycznie zdolne do przekraczania bariery żołądkowo-jelitowej w ciałach ssaków (Hussain, 2001, Campanale i in., 2020). Obecność mikrodrobin plastiku wpływa na degradację środowiska i może prowadzić do wielu zaburzeń fizjologicznych u organizmów żywych począwszy od ograniczenia ich wzrostu czy zdolności reprodukcyjnych, po przyśpieszenie ich śmierci. Do tej pory nie ma wciąż wystarczającej liczby badań potwierdzających ścisły związek między mikroplastikami a bezpieczeństwem żywności. Prędzej czy później cały łańcuch pokarmowy może zostać zanieczyszczony plastikiem i jego pochodnymi (Issac i Kandasubramanian, 2021).

Konsekwencje zdrowotne zanieczyszczenia cząstkami stałymi MP

Niekorzystne i długoterminowe skutki narażenia ludzi na mikrodrobiny plastiku nie są dobrze poznane, biorąc pod uwagę jednoczesne narażenie na takie cząstki kilkoma drogami i z wielu źródeł (CIEL, 2019). Chociaż dowody naukowe wskazują na obecność plastiku w wielu produktach spożywczych, nie ma dostępnych informacji na temat losu mikroplastiku w organizmie człowieka po spożyciu cząstek (Wright i Kelly, 2017, Rist i in., 2018). Głównym wyzwaniem w tym momencie jest to, że nie znamy ilości bardzo małych MP, w tym tych o rozmiarach zdolnych do wnikiwania do komórek, w wodzie, osadach, organizmach

presence of MPs in the environment has raised concerns about MP exposure and its health effects (Agrawal et al., 2024, Borgatta and Breider, 2024). The potential risks of MP ingestion have been widely discussed in a number of studies, which have shown that MP uptake from contaminated soil can expose people to disease (Wright and Kelly, 2017, CIEL, 2019). Plants (fruits and vegetables) tend to accumulate these toxic chemicals from the soil (Li et al., 2019). Most microplastics are derived from polymers that resist chemical degradation in vivo. Their biological stability, size and shape, together with their dose and stability, are important factors contributing to their impact on health. If they enter the body by inhalation or ingestion, they may also be resistant to mechanical removal, adherence or deposition (Wright and Kelly, 2017). The results suggest that they can move through living cells into the lymphatic or circulatory system, potentially accumulating in secondary organs or affecting the immune system and cellular health (Brown et al., 2001, Rieux et al., 2005, Frohlich et al., 2009). After microplastic ingestion, particles smaller than 150 μm can travel to the lymph and circulatory system, and particles smaller than 20 μm can penetrate some organs (Barboza et al., 2018). The smallest plastic nanoparticles can enter all organs and be transported across cell membranes (Bouwmeester et al., 2015). A number of laboratory studies have demonstrated cellular uptake of MPs using various human cell lines. Some researchers have conducted laboratory experiments with PS molecules in lung cells and human gastric adenocarcinoma cells respectively, demonstrating induced pro-inflammatory responses (Walczak et al., 2015, Forte et al., 2016, Fuchs et al., 2016, Liu et al., 2018). The direct effects of MPs are cytotoxicity, inflammation and the production of reactive oxygen species (Elsaesser and Howard, 2012). In addition, BPA as a component of cans and other food packaging causes endocrine disruption and is able to migrate out of polycarbonates, adhering to food or beverages and consequently can be ingested by humans (Calafat et al., 2008). It can cause breast and prostate cancer in mammals, possibly promoting the same types of cancer in humans (Michałowicz,

i powietrzu. Według najnowszych badań powszechna obecność MP w środowisku wzbudziła obawy dotyczące narażenia na MP i ich wpływu na zdrowie (Agrawal i in., 2024, Borgatta i Breider, 2024). Potencjalne ryzyko związane z przyjmowaniem MP zostało szeroko omówione w wielu badaniach, które wykazały, że wchłanianie MP z zanieczyszczonej gleby może narażać ludzi na choroby (Wright i Kelly, 2017, CIEL, 2019). Rośliny (owoce i warzywa) mają tendencję do gromadzenia tych toksycznych chemikaliów z gleby (Li i in., 2019). Większość mikroplastiku pochodzi z polimerów, które są odporne na degradację chemiczną in vivo. Ich stabilność biologiczna, rozmiar i kształt wraz z dawką i stabilnością są ważnymi czynnikami przyczyniającymi się do ich wpływu na zdrowie. W przypadku dostania się do organizmu poprzez wdychanie lub spożycie, mogą być one również odporne na mechaniczne usuwanie, przywieranie lub osadzanie (Wright i Kelly, 2017). Wyniki sugerują, że mogą one przemieszczać się przez żywe komórki do układu limfatycznego lub krwionośnego, potencjalnie gromadząc się w narządach wtórnych lub wpływając na układ odpornościowy i zdrowie komórek (Brown i in., 2001, Rieux i in., 2005, Frohlich i in., 2009). Po spożyciu mikroplastiku cząstki mniejsze niż 150 μm mogą przemieszczać się do limfy i układu krążenia, a cząstki mniejsze niż 20 μm mogą przenikać do niektórych narządów (Barboza i in., 2018). Najmniejsze nanocząstki plastiku mogą dostać się do wszystkich narządów i być transportowane przez błony komórkowe (Bouwmeester i in., 2015). Wiele badań laboratoryjnych wykazało wychwyty komórkowy MP przy użyciu różnych ludzkich linii komórkowych. Niektórzy badacze przeprowadzili eksperymenty laboratoryjne z cząsteczkami PS odpowiednio w komórkach płuc i ludzkich komórkach gruczołakoraka żołądka, wykazując indukowane odpowiedzi prozapalne (Walczak i in., 2015, Forte i in., 2016, Fuchs i in., 2016, Liu i in., 2018). Bezpośrednimi skutkami MP są: cytotoksyczność, stan zapalny i produkcja reaktywnych form tlenu (Elsaesser i Howard, 2012). Również BPA jako składnik puszek i innych opakowań żywności powoduje zaburzenia endokrynologiczne i jest w stanie migrować z poliwęglanów, przylegając do żywności lub napojów i w konse-

2014). Studies have shown that other chemicals present in plastics or adhering to microplastics, such as low molecular weight styrene residues, polyvinyl chloride monomer and pharmaceuticals, can become carcinogenic, mutagenic and endocrine disruptors and can cause cardiovascular disease (Halden, 2010, Zeng et al., 2022). The distribution of plastic particles of 1-10 μm in tissues and organs in the body as a whole is still unknown, however, it is known that they can accumulate in specific tissues (Powell et al., 2010). In some nanoparticle studies, the liver and the spleen have been identified as the main target organs, e.g.: for silver nanoparticles (Gaillet and Rouanet, 2015). Microplastics have been found in lung cancer tissues collected from patients with various types of cancer (Chen et al., 2022). According to other studies, oral exposure to MP contamination causes hepatitis, neurotoxic reactions, decreased body weight, decreased mucin excretion in the colon, altered amino acid and bile acid metabolism and altered microbiota composition (Lu et al., 2018). Six different polymers found in peripheral organs, in particular in the liver of patients with chronic liver disease, were recently analysed (Horvatits et al., 2022). Previous studies have assessed the role of microplastics as a chemical vector in humans (EFSA, 2016, FAO, 2017). Microplastics can accumulate other organic pollutants and transport them, which is why MP is called a 'Trojan horse' for pollutants and toxic substances (Hildebrandt, 2021). Some studies on the uptake of chemicals by plastics in the environment have shown that MPs can bind metals (Ashton et al., 2010, Holmes et al., 2012, Vedolin et al., 2018). Among these metals, mercury is of particular importance as it is a global contaminant common in the marine environment and is highly toxic to animals and humans (Eagles-Smith et al., 2018). In addition to chemicals, MP particles can absorb bacteria and other microorganisms that have been found on plastic waste. Referred to as the 'plastisphere', it can also include exotic invasive pathogen species that contribute to biodiversity loss and other negative ecological and economic impacts across the planet (Zettler et al., 2013, Bastante-Rabadán and Boltes, 2024).

kwencji może być spożywany przez ludzi (Calafat i in., 2008). Może wywoływać raka piersi i prostaty u ssaków, prawdopodobnie promując te same rodzaje raka u ludzi (Michałowicz, 2014). Badania wykazały, że inne związki chemiczne obecne w tworzywach sztucznych lub przylegające do mikroplastiku, takie jak pozostałości styrenów o niskiej masie cząsteczkowej, monomer polichlorku winylu i farmaceutyki, mogą stać się rakotwórcze, mutagenne i zaburzające gospodarkę hormonalną oraz mogą powodować choroby układu krążenia (Halden, 2010, Zeng i in., 2022). Dystrybucja cząstek plastiku o wielkości 1-10 μm w tkankach i narządach w odniesieniu do całego ciała jest nadal nieznaną, jednakże wiadomo, że mogą gromadzić się w określonych tkankach (Powell i in., 2010). W niektórych badaniach nanocząstek wątroba i śledziona zostały zidentyfikowane jako główne narządy docelowe, np.: dla nanocząstek srebra (Gaillet i Rouanet, 2015). Mikroplastiki stwierdzono w tkankach nowotworowych płuc pobranych od pacjentów z różnymi rodzajami nowotworów (Chen i in., 2022). Według innych badań, doustna ekspozycja na zanieczyszczenie MP powoduje zapalenie wątroby, reakcje neurotoksyczne, zmniejszenie masy ciała, zmniejszone wydalanie mucyny w okrężnicy, zmieniony metabolizm aminokwasów i kwasów żółciowych oraz zmieniony skład mikrobioty (Lu i in., 2018). Niedawno przeanalizowano sześć różnych polimerów znalezionych w narządach obwodowych, w szczególności w wątrobie pacjentów z przewlekłą chorobą wątroby (Horvatits i in., 2022). Wcześniejsze badania oceniały rolę mikroplastiku jako wektora chemicznego u ludzi (EFSA, 2016, FAO, 2017). Mikroplastik może gromadzić inne zanieczyszczenia organiczne i transportować je, dlatego MP nazywany jest „koniem trojańskim” dla zanieczyszczeń i substancji toksycznych (Hildebrandt, 2021). Niektóre badania dotyczące wchłaniania substancji chemicznych przez tworzywa sztuczne w środowisku wykazały, że MP mogą wiązać metale (Ashton i in., 2010, Holmes i in., 2012, Vedolin i in., 2018). Wśród tych metali rtęć ma szczególne znaczenie, ponieważ jest globalnym zanieczyszczeniem powszechnym w środowisku morskim i jest wysoce toksyczna dla zwierząt i ludzi (Eagles-Smith i in., 2018). Cząstki MP mogą absorbować

Summary

As a result of far-reaching consumerism of our times, there is a threat posed by an excess of manufactured plastics, which represent waste that does not naturally occur in the environment. They have very long decay periods during which many chemicals, often toxic, are released into the environment, leading to secondary pollution (Piontek, 2019). Plastics, due to their multifaceted applications, were supposed to improve the quality of human life. This was the case in many areas because, for example, packaging for food, cosmetics, etc. provides good protection to help keep products fresher for longer. However, the overuse of plastics is leading to a global environmental catastrophe (Jastrzębska, 2020).

The annual global demand for plastics has grown steadily in recent years to around 245 million tonnes, of which around 50 million tonnes is accounted for by plastic use in Europe. The use and manufacture of plastics involves the consumption of significant amounts of fossil fuels, with negative consequences for the environment and climate change. Apart from the cost of manufacturing and recycling these materials, the biggest concern of our time is the microplastic contamination of all the environments (Andrady, 2011, Plastics Europe 2021). Unsorted plastic waste, such as plastic bags, disposable cutlery and packaging, inevitably mixes with food waste during disposal. MP in the soil is then taken up by plants, leading to consumption by humans or animals (Khalid, et al. 2020) In 2020, almost 10.2 million tonnes of post-consumer plastic waste were collected and sent for recycling (locally or outside Europe) in Europe. In 2021, plastics manufacturers have planned numerous investments in chemical recycling technologies,

oprócz chemikaliów, również bakterie i inne mikroorganizmy, które zostały znalezione na plastikowych odpadach. Określane jako „plastisfera”, mogą również obejmować egzotyczne inwazyjne gatunki patogenów, które przyczyniają się do utraty różnorodności biologicznej i innych negatywnych skutków ekologicznych i ekonomicznych na całej naszej planecie (Zettler i in., 2013, Bastante-Rabadán i Boltes, 2024).

Podsumowanie

W naszych czasach na skutek daleko posuniętego konsumpcjonizmu obserwuje się zagrożenie nadmiarem wyprodukowanych plastików, które stanowią odpady niewystępujące naturalnie w środowisku naturalnym. Cechuje je bardzo długi okresem rozpadu, podczas którego wiele substancji chemicznych, często toksycznych, jest uwalnianych do środowiska, co prowadzi do wtórnego zanieczyszczenia (Piontek, 2019). Plastik ze względu na swoje wielostronne zastosowania miał poprawić jakość życia człowieka. W wielu dziedzinach się do tego przyczynił, bo na przykład opakowania do żywności, kosmetyków itp. stanowią dobrą ochronę, dzięki której produkty dłużej zachowują świeżość. Jednak nadmierne użytkowanie plastiku prowadzi do globalnej katastrofy ekologicznej (Jastrzębska, 2020).

Roczne globalne zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne w ostatnich latach stale rosło i wynosiło około 245 milionów ton, z czego ok. 50 mln ton przypada na użytkowanie plastiku w Europie. Użytkowanie i wytwarzanie tworzyw sztucznych pociąga za sobą zużywanie znacznych ilości paliw kopalnych, co ma negatywne skutki dla środowiska i zmian klimatycznych. Oprócz kosztów wytwarzania i recyklingu tych materiałów, największą bolączką naszych czasów jest zanieczyszczenie mikrodrobinami plastiku już wszystkich środowisk (Andrady, 2011, Plastics Europe 2021). Niesortowane odpady z tworzyw sztucznych, takie jak plastikowe torby, jednorazowe sztucze i opakowania, nieuchronnie mieszają się z odpadami spożywczymi podczas utylizacji. MP w glebie jest następnie pobierany przez rośliny, co prowadzi do spożycia przez ludzi lub zwierzęta (Khalid, i in. 2020). W 2020 r. w Europie zebrano i skierowano do recyklingu (lokalnie lub poza

with the value of these investments expected to increase from the €2.6 billion envisaged for 2025 to €7.2 billion in 2030. It has yet to be estimated how much of the 80 million tonnes of packaging plastics (including single-use items commonly found in beach litter) consumed worldwide each year ends up in the oceans (Andrady, 2011, *Plastics Europe 2021*). Plastics have thus become an integral part of our daily lives, as they are a versatile, lightweight, strong and potentially transparent material, ideally suited for a variety of uses, including toys, furniture or other home furnishing accessories such as lamps, fittings, etc. They have replaced natural materials used for these purposes, such as: wood or metals. Their low cost, excellent oxygen/moisture barrier properties, biological inertness and low weight make them excellent packaging materials. Unfortunately, they are replacing conventional materials such as glass, metal and paper, as well as classic textiles, which include cotton and linen. According to the EEA study on plastics in textiles, European consumers throw away around 5.8 million tonnes of textile products each year – equivalent to around 11 kg per person – two thirds of which are synthetic fibre products. According to available data for 2017, households in Europe consumed approximately 13 million tonnes of textile products (clothing, footwear and home textiles). Textiles made of plastics account for about 60% of clothing and 70% of home textiles, so it is important to promote consumer sense and moderation, and to control microplastic emissions in the environment, which will raise awareness of the scale of the problem (EEA, 2024). It is estimated that between 200,000 and 500,000 tonnes of microplastic fibres from textiles enter the marine environment each year (Sherrington, 2016, *Ellen MacArthur Foundation, 2017*).

It seems reasonable to undertake more public education campaigns addressed to children and young people. Healthy and sensible consumer choices can also be promoted as often as possible in academic circles. It is important to emphasise the importance of choice as the awareness present every day in the case of not only purchases, but also cosmetic procedures, e.g. hybrid manicure, during which the exchange in

Europe) prawie 10,2 mln ton pokonsumenckich odpadów tworzyw sztucznych. W roku 2021 producenci tworzyw sztucznych zaplanowali liczne inwestycje w technologie recyklingu chemicznego, a ich wartość ma wzrosnąć z 2,6 mld euro przewidzianych na rok 2025 do 7,2 mld euro w roku 2030. Jeszcze nie oszacowano, ile z 80 milionów ton tworzyw opakowaniowych (w tym przedmioty jednorazowego użytku powszechnie spotykane w śmieciach plażowych) zużywanych każdego roku na całym świecie trafia do oceanów (Andrady, 2011, *Plastics Europe 2021*). „Plastiki” stały się, więc integralną częścią naszego codziennego życia, gdyż są wszechstronnym, lekkim, mocnym i potencjalnie przezroczystym materiałem, idealnie nadają się do różnych zastosowań, m.in. jako: zabawki, meble czy inne akcesoria do wyposażenia mieszkań, np.: lampy, armatura itp. Zastąpiły używane do tych celów naturalne materiały, takie jak: drewno czy metale. Ich niski koszt, doskonałe właściwości barierowe dla tlenu/wilgoci, obojętność biologiczna i niewielka waga sprawiają, że są doskonałymi materiałami opakowaniowymi. Niestety zastępują one konwencjonalne materiały, takie jak: szkło, metal i papier, a także tekstylia klasyczne, do których należą: bawełna czy len. Zgodnie z opracowaniem EEA dotyczącym tworzyw sztucznych w tekstyliach europejscy konsumenci każdego roku wyrzucają ok. 5,8 miliona ton wyrobów tekstylnych – co odpowiada ok. 11 kg na osobę – z czego dwie trzecie to wyroby z włókien syntetycznych. Według dostępnych danych za rok 2017 r. gospodarstwa domowe w Europie zużyły ok. 13 milionów ton wyrobów tekstylnych (odzieży, obuwia i tekstyliów domowych). Tekstylia z tworzyw sztucznych stanowią ok. 60% odzieży i 70% tekstyliów domowych, dlatego ważne jest promowanie rozsądku konsumenckiego i umiaru oraz kontrola emisji mikrodrobin plastiku w środowisku, co uświadomi skalę problemu (EEA, 2024). Szacuje się, że każdego roku do środowiska morskiego trafia od 200 000 do 500 000 ton włókien mikrodrobin plastiku pochodzących z tekstyliów (Sherrington, 2016, *Fundacja Ellen MacArthur, 2017*).

Zasadne wydaje się, by podjąć więcej akcji edukujących społeczeństwo, skierowanych do dzieci i młodzieży. Również w środowisku akademickim można

the process of mechanical abrasion creates a lot of MP particles. There has been a growing body of research on the effects of MP's chemical and molecular toxicity on human health recently, but the development of technologies and strategies for the disposal and eventual destruction of MPs, i.e. the development of closed-loop systems such as chemical recycling and thorough regulations to reduce plastic consumption and create safe plastics, are still worth pursuing (Meegoda and Hettiarachchi, 2020). While better design, manufacture, collection, reuse, repurposing and reprocessing/recycling of plastic items is needed, what is required for the most part is a reduction in the use of plastic materials in the first place, particularly for single-use packaging (Rhodes, 2019). Researchers' efforts are focused not only on building the knowledge base related to the risk of human exposure to MPs, but may also be directed towards the use of specific techniques to clean water or air of MPs, e.g. improving the capture of microplastics in practice, e.g. through filters in washing machines to reduce microplastic emissions to water and air when washing clothes, or in water purification systems in treatment plants, as well as soil treatment (EC, 2020a, Grbic et al., 2019, Ramage et al., 2022).

Individual consumption is by far the strongest determinant of environmental impact (Wiedmann et al., 2020). The increasing consumption is well ahead of the possible positive impact of technological innovations, which, as it turns out, can only slightly reduce the pressures on ecosystems (Lan et al., 2016). Therefore, if we want to counter environmental catastrophe, the focus should not so much be on technological solutions or limiting the growth of the human population but on stopping the ever-increasing consumption.

propagować jak najczęściej zdrowe i rozsądne wybory konsumenckie. Podkreślać należy znaczenie wyboru jako świadomości podejmowanej każdego dnia w przypadku nie tylko zakupów, ale również zabiegów kosmetycznych, np.: manicure hybrydowy, podczas którego wymiany w procesie ścierania mechanicznego powstaje mnóstwo drobin MP. Ostatnio jest coraz więcej badań nad wpływem toksyczności chemicznej i cząsteczkowej MP na zdrowie ludzkie, ale warte kontynuacji są jeszcze: opracowanie technologii i strategii usuwania i ewentualnego niszczenia MP – rozwój systemów o obiegu zamkniętym, takich jak recykling chemiczny oraz dokładne przepisy mające na celu zmniejszenie zużycia tworzyw sztucznych i tworzenie bezpiecznych tworzyw sztucznych (Meegoda i Hettiarachchi, 2020). Chociaż konieczne jest lepsze projektowanie, produkcja, zbieranie, ponowne użycie, ponowne wykorzystanie i ponowne przetwarzanie/recykling przedmiotów z tworzyw sztucznych, w przeważającej mierze wymagane jest przede wszystkim ograniczenie stosowania materiałów z tworzyw sztucznych, w szczególności w przypadku opakowań jednorazowych (Rhodes, 2019). Wysiłki naukowców koncentrują się nie tylko na budowaniu bazy wiedzy związanej z ryzykiem ekspozycji ludzi na MP, ale też mogą być ukierunkowane na stosowanie określonych technik oczyszczania wody czy powietrza z MP, np. zwiększenie wychwytywania mikrodrobin plastiku w praktyce, np. przez filtry w pralkach, aby zmniejszyć emisje mikrodrobin plastiku do wody i powietrza podczas prania ubrań, czy w systemach oczyszczania wody w oczyszczalniach, jak również oczyszczanie gleby (EC, 2020a, Grbic i in., 2019, Ramage i in., 2022).

Indywidualna konsumpcja to zdecydowanie najsilniejszy wyznacznik wpływu na środowisko (Wiedmann i in., 2020). Rosnąca konsumpcja znacznie wyprzedza możliwy pozytywny wpływ innowacji technologicznych, które jak się okazuje, mogą tylko nieznacznie zmniejszać wywieraną presję na ekosystemy (Lan i in., 2016). Zatem jeśli chcemy przeciwdziałać katastrofie środowiskowej, to powinniśmy skupić się nie tyle na rozwiązaniach technologicznych czy ograniczeniu wzrostu ludzkiej populacji, ile na zatrzymaniu nieustannie rosnącej konsumpcji.

Conclusions

Giving up plastics is difficult because, being used in almost every area of life, they are an ideal material for innovation, which very often turn out to be impossible with other materials. Reducing plastic consumption requires fundamental and radical changes in the behaviour and value systems of both consumers and business. Plastics have become a ubiquitous and convenient formula for both the packaging and materials of most everyday objects. This form has unfortunately become firmly entrenched in our consumer choices, for which it is difficult to find an equivalent alternative among the traditionally used materials. However, as the famous researcher Jane Goodall, an ethologist and anthropologist, said: "we cannot live out our days without having an impact on our environment", so each of us decides our consumer choices and each of us has, in part, an impact on the world around us and how it works.

Wnioski

Rezygnacja z plastików jest trudna, ponieważ tworzywa sztuczne, powszechnie używane niemal w każdej dziedzinie życia, stanowią idealny materiał do wprowadzania innowacji, bardzo często niemożliwych do osiągnięcia przy użyciu innych materiałów. Zmniejszenie zużycia plastiku wymaga fundamentalnych i radykalnych zmian w zachowaniach i systemach wartości zarówno konsumentów, jak i biznesu. Plastyki stały się wszechobecną i wygodną formułą zarówno opakowań, jak i materiałów większości przedmiotów codziennego użytku. Forma ta stała się niestety mocno zakorzeniona w naszych wyborach konsumenckich, dla której trudno znaleźć równoważną alternatywę spośród materiałów tradycyjnie stosowanych. Jednak jak powiedziała słynna badaczka Jane Goodall - etolog i antropolog: „nie możemy przeżywać naszych dni, nie wywierając wpływu na nasze środowisko”, więc każdy z nas decyduje o swoich wyborach konsumenckich i każdy z nas ma po części wpływ na otaczający świat i jego funkcjonowanie.

References:

1. Agrawal, M., Vianello, A., Picker, M., Simon-Sánchez, L., Chen, R., Estevinho, M.M., Weinstein, K., Lykkemark, J., Jess, T., Peter, I., Colombel, J.F., Allin, K.H., Vollertsen, J. (2024). Micro- and nano-plastics, intestinal inflammation, and inflammatory bowel disease: A review of the literature. *Sci. Total Environ.*, 953:176228.
2. Alimba, C.G., Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile, *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 68, 61-74.
3. Andrady, A.L., Neal, M.A. (2009). Applications and societal benefits of plastics, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 364, 1977-1984.
4. Andrady, A.L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62 8, 1596-605
5. Ashton, K., Holmes, L., Turner A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment, *Mar. Pollut. Bull.*, 60 (11), 2050.
6. Barboza, L.G.A., Vethaak, A.D., Lavorante, B.R.B.O., Lundebye, A.K., Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar. Pollut. Bull.*, 133, 336-348.
7. Bastante-Rabadán, M., Boltes K. (2024). Mixtures of Micro and Nanoplastics and Contaminants of Emerging Concern in Environment: What We Know about Their Toxicological Effects. *Toxics*, 12(8):589.
8. Borgatta, M., Breider, F. (2024). Inhalation of Microplastics-A Toxicological Complexity. *Toxics*, 12(5):358.
9. Bouwmeester, H., Hollman, P.C.H., Peters, R.J.B. (2015). Potential health impact of environmentally re-

- leased micro- and nanoplastics in the human food production chain: experiences from nanotoxicology, *Environ. Sci. Technol.*, 49, 8932-8947.
10. Brown, D. M., Wilson, M. R., MacNee, W., Stone, V., Donaldson, K. (2001). Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: a role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 175 (3),191-199.
 11. Calafat, A.M., Ye, X., Wong, L.Y., Reidy, J.A. (2008). Exposure of the U.S. Population to Bisphenol A and 4-tertiary-Octylphenol: 2003-2004. *Environ. Health Perspect.*, 116, 39-44.
 12. Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., Uricchio, V.F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(4), 1212.
 13. Castle, L. (2007). Chemical migration into food: An overview. In: *Chemical migration and food contact materials*, Editors: Barnes K.A. et al., Woodhead Publishing Limited, p. 1-13, ISBN 978-1-84569-029-8.
 14. Chen, Q., Gao, J., Yu, H., Su, H., Yang, Y., Cao, Y., ... & Liu, H. (2022). An emerging role of microplastics in the etiology of lung ground glass nodules, *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 1-15.
 15. Du, F., Cai, H., Zhang, Q., Chen, Q., Shi, H. (2020). Microplastics in take-out food containers, *Journal of Hazardous Materials*, 399, 1-9.
 16. Eagles-Smith, C.A., Silbergeld, E.K., Basu, N., Bustamante, P., Diaz-Barriga, F., Hopkins, W.A., Kidd, K.A., Nyland, J.F. (2018). Modulators of mercury risk to wildlife and humans in the context of rapid global change, *Ambio*, 47, 170-197.
 17. Ebner, I., Haberer, S., Sander, S., Kappenstein, O., Luch, A., Bruhn, T. (2020). Release of melamine and formaldehyde from melamine-formaldehyde plastic kitchenware, *Molecules*, 22, 1-18.
 18. Elsaesser, A., Howard, C.V. (2012). Toxicology of nanoparticles. *Adv. Drug Deliv. Rev.*, 64, 129-137.
 19. Ferreira, I., Venancio, C., Lopes, I., Oliveira, M. (2019). Nanoplastics and marine organisms: What has been studied? *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 67, 1-7.
 20. Forte, M., Iachetta, G., Tussellino, M., Carotenuto, R., Prisco, M., De Falco, M., Laforgia, V., Valiente, S. (2016). Polystyrene nanoparticles internalization in human gastric adenocarcinoma cells. *Toxicol. In Vitro.* 31, 126-136.
 21. Frohlich, E., Samberger, C., Kueznik, T., Absenger, M., Roblegg, E., Zimmer, A., Pieber, T.R. (2009). Cytotoxicity of nanoparticles independent from oxidative stress, *J. Toxicol. Sci.*, 34 (4), 363-375.
 22. Fuchs, A.K., Syrovets, T., Haas, K.A., Loos, C., Musyanovych, A., Mailänder, V., Landfester, K., Simmet, T. (2016). Carboxyl- and amino-functionalized polystyrene nanoparticles differentially affect the polarization profile of M1 and M2 macrophage subsets, *Biomaterials*, 85, 78-87.
 23. Gaillet, S., Rouanet, J. M. (2015). Silver Nanoparticles: Their Potential Toxic Effects after Oral Exposure and Underlying Mechanisms - A Review. *Food Chem. Toxicol.*,77, 58-63.
 24. Galloway, T.S. (2015). Micro and nanoplastics and human health, M. Bergmann (Ed.), *Marine Anthropogenic LitterSpringer*, New York, 343-366.
 25. Gasperi, J., Wright, S.L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F.J., Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 1, 1-5.
 26. Ghosh, S.K., Pal, S., Ray, S. (2013). Study of microbes having potentiality for biodegradation of plastics, *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 20, 4339-4355.
 27. Grbic, J., Nguyen, B., Guo, E., You, J.B., Sinton, D., Rochman C.M., (2019), Magnetic Extraction of Microplastics from Environmental Samples, *Environmental Science & Technology Letters*, 6(2), 68-72.
 28. Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics, *Food Addit Contam*

- Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.*, 35(5), 1006-1014.
29. Hahladakis, J.N., Velis, C.A., Weber, R., Iacovidou, E., Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling, *J. Hazard. Mater.*, 344, 179-199.
 30. Halden, R.U. (2010). Plastics and health risks. *Annu. Rev. Public Health*, 31, 179-294.
 31. Héraud, F., Barraï, L.M., Moy G.G. (2013). GEMS/Food Consumption Cluster Diets. *Total Diet Stud.*, 427-434.
 32. Hildebrandt, L. Nack, F.L., Zimmermann, T., Pröfrock, D. (2021). Microplastics as a Trojan horse for trace metals, *Journal of Hazardous Materials Letters*, 2, 100035.
 33. Hitchcock, J.N., Mitrovic, S.M. (2019). Microplastic pollution in estuaries across a gradient of human impact, *Environ Pollut.*, 247, 457-466.
 34. Holmes, L.A., Turner A., Thompson, R.C. (2012). Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment, *Environ. Pollut.*, 160, 42-48.
 35. Horvatits, T., Tamminga, M., Liu, B., Sebode, M., Carambia, A., Fischer, L., Pēuschel, K., Huber, S., Fischer, E.K. (2022). Microplastics detected in cirrhotic liver tissue, *eBioMedicine*, 104147.
 36. Huang, J.T., Huang, V.I. (2007). Evaluation of the efficiency of medical masks and the creation of new medical masks, *J. Int. Med. Res.*, 35, 213-223.
 37. Hussain N. (2001). Recent advances in the understanding of uptake of microparticulates across the gastrointestinal lymphatics. *Adv Drug Deliv Rev.*, 50(1-2), 107-142.
 38. Ibrahim, Y.S., Tuan Anuar, S., Azmi, A.A. (2021). Detection of microplastics in human colectomy specimens, *JGH Open*, 5(1), 116-121.
 39. Issac, M.N., Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environ Sci Pollut Res* 28, 19544-19562.
 40. Jastrzębska, E. (2020). Plastik jako wyzwanie dla gospodarki o obiegu zamkniętym, Paradoxy ekologiczne. Odpady miarą sukcesu i porażki cywilizowanej ludzkości, Red.: Sadowski R.F., Kosieradzka-Federczyk A. Warszawa, s. 183.
 41. Kankanige, D., Babel, S. (2020). Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand, *Science of The Total Environment*, 717, 1-9.
 42. Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C.K., Larat, V., Karbalaei, S., Salamatinia, B. (2018). Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats, *Sci Total Environ.*, 612, 1380-1386.
 43. Kedzierski, M., Lechat, B., Sire, O., Le Maguer, G., Le Tilly, V., Bruzard, S. (2020). Microplastic contamination of packaged meat: Occurrence and associated risks, *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 1-7.
 44. Khalid, N.; Aqeel, M.; Noman, A. (2020). MP could be a threat to plants in terrestrial systems directly or indirectly, *Environ. Pollut.* 267, 115653.
 45. Koelmans, A.A., Mohamed Nor, N.H., Hermesen, E., Kooi, M., Mintenig, S.M., De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality, *Water Res.*, 155, 410-422.
 46. Kosuth, M., Mason, S.A., Wattenberg, E.V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt, *PLoS One*, 13(4):e0194970.
 47. Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D.C.W., Gupta, J., Khan, E., Harrad, S., Hou, D., Ok, Y.S., Bolan, N.S. (2020). Microplastics as pollutants in agricultural soils, *Environ Pollut.*, 265(A), 114980.
 48. Kumar, R., Manna, C., Padha, S., Verma, A., Sharma, P., Dhar, A., Ghosh, A., Bhattacharya, P. (2022), Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans? *Chemosphere*, 298, 134267.
 49. Lan, J., Malik, A., Lenzen, M., McBain, D., Kanemoto, K., Kanemoto, K. (2016). A structural decomposition

- analysis of global energy footprints. *Applied Energy*, 163, 436-451.
50. Leslie, H.A., van Velzen, M.J.M., Brandsma, S.H., Vethaak, A.D., Garcia-Vallejo, J.J., Lamoree, M.H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood, *Environ. Int.*, 163, 107199.
 51. Li, L., Zhou, Q., Yin, N., Tu, C., Luo, Y. (2019). Uptake and accumulation of microplastics in an edible plant, *Chin. Sci. Bull.* 64, 928-934.
 52. Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects, *Sci. Total Environ.*, 566-567, 333-349.
 53. Liebezeit, G., Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar, *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*, 30, 2136-2140.
 54. Liu, Z., Cai, M., Yu, P., Chen, M., Wu, D., Zhang, M., Zhao, Y. (2018). Agedependent survival, stress defense, and AMPK in *Daphnia pulex* after short-term exposure to a polystyrene nanoplastic. *Aquat. Toxicol.*, 204, 1-8.
 55. Lu, L., Wan, Z., Luo, T., Fu, Z., Jin, Y. (2018). Polystyrene MPs induce gut microbiota dysbiosis and hepatic lipid metabolism disorder in mice, *Science of the Total Environment*, 631, 449-458.
 56. Lusher, A.L., Hollman, P.C.H., Mendoza-Hill, J.J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, 615, Rome, Italy.
 57. Mason, S.A., Welch, V.G., Neratko, J., 2018, Synthetic polymer contamination in bottled water, *Frontiers in Chemistry*, 6, 1-11.
 58. Meegoda, J.N.; Hettiarachchi, M.C. (2023). A Path to a Reduction in Micro and Nanoplastics Pollution. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 5555.
 59. Michalowicz, J. (2014). Bisphenol A-sources, toxicity and biotransformation. *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, 37, 738-758.
 60. Oliveri Conti, G., Ferrante, M., Banni, M., Favara, C., Nicolosi, I., Cristaldi, A., Fiore, M., Zuccarello, P. (2020). Micro- and Nano-Plastics in Edible Fruit and Vegetables. The First Diet Risks Assessment for the General Population, *Environ. Res.*, 109677.
 61. Oßmann, B.E., Sarau G., Holtmannspötter H., Pischetsrieder M., Christiansen S.H., Dicke W., 2018, Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water, *Water Research*, 141, 307-316.
 62. Piontek, W., (2019). The circular plastics economy and the instruments to implement it, *Ekonomia i Środowisko*, 3(70).
 63. Powell, J.J., Faria, N., Thomas-McKay, E., Pele, L.C. (2010). Origin and Fate of Dietary Nanoparticles and Microparticles in the Gastrointestinal Tract. *J. Autoimmun.*, 34(3), J226-J233.
 64. Prata, J.C., (2018) Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ. Pollut.*, 234, 115-126.
 65. Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta, *Environment International*, 146, 106274.
 66. Ramage, S.J.F.F., Pagaling, E., Haghi, R.K., Dawson, L.A., Yates, K., Prabhu, R., Hillier, S., Devalla, S., (2022), Rapid extraction of high- and low-density microplastics from soil using high-gradient magnetic separation. *Sci Total Environ.*, 831:154912.
 67. Renzi, M., Blaszkovic, A. (2018). Litter & microplastics features in table salts from marine origin: Italian versus Croatian brands, *Mar. Pollut. Bull.*, 135, 62-68.
 68. Rhodes, Ch.J. (2019). Solving the plastic problem: From cradle to grave, to reincarnation, *Science Progress*, 102(3).
 69. Rieux, A. D., Ragnarsson, E. G. E., Gullberg, E., Pr eat, V., Schneider, Y. J., Artursson, P. (2005). Transport

- of nanoparticles across an *in vitro* model of the human intestinal follicle associated epithelium. *Eur. J. Pharm. Sci.*, 25 (4-5), 455-465.
70. Rillig, M.C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environ. Sci. Technol.*, 46, 6453-6454.
 71. Rios Mendoza, L.M., Karapanagioti, H., Alvarez, N.R. (2018) Micro(nanoplastics) in the marine environment: Current knowledge and gaps, *Curr. Opin. Environ. Sci. Health*, 1, 47-51.
 72. Rist, S., Almroth, B.C., Hartmann, N.B., Karlsson, T.M (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics, *Sci. Total Environ.*, 626, 720-726.
 73. Rochman, C.M., Browne, M.A., Halpern, B.S., Hentschel, B.T., Hoh, E., Karapanagioti, H.K., Rios-Mendoza, L.M., Takada, H., Teh S., Thompson, R.C. (2013). Policy: Classify plastic waste as hazardous, *Nature*, 494, 169-171.
 74. Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsecs, 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.
 75. Schymanski D., Humpf, H.-U., Fürst, P. (2020). Determination of particle abrasion through milling with five different salt grinders – a preliminary study by micro-Raman spectroscopy with efforts towards improved quality control of the analytical methods, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 37:8, 1238-1252.
 76. Schymanski, D., Goldbeck, C., 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.
 77. Sherrington, C. (2016). *Plastics in the marine environment*, Eunomia, Bristol, UK.
 78. Shruti, V.C., Pérez-Guevara, F., Elizalde-Martínez, I., Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks future research and environmental consideration, *Science of The Total Environment*, 726, 1-10.
 79. Thompson, R.C., Swan, S.H., Moore, C.J., Vom Saal, F.S. (2009). Our plastic age, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 364, 1973-1976.
 80. Vedolin, M.C., Teophilo, C.Y.S., Turra, A., Figueira, R.C.L. (2018). Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics, *Mar. Pollut. Bull.*, 129, 487-493.
 81. Veerasingam S., Ranjani M., Venkatachalapathy R., Bagaev A., Mukhanov V., Litvinyuk D., Mugilarasan M., Gurumoorthi K., Guganathan L., Aboobacker V. M., Vethamony. P. (2021), Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: A review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51:22, 2681-2743.
 82. Walczak, A.P., Kramer, E., Hendriksen, P.J., Helsdingen, R., van der Zande, M., Rietjens, I.M., Bouwmeester, H. (2015). *In vitro* gastrointestinal digestion increases the translocation of polystyrene nanoparticles in an *in vitro* intestinal co-culture model. *Nanotoxicology*, 9, 886-894.
 83. Waller, C.L., Griffiths, H.J., Waluda, C.M. *et al.* (2017). Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research. *Sci Total Environ* 598:220-227.
 84. Wiedmann, T., Lenzen, M., Keyßer, L.T. *et al.* (2020). Scientists' warning on affluence. *Nat Commun* 11, 3107.
 85. Winkler A., Santo N., Ortenzi M.A., Bolzoni E., Bacchetta R., Tremolada P., 2019, Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles? *Water Research*, 166. 115082.
 86. Wright, S.L., Kelly, F.J. (2017). Plastic and human health: a micro issue? *Environ. Sci. Technol.*, 51 (12), 6634-6647.
 87. Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environ Sci Technol.*, 49(22), 13622-13627.
 88. Zeng, G., Zhang, Q., Wang, X. Wu, K.-H. (2022). Low-level plasticizer exposure and all-cause and cardiova-

- scular disease mortality in the general population. *Environ. Health*, 21, 32.
89. Zettler, E.R., Mincer, T.J., Amaral-Zettler, L.A. (2013). Life in the "plastisphere": microbial communities on plastic marine debris, *Environ. Sci. Technol.*, 47 (13), 7137-7146.
 90. Zhang, N., Li, Y.B., He, H.R., Zhang, J.F., Ma, G.S. (2021). You are what you eat: microplastics in the feces of young men living in Beijing, *Sci Total Environ.*, 767, 144345.
 91. EFSA. (2016). Presence of Microplastics and Nanoplastics in Food, with Particular Focus on Seafood. *EFSA J.*, 14(6), 4501.
 92. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). Microplastics in Fisheries and Aquaculture Status of Knowledge on Their Occurrence and Implications for Aquatic Organisms and Food Safety.
 93. World Health Organization. Microplastics in drinking-water. (2019). ISBN 978-92-4-151619-8.
 94. CIEL. Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet (February 2019) - Center for International Environmental Law (ciel.org)/ Accessed 12.09.2023.
 95. EC, 2020a, 'A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final', Accessed 25.06.2024.
 96. Ellen MacArthur Foundation, (2017). Circular fashion – a new textiles economy: redesigning fashion's future. Accessed 25.06.2024.
 97. Plastics, a growing environmental and climate concern: how can Europe revert that trend? – European Environment Agency (2024), <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/plastics/> Accessed 25.06.2024.
 98. Tworzywa – Fakty (2021) – Plastics Europe/Plasctics – the Facts 2020 (plasticseurope.org)/. Accessed 25.06.2024.