

Plasty, mikroplasty, prokletí dnešní civilizace

Plastics, microplastics, the bane of today's civilization

Zbyněk Hrkal, Marek Polášek

s použitím materiálů
Kateřiny Hajníkové



Výzkumný ústav
vodohospodářský
T. G. Masaryka v. v. i.

**Interreg
Danube Region**



Co-funded by
the European Union



Plasty, mikroplasty, prokletí dnešní civilizace

Plastics, microplastics, the bane of today's civilization

Zbyněk Hrkal, Marek Polášek

s použitím materiálů Kateřiny Hajníkové



**Výzkumný ústav vodohospodářský
T. G. Masaryka v. v. i.**

ISBN 978-80-88484-13-4

**Interreg
Danube Region**



Co-funded by
the European Union



MicroDrink

Úvod

V Čechách škodolibě říkáme, že každý dobrý skutek musí být po zásluze potrestán. Toto dávné rčení velmi dobře vystihuje osud jednoho z produktů, který provází moderního člověka již téměř dvě století – plasty. Zpočátku se jednalo o neocenitelného pomocníka, ze kterého se v poslední době ale stal nepříjemný všudypřítomný problém.

Právě tato skutečnost stála u zrodu mezinárodního projektu MicroDrink (<https://www.interreg-danube.eu/projects/MicroDrink>), který je financován v rámci programu INTERREG a probíhá v průběhu let 2024 až 2026 za účasti osmi států (Rakousko, Bosna a Hercegovina Chorvatsko, Maďarsko, Německo, Slovinsko, Srbsko a Česká republika). Jeho hlavním cílem je získat poznatky o chování mikroplastů ve vodách v povodí podunajského regionu a koordinovat odbornou i administrativní činnost v této problematice na území účastnických států.

Cílem této publikace je seznámit nejširší veřejnost s otázkami mikroplastů a zařadit je do co možná nejširšího kontextu.

Introduction

In Bohemia we say that every good deed must be punished as it deserves. This ancient saying very well accompanies the fate of one of the products that has been with modern man for almost two centuries – plastics. Initially, it was an invaluable helper, but recently it has become an unpleasant ubiquitous problem.

This fact was the basis for the birth of the international MicroDrink project (<https://www.interreg-danube.eu/projects/MicroDrink>), which is financed under the INTERREG program and is taking place from 2024 to 2026 with the participation of eight countries (Austria, Bosnia and Herzegovina, Hungary, Germany, Slovenia, Serbia and the Czech Republic). Its main objective is to gain knowledge about the behavior of microplastics in the waters of the Danube River Basin and to coordinate professional and administrative activities on this issue in the territory of the participating states.

The aim of this publication is to familiarize the general public with the issues of microplastics and to place them in the widest possible context.

Historie plastů

Máme-li ukázat prstem na nějakou osobnost, která byla na počátku zavádění plastů do praktického života, pak je to jednoznačně americký chemik samouk Charles Goodyear, který jako první na světě vyvinul vulkanizovanou gumu. Za tento objev obdržel 15. června 1844 od Patentového úřadu Spojených států patent číslo 3633. Goodyearovi se tak připisuje vynález chemického procesu pro vytvoření a výrobu poddajné, vodotěsné a tvarovatelné gumy.

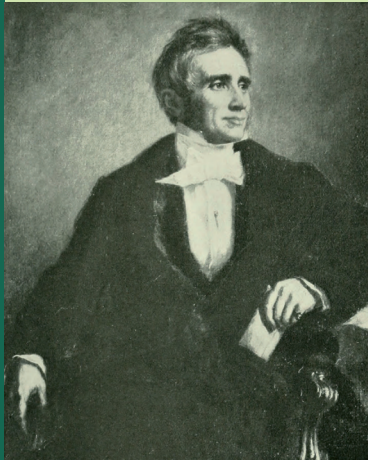
Charles Goodyear nemohl mít v polovině 19. století sebemenší tušení, jaký problém předá svým potomkům. V roce 1898, tedy až 38 let po vynálezcově smrti založil Frank Seiberling dodnes fungující továrnu na výrobu pneumatik, jednu z největších a nejslavnějších na světě. Pojmenoval ji po Goodyearovi. Dnes se otěr z automobilových pneumatik stal jedním z největších zdrojů zhouby dnešního světa, mikroplastů, které se uvolňují do životního prostředí.

Vývoj chemického průmyslu nepokračoval zpočátku nijak závratným tempem. Jednotlivé vynálezy dělily od jejich vzniku, ale hlavně po uvedení do praxe často dlouhé roky.

V šedesátých letech 19. století byl vyvinut první termoplast – celuloid, který vznikl přidáním kafru do nitrocelulózy. Od roku 1869 se o rozšíření celuloidu zasloužil další Američan John Wesley Hyatt. Používal ho například na výrobu kulečnickových koulí, kdy nahradil drahou rohovinu, pravítek nebo ping-pongových míčků. Hlavním odběratelem se ale na počátku dvacátého století stal filmový průmysl.

History of Plastics

If we are to point the finger at a personality who was at the beginning of the introduction of plastics into practical life, then it is clearly the self-taught American chemist Charles Goodyear, who was the first in the world to develop vulcanized rubber. For this discovery, he received patent number 3633 from the United States Patent Office on June 15, 1844. Goodyear is thus credited with inventing a chemical process for creating and producing pliable, waterproof and moldable rubber. In the mid-19th century, Charles Goodyear could not have had the slightest idea what problem he would pass on to his descendants. In 1898, 38 years after the inventor's death, Frank Seiberling founded a tire factory that is still operating today, one of the largest and most famous in the world. He named it after Goodyear. Today, abrasion from car tires has become one of the biggest sources of destruction in today's world, microplastics that are released into the environment.



Today, abrasion from car tires has become one of the biggest sources of destruction in today's world, microplastics that are released into the environment.

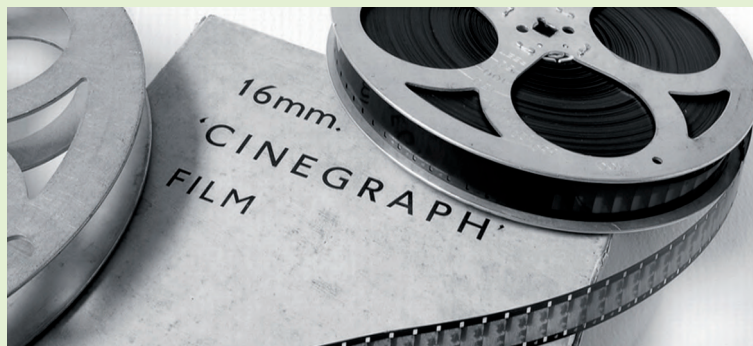
The development of the chemical industry did not proceed at a dizzying pace at first. Individual inventions were often separated from their creation, but especially from their implementation in practice by many years.

In the 1860s, the first thermoplastic was developed – celluloid, which was created by adding camphor to nitrocellulose. From 1869, another American, John Wesley Hyatt, was responsible for the spread of celluloid. He used it, for example, to produce billiard balls, replacing expensive horn, rulers or ping-pong balls. However, the film industry became the main customer at the beginning of the twentieth century.

Promítači ovšem tento plast doslova nenáviděli. Kromě mnoha vynikajících vlastností jako je pružnost, průhlednost, možnost nanášení fotocitlivé vrstvy má totiž celuloid jednu vlastnost, která způsobovala mnohé katastrofální požáry. Celuloid totiž výborně hoří a to i bez přístupu vzduchu. Přesto však byl tento materiál ve filmovém odvětví používán až do roku 1950, než byl nahrazen nehořlavým materiálem.

Další plast, PVC, byl objeven sice už v roce 1835 francouzským chemikem a fyzikem Henri Victorem Regnaultem (1810–1878), avšak jeho komerční výroba nastala až téměř o sto let později – roku 1935 v Německu, kde byl vyráběn pod obchodním názvem Igelit. Slovo igelit bylo původně obchodní značkou měkčeného polyvinylchloridu, který vyráběl německý koncern IG Farben. A opět jsme u onoho přísloví, zmíněném v úvodu. Igelitové sáčky a tašky v době svého vzniku byly takřka zázračným vynálezem, nyní ale představují noční můru celého světa. I když je i nadále nazýváme „igelitkami“ ve své podstatě se již vyrábějí z jiného materiálu. Roku 1953 Karl Ziegler z Institutu císaře Wilhelma, dnešního Institutu Maxe Plancka, vynalezl extra hustou verzi polyetylenu a za svůj objev později, v roce 1963 obdržel Nobelovu cenu. Právě tento plast se dnes používá na výrobu oněch tolik proklínaných tašek a sáčků. Každou minutou se na světě použije jeden milion „igelitových“ tašek. Jejich přirozený rozklad přitom trvá až 1000 let.

S revolučním vynálezem přišel v roce 1839 německý lékárník Johann Eduard Simon. Na rozdíl od svých kolegů, kteří strávili desítky let svého života v laboratořích,



However, projectors literally hated this plastic. In addition to many excellent properties such as flexibility, transparency, and the possibility of applying a photosensitive layer, celluloid has one property that caused many catastrophic fires. Celluloid burns very well, even without access to air. Nevertheless, this material was used in the film industry until 1950, before it was replaced by a non-flammable material.

Another plastic, PVC, was discovered in 1835 by the French chemist and physicist Henri Victor Regnault (1810–1878), but its commercial production did not begin until almost a hundred years later – in 1935 in Germany, where it was manufactured under the trade name Igelit. The word Igelit was originally a trade name for plasticized polyvinyl chloride, which was produced by the German concern IG Farben. And we are back to that proverb mentioned in the introduction. Plastic bags and sacks were almost a miraculous invention at the time of their creation, but now they represent a nightmare for the whole world. Even though we continue to call them “plastic bags”, they are actually made from a different material. In 1953, Karl Ziegler from the Kaiser Wilhelm Institute, today the Max Planck Institute, invented an extra-dense version of polyethylene and later, in 1963, received the Nobel Prize for his discovery. This plastic is now used to make those much-maligned bags and pouches. Every minute, one million “plastic” bags are used in the world. Their natural decomposition takes up to 1.000 years.

The German pharmacist Johann Eduard Simon came up with a revolutionary invention in 1839. Unlike his colleagues, who spent decades of their lives in laboratories, Simon discovered polystyrene quite by accident. One day, he distilled an oily substance from storax, the resin of the amber tree, which he named “styrene”.

Simon objevil polystyren zcela náhodou. Jednoho dne destiloval olejovitou látku ze storaxu, pryskyřice stromu ambry, kterou pojmenoval „styrol“. O několik dní později zjistil, že styrol zhoustl, pravděpodobně v důsledku polymerace, na plastovou želatinu. Polystyrenové hmoty dnes patří mezi nejpoužívanější plasty na světě, jejich roční výroba se blíží 30 milionům tun. V celosvětovém měřítku tvoří tento objem cca 9–10 % všech plastů. Důvodem popularity polystyrenů se stala nízká cena i hmotnost a snadná tvarovatelnost.

První syntetický polymer, který byl komerčně vyráběn a používán, byla roku 1907 fenolformaldehydová pryskyřice, která se získala polykondenzací fenolu s formaldehydem. Na trh byl tento plast uváděn podle jména svého objevitele, belgického chemika Leo Hendrika Baekelanda (1863–1944). Jako nehořlavý materiál a dobrý izolant se bakelit nejprve používal na izolátory v elektrotechnice. Později se ale bakelit stal nejpopulárnějším plastem první poloviny dvacátého století, byl totiž odolný a levný. Ještě v šedesátých letech se z něj vyráběly prakticky všechny předměty denní potřeby, od lampiček, rádia, telefonních přístrojů až po vypínače a elektrické zásuvky.

Období po druhé světové válce je již plně v exponenciálním rozmachu plastů, které se objevují naprosto ve všech sférách našeho života, jsou totiž levné, trvanlivé a mají nepřehlednou spoustu atraktivních vlastností, díky kterým vytlačují tradiční materiály, jako například dřevo nebo kov.

Celosvětová produkce plastů stoupla od roku 1950 z 1,5 milionu tun na 359 milionů tun v roce 2018 a v roce 2023 se zvýšila na zhruba 413 milionů tun.

A few days later, he discovered that the styrene had thickened, probably as a result of polymerization, into a plastic gelatin. Polystyrene materials are now among the most widely used plastics in the world, with an annual production of nearly 30 million tons. Globally, this volume accounts for approximately 9–10 % of all plastics. The reason for the popularity of polystyrenes was their low price, weight, and ease of shaping.

The first synthetic polymer to be commercially produced and used was phenol-formaldehyde resin, which was obtained by polycondensation of phenol with formaldehyde, in 1907. This plastic was marketed after its discoverer, the Belgian chemist Leo Hendrik Baekeland (1863–1944). As a non-flammable material and a good



insulator, Bakelite was first used for insulators in electrical engineering. Later, however, Bakelite became the most popular plastic of the first half of the twentieth century, as it was durable and cheap. As late as the 1960s, it was used to make practically all everyday items, from lamps, radios, telephones to switches and electrical sockets.

The post-World War II period is already in full swing of the exponential growth of plastics, which appear in absolutely all spheres of our lives, because they are cheap, durable and have a wealth of attractive properties, thanks to which they are displacing traditional materials, such as wood or metal. Global production of plastics has increased since 1950 from 1.5 million tons to 359 million tons in 2018 and in 2023 it will increase to around 413 million tons.

V členských státech EU se dnes odhadem 40 % vyrobených plastů využije na obaly, 20 % ve stavebnictví, 10 % v automobilovém průmyslu, 6 % na elektrická a elektronická zařízení, 4 % v domácnostech, na volný čas a sport, 3 % v zemědělství a 17 % na ostatní využití. V Evropě z vyprodukovaného plastového odpadu má 42,6 % energetické využití ve spalovnách, 24,9 % se uloží na skládkách a 32,5 % se recykluje. Jenže tak to zdaleka není v ostatních částech světa. Plastový odpad se stává jedním z největších problémů dnešního světa.

Lidé si začali uvědomovat, že množství plastového odpadu není něco, nad čím by se dalo mávnout rukou, při zveřejnění informace o existenci tzv. Velkého pacifického odpadkového pásu, který se s trochou nadsázky přirovnává k novému kontinentu. Jedná se o gigantickou akumulaci plastových částí v severní části Tichého oceánu, jejíž celková plocha je kolem 1,6 milionu čtverečních km. Pro představu, to je více než čtyřnásobek rozlohy Německa. V roce 2015 se odhadoval celkový počet jednotlivých kusů plastů mezi 1,1–3,6 miliard o váze okolo 79 000 tun. Zhruba polovinu z toho tvoří plasty pocházející z rybářského průmyslu. Zajímavý je i původ této kontaminace. Dvě třetiny odpadu jsou čínského a japonského původu, o zbytek se dělí Jižní Korea, USA, Tchaj-wan, Indonésie a Vietnam.



In the EU Member States, an estimated 40 % of the plastics produced are used for packaging, 20 % in construction, 10 % in the automotive industry, 6 % in electrical and electronic equipment, 4 % in households, leisure and sports, 3 % in agriculture and 17 % for other uses. In Europe, 42.6 % of the plastic waste produced is incinerated for energy, 24.9 % is landfilled and 32.5 % is recycled. But this is far from the case in other parts of the world. Plastic waste is becoming one of the biggest problems in the world today.

People began to realize that the amount of plastic waste is not something to be ignored when information was published about the existence of the so-called Great Pacific Garbage Patch, which is compared to a new continent with some exaggeration. It is a gigantic accumulation of plastic parts in the northern part of the Pacific Ocean, the total area of which is around 1.6 million square km. To put that in perspective, that is more than four times the area of Germany. In 2015, the total number of individual pieces of plastic was estimated to be between 1.1–3.6 billion, weighing around 79.000 tons. Around half of this is plastic from the fishing industry. The origin of this contamination is also interesting. Two-thirds of the waste is of Chinese and Japanese origin, with the rest shared by South Korea, the USA, Taiwan, Indonesia and Vietnam. Artificial substances enter the food chain through animals that feed on plankton and are naturally unable to distinguish microplastics from plankton particles when filtering water.

Umělé látky vstupují do potravního řetězce prostřednictvím živočichů, kteří se živí planktonem a přirozeně nedokáží při filtraci vody odlišit mikroplasty od částíček planktonu. Následně se tak plasty mohou dostávat potravním řetězcem do tkání vyšších živočichů včetně člověka.

Tato masivní a koncentrovaná kontaminace, akcelerovaná mořskými proudy však je jen špičkou pomyslného ledovce. Jsou to plasty, které vidíme. Jenže se ukazuje, že neméně závažným problémem se stávají plasty pouhým okem nespátřitelné, kterým říkáme mikroplasty.

Co to jsou mikroplasty?

V předcházejícím textu jsme často používali termíny plasty a mikroplasty. Nastal čas si je oba vysvětlit.

Začněme nejprve tím jednodušším termínem, plasty. Z historického úvodu již o řadě z nich něco víme, jenže v současné době se jedná o nepřeberné množství materiálů, které se liší složením i vlastnostmi. Ulehčíme si práci a ocitujeme definici, kterou uvádí Wikipedie. Zde se dočteme že:

„Plastické hmoty nebo pod ne zcela přesným názvem „umělé hmoty“, označují řadu syntetických nebo polosyntetických organických sloučenin, polymerních materiálů. Často obsahují další látky ke zlepšení užitných vlastností, např. odolnosti proti stárnutí, zvýšení houževnatosti, pružnosti apod. Jejich název je odvozen z faktu, že mnohé jsou tvarovatelné – mají vlastnost zvanou plasticita. Plasty se vyznačují velkou variabilitou vlastností, jako je např. tepelná odolnost, tvrdost, pružnost. Mezi jejich výhody patří nízká hustota, chemická odolnost, jednotnost složení, struktury a dobrá zpracovatelnost energeticky málo náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu (lisování, vstřikování, vyfukování, lití apod.). Díky tomu našly využití téměř ve všech průmyslových odvětvích i v domácnostech.“

Subsequently, plastics can enter the food chain into the tissues of higher animals, including humans.

However, this massive and concentrated contamination, accelerated by sea currents, is only the tip of the imaginary iceberg. These are the plastics that we see. But it turns out that plastics invisible to the naked eye, which we call microplastics, are becoming no less serious problems.

What are microplastics?

In the previous text, we often used the terms plastics and microplastics. It is time to explain both of them.

Let's start with the simpler term, plastics. We already know something about many of them from the historical introduction, but currently there are a huge number of materials that differ in composition and properties. We will make our work easier and quote the definition provided by Wikipedia. Here we read that:

“Plastics or under the not entirely accurate name “artificial materials”, refer to a number of synthetic or semi-synthetic organic compounds, polymer materials. They often contain other substances to improve their useful properties, e.g. resistance to aging, increased toughness, flexibility, etc. Their name is derived from the fact that many are moldable – they have a property called plasticity. Plastics are characterized by a great variability of properties, such as heat resistance, hardness, flexibility. Their advantages include low density, chemical resistance, uniformity of composition, structure and good processability with low-energy technologies suitable for mass production (pressing, injection molding, blowing, casting, etc.). Thanks to this, they have found use in almost all industries and in households.”

V následující kapitole si tuto definici budeme demonstrovat na konkrétních ukázkách. Ale co ony mikroplasty? Z první části tohoto termínu je každému jasné, že se bude jednat o plastové části malých rozměrů. Obecně se za odstartování zájmu o mikroplasty považuje článek „Ztraceni v moři: Kde je všechen plast?“ od Richarda Thompsona z University v Plymouth, který byl publikovaný v časopise Science v roce 2004. Do té doby se vědecký výzkum i veřejnost zabývala plastovým odpadem v životním prostředí jen v obecné rovině, termín „mikroplast“ se poprvé objevil právě až v této publikaci. Thompsonův tým ve svém textu upozornil na proces, při kterém dochází k degradaci větších plastových částic, tedy k procesu, který způsobuje nevratnou změnu jejich chemické struktury a vlastností polymeru. Většinou se jedná o působení tepelného záření, UV záření, oxidačních procesů, ale i k běžné mechanické abrazi. Následkem pak mohou být morfologické změny povrchu, které vedou k zmenšení velikosti částic.

Poměrně rychle se ujala horní hranice velikosti limitující velikost mikroplastů a to 5 mm, plastové částice větší než pět milimetrů a menší než 2,5 cm jsou označovány jako mezoplasty. Ty, co jsou větší než 2,5 cm, jsou nazývány makroplasty. Vedle pojmu mikroplastů se začaly v některých studiích také samostatně vyčleňovat částice menší než 1 μm a jsou pak označovány jako nanoplasty.

In the following chapter, we will demonstrate this definition with specific examples. But what about microplastics? From the first part of this term, it is clear to everyone that these will be small plastic parts. The article "Lost at Sea: Where is All the Plastic?" by Richard Thompson from the University of Plymouth, which was published in the journal *Science* in 2004, is generally considered to be the start of interest in microplastics. Until then, scientific research and the public had only dealt with plastic waste in the environment in general terms, and the term "microplastic" first appeared in this publication. In their text, Thompson's team drew attention to the



process by which larger plastic particles degrade, i.e. the process that causes an irreversible change in their chemical structure and polymer properties. This is usually due to the effects of thermal radiation, UV radiation, oxidation processes, but also to ordinary mechanical abrasion. The result can be morphological changes to the surface, which lead to a reduction in particle size.

The upper limit of size limiting the size of microplastics was relatively quickly adopted, namely 5 mm; plastic particles larger than five millimeters and smaller than 2.5 cm are referred to as mesoplasts. Those larger than 2.5 cm are called macroplastics. In addition to the term microplastics, some studies have also begun to separately distinguish particles

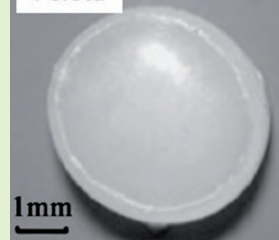
Jejich problémem je však skutečnost, že jejich detekce je mimořádně náročná a chemická analýza takto malých částic je téměř nemožná. Obecně se ale žádný spodní limit velikosti mikroplastů nestanovil.

V současné době tedy můžeme hovořit jednak o tzv. primárních mikroplastech, které se dostávají do životního prostředí už jako malé částice – jsou tedy už vyráběny v mikroskopické velikosti, nejčastěji pochází z produktů osobní hygieny (například peelingy, zubní pasty, makeup, třpytky), barev a laků, uvolňováním vláken z textilií, průmyslových plniv, nebo jako plastové pelety pro následné zpracování do plastových produktů. Pokud máte pocit, že nad takovým zdrojem mikroplastů, jako je kosmetika můžeme mávnout rukou, pak vězte, že v roce 2012 bylo v zemích EU použito 4 360 tun mikrokuliček, v USA bylo mezi lety 1989 až 2009 prodáno více jak 4 500 tun třpytek.

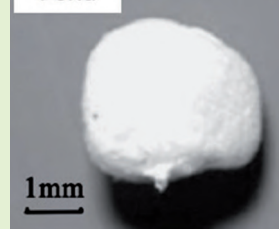
Pak ale máme mikroplasty sekundární, které vznikají degradací makroplastů, ale také další degradací mikroplastů.

Mikroplasty se mohou dělit ještě do dalších skupin, například podle typu polymeru, kterým jsou tvořeny, nebo podle tvaru – nejčastěji se jedná o vlákna, fragmenty, pelety, mikrokuličky, pěny, fólie či filmy.

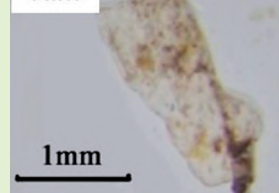
Peleta



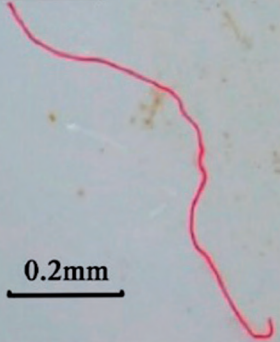
Pěna



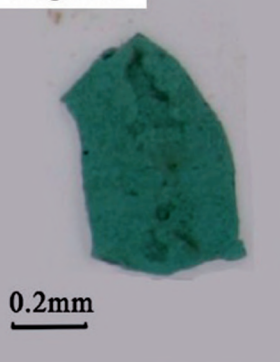
Film



Vlákno



Fragment



smaller than 1 μm and are then referred to as nanoplastics. The problem, however, is that their detection is extremely difficult and chemical analysis of such small particles is almost impossible. In general, however, no lower limit for the size of microplastics has been set.

Currently, we can talk about so-called primary microplastics, which enter the environment as small particles – they are already produced in microscopic size, most often coming from personal hygiene products (for example, scrubs, toothpastes, makeup, glitter), paints and varnishes, by releasing fibers from textiles, industrial fillers, or as plastic pellets for subsequent processing into plastic products. If you feel that we can ignore such a source of microplastics as cosmetics, then know that in 2012, 4.360 tons of microbeads were used in the EU countries, and more than 4.500 tons of glitter were sold in the USA between 1989 and 2009.

But then we have secondary microplastics, which are created by the degradation of macroplastics, but also by further degradation of microplastics.

Microplastics can be divided into other groups, for example by the type of polymer they are made of, or by shape – most often these are fibers, fragments, pellets, microspheres, foams, foils or films.

Plasty všude kolem nás

Víme již tedy, co si máme pod pojmem mikroplasty představit. Nyní si ale ukážeme, z jakých jsou vyrobeny materiálů ty primární, ze kterých postupně vznikají ony miniaturní. Dávno už nepoužíváme bakelit i celuloid byste hledali s velkými obtížemi. Šíře materiálů, které můžeme řadit mezi plasty je v současné době skutečně nesmírně široká. Podívejte se na následující stručný přehled, který vám umožní lepší orientace ve svém okolí. Uvidíte, že když se rozhlédnete, uvidíte samé plasty:

Polypropylen (PP). Z toho materiálu se vyrábějí například skříně na nářadí, fóliové závěsy, nádoby na horkou vodu, dávkovače mýdla, kelímky na pití a obaly na potraviny...

Polyethylen (PE) Z něho jsou například hračky, ale lékařské potřeby, kanistry, popelnice, kufry, zahradní posezení, potrubí...

Polyvinylchlorid (PVC) – kreditní karty, automobilové opěrky rukou a hlavy, pláštěnky, sprchové závěsy, podrážky bot...

Polyethylentereftalát (PET) S tímto materiálem přímo do styku přicházíte v kontaktu s PET lahvemi a především textilem, je však nenahraditelný při výrobě ložisek, ozubených kol nebo hřídelů.

Polyuretan (PUR) Kdo by neznal kolečka inline bruslí, matrace čalounění, tento plast ale najdete v izolaci chladniček.

Plastics all around us

So we already know what we mean by the term microplastics. Now we will show you what materials the primary ones are made of, from which the miniature ones are gradually created. We have not used Bakelite for a long time and you would have great difficulty finding celluloid. The range of materials that can be classified as plastics is currently extremely wide. Take a look at the following brief overview, which will allow you to better orient yourself in your surroundings. You will see that if you look around, you will see only plastics:

Polypropylene (PP). This material is used to make, for example, tool cabinets, foil hangers, hot water containers, soap dispensers, drinking cups and food packaging...

Polyethylene (PE) It is used to make, for example, toys, but also medical supplies, canisters, trash cans, suitcases, garden seats, pipes...



Polyvinyl chloride (PVC) – credit cards, car armrests and headrests, raincoats, shower curtains, shoe soles...

Polyethylene terephthalate (PET) You come into direct contact with this material through PET bottles and especially textiles, but it is irreplaceable in the production of bearings, gears or shafts.

Polyurethane (PUR) Who wouldn't know inline skate wheels, mattress upholstery, but you can find this plastic in the insulation of refrigerators.

Polystyren (PS). Tímto plastem jsme doslova zahlceni. Jsou z něho lahve, květináče, jednorázové nádoby, jednorázové obaly na potraviny, v jeho pěnové formě pak slouží jako tepelný izolant.

Není tedy žádným překvapením, že mikroplasty nalezneme ve všech sférách biosféry, ve vodě, půdě, sedimentech i ve vzduchu a následně tedy i v rostlinných i živočišných tělech

Jaké jsou zdroje? Vedle průmyslové výroby jsou to hygienické a kosmetické přípravky, o nichž jsme se již zmiňovali, nezanedbatelným zdrojem je však i výroba a hlavně používání textilu, syntetických látek. Při praní 5 kg polyesterových tkanin se uvolní až 6 000 000 mikrovláken.

Jen se podívejte proti světlu, když si někdo přetáhne přes hlavu svetr vyrobený z tohoto materiálu. Uvidíte miliony drobných částecek, které se uvolní a nezanedbatelnou část ona osoby vdechne.

Snad vůbec nejvýznamnějším zdrojem mikroplastů, také jsme se o tom již letmo zmínili při povídání o panu Goodyerovi, je oděr pneumatik – ten tvoří 42 % všech mikroplastů, které se dostanou do oceánu. Ohromná kvanta mikroplastů najdeme v odpadní vodě, v kalu zůstává 80–90 % vstupních mikroplastů. A konečně v moři se na nalezených mikroplastech významně podílí lodní doprava a rybolov.

Polystyrene (PS). We are literally overwhelmed by this plastic. It is used to make bottles, flower pots, disposable tableware, disposable food packaging, and in its foam form it serves as thermal insulation.

It is therefore no surprise that we find them in all spheres of the biosphere, in water, soil, sediments and in the air and subsequently in plant and animal bodies

What are the sources? In addition to industrial production, these are hygiene and cosmetic products, which we have already mentioned, but a significant source is also the production and especially the use of textiles and synthetic materials. When washing 5 kg of polyester fabrics, up to 6.000.000 microfibers are released. Just look against the light when someone pulls a sweater made of this material over their head. You will see millions of tiny particles that are released and a significant part of them is inhaled by that person.

Perhaps the most significant source of microplastics, as we have already mentioned briefly when talking about Mr. Goodyer, is tire abrasion – it makes up 42 % of all microplastics that reach the ocean. Huge quantities of microplastics are found in wastewater, 80–90 % of the input microplastics remain in the sludge. Finally, shipping and fishing contribute significantly to the microplastics found in the sea.

Jak se mikroplasty dostávají do těla

Počet mikroplastových částic, které se za rok mohou dostat člověku do těla, se pohybují mezi 150 000 až 200 000. Z toho 40 000 až 50 000 částic přijímáme ve stravě a pitné vodě a 70 000 až 120 000 částic vdechneme – v městském prostředí musíme počítat spíše s vyššími hodnotami.

Mikroplasty se mohou do lidského těla dostat v podstatě třemi způsoby:

Největší objemy vdechneme nejčastěji v důsledku používání syntetického textilu. Koncentrace mikroplastových částic z tohoto zdroje se ale významně liší s ohledem na lokalitu. Větší koncentrace logicky registrujeme ve vnitřních prostorách, nižší naopak venku. Odhaduje se, že zvýšené nošení roušek a respirátorů v souvislosti s opatřeními během andemie COVID-19, vedlo k extrémnímu nárůstu vdechovaných mikroplastů. Významným zdrojem mikroplastů jsou však i potraviny, v tomto případě závisí na tom, jak jsou zabaleny, zpracovávány nebo servírovány. Zdrojem mikroplastů, které pozřeme, jsou plastové obaly, ve kterých uchováváme potraviny a nápoje – jedná se především o plastové krabičky, lahve, problematické jsou ale i kojenecké lahve nebo čajové sáčky. Celý negativní proces uvolňování plastů výrazně urychlujeme ohříváním balených potravin.

Problémem je, mikroplasty se nacházejí často i přímo v potravinách. Enormním zdrojem jsou všechny mořské plody, protože tato kontaminace se přenáší potravním řetězcem z menších mořských živočichů na větší.

How microplastics enter the body

The number of microplastic particles that can enter the human body per year ranges between 150.000 and 200.000. Of these, 40.000 to 50.000 particles are ingested in food and drinking water, and 70.000 to 120.000 particles are inhaled – in urban environments, we have to expect higher values.

Microplastics can enter the human body in three ways:

We inhale the largest volumes most often due to the use of synthetic textiles. However, the concentration of microplastic particles from this source varies significantly depending on the location. Logically, higher concentrations are registered indoors, lower outdoors. It is estimated that the increased wearing of masks and respirators in connection with measures during the COVID-19 pandemic has led to an extreme increase in inhaled microplastics. However, food is also a significant source of microplastics, in this case it depends on how it is packaged, processed or served. The source of the microplastics that we eat is the plastic packaging in which we store food and drinks – these are mainly plastic boxes, bottles, but baby bottles or tea bags are also problematic. We significantly accelerate the entire negative process of releasing plastics by heating packaged food.



The problem is that microplastics are often found directly in food. All sea-food is an enormous source, because this contamination is transferred through the food chain from smaller marine animals to larger ones.

Měkkýši jako různé druhy mušlí obsahují více mikroplastů než ryby, protože většinou filtrují vodu převážně u dna, kde jsou koncentrace částic vyšší. Mezi další zdroje mikroplastů akumulovaných v potravinách se uvádí mořská sůl, cukr, med, alkohol nebo balená pitná voda.

Dalším způsobem, jak dostáváme mikroplasty do těla, byť méně významným, prostřednictvím kůže. Za rizikové je považované používání kosmetických produktů obsahujících mikroplasty v podobě PE, nošení oblečení ze syntetických textilií, ale i častý kontakt pokožky s plastovým krytem mobilního telefonu. Větším rizikem je vstřebávání uvolňovaných aditiv z plastových produktů – například se může jednat o bisfenol A a ftaláty, což jsou látky, které jsou prokazatelnými endokrinními disruptory. Mezi další riziková aditiva patří například bromované zpomalovače hoření, které jsou perzistentní a mají rovněž negativní vliv na endokrinní, imunitní a reprodukční systém.

Toxicita mikroplastů

Toxicita mikroplastů je jednou z hlavních otázek negativního působení na živé organismy a lidské zdraví. Přestože výzkum mikroplastů probíhá již dvě desetiletí, informace o jejich toxicitě jsou stále nedostatečné. Je však již poměrně dobře prokázáno uvolňování aditiv z plastů, tedy především stabilizátorů tepla, retardérů hoření a některých barviv. Další hrozbu představuje schopnost polymerních částic adsorbovat toxické látky z prostředí a distribuovat je do těl organismů.

Mollusks such as various types of mussels contain more microplastics than fish, because they usually filter the water mainly at the bottom, where particle concentrations are higher. Other sources of microplastics accumulated in food include sea salt, sugar, honey, alcohol or packaged drinking water.

Another way in which we get microplastics into the body, albeit less significant, is through the skin. The use of cosmetic products containing microplastics in the form of PE, wearing clothes made of synthetic fabrics, and frequent skin contact with the plastic cover of a mobile phone are considered risky. The absorption of additives released from plastic products is a greater risk – for example, it can be bisphenol A and phthalates, which are substances that are proven endocrine disruptors. Other risky additives include brominated flame retardants, which are persistent and also have a negative effect on the endocrine, immune and reproductive systems.

Toxicity of microplastics

The toxicity of microplastics is one of the main issues of negative impact on living organisms and human health. Although research on microplastics has been ongoing for two decades, information on their toxicity is still insufficient. However, the release of additives from plastics, mainly heat stabilizers, flame retardants and some dyes, has been relatively well proven. Another threat is the ability of polymer particles to adsorb toxic substances from the environment and distribute them into the bodies of organisms.



Čínské studie uvádí tři skupiny látek, které se na mikroplasty sorbují – těžké kovy, persistentní organické látky a antibiotika. Významnou roli v toxicitě mikroplastů hrají ftaláty – používají se jako změkčovač do řady typů plastů. Ftaláty jsou považovány za endokrinní disruptory, mohou být mutagenní, teratogenní a karcinogenní.

Co se děje s mikroplasty v našem těle, jsou nebezpečné?

Poměrně dlouhou dobu se odborníci domnívali, že vůči mikroplastům bude lidské tělo poměrně velmi odolné. Díky velké molekulové velikosti jsou totiž plasty považovány za biochemicky inertní materiály. Problém však spočívá v jedné jejich nepříjemné vlastnosti, mikroplasty adsorbují na svém povrchu perzistentní organické polutanty polychlorované bifenylu (PCBs), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs), pesticidy a v obecné rovině tedy mají potenciál k transportu kontaminujících látek.

Lékařský výzkum je sice jen v počátcích, nicméně již dnes víme, že mikroplasty se vyskytují prakticky ve všech částech lidského těla – v lymfatických uzlinách, v játrech, slezině, v krvi, v moči, mateřském

A Chinese study lists three groups of substances that are sorbed onto microplastics – heavy metals, persistent organic pollutants and antibiotics. Phthalates play a significant role in the toxicity of microplastics – they are used as a plasticizer in many types of plastics. Phthalates are considered endocrine disruptors, they can be mutagenic, teratogenic and carcinogenic.

What happens to microplastics in our bodies, are they dangerous?

For a long time, experts believed that the human body would be relatively resistant to microplastics. Due to their large molecular size, plastics are considered biochemically inert materials. However, the problem lies in one of their unpleasant properties: microplastics adsorb persistent organic pollutants polychlorinated biphenyls (PCBs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), pesticides on their surface and, in general, have the potential to transport contaminants.

Medical research is still in its infancy, but we already know that microplastics are found in practically all parts of the human body – in the lymph nodes, liver, spleen, blood, urine, breast milk, amniotic fluid...

mléce, v plodové vodě... Do krevního oběhu mohou pronikat menší pozřené částice, většinou o velikosti $<1,09 \mu\text{m}$, které jsou schopny proniknout střevní stěnou. Větší částice se posouvají dále trávicím traktem a většinou jsou vyloučeny z těla ven. Vdechnuté mikroplasty se mohou usazovat v plicích a pak přecházet do krevního oběhu v rámci okysličování krve a čištění plic. Částice menší než $0,1 \mu\text{m}$ mohou zůstat v krvi a potenciálně se hromadit v orgánech, jako jsou játra a ledviny.

Řada studií naznačuje souvislost mezi přítomností mikroplastů v těle a zvýšeným oxidačním stresem, ten pak může přispívat k tvorbě zánětů, chronických onemocnění či imunitních reakcí. Také je vysoce pravděpodobná přímá souvislost mezi přítomností mikroplastů a zánětlivými reakcemi, které mohou být vyvolány jak fyzikálně chemickými vlastnostmi mikroplastů, tak i jejich zvýšenou koncentrací. Jejich přítomnost v organismu může mechanicky poškodit buňky, což aktivuje obranu imunitního systému, který začne produkovat zánětlivé látky.



Smaller ingested particles, mostly $<1.09\text{ }\mu\text{m}$ in size, can enter the bloodstream and are able to penetrate the intestinal wall. Larger particles move further through the digestive tract and are usually excreted from the body. Inhaled microplastics can settle in the lungs and then pass into the bloodstream as part of blood oxygenation and lung cleansing. Particles smaller than $0.1\text{ }\mu\text{m}$ can remain in the blood and potentially accumulate in organs such as the liver and kidneys.

A number of studies suggest a link between the presence of microplastics in the body and increased oxidative stress, which can then contribute to the formation of inflammation, chronic diseases or immune reactions. There is also a highly probable direct link between the presence of microplastics and inflammatory reactions, which can be triggered both by the physicochemical properties of microplastics and their increased concentration. Their presence in the body can mechanically damage cells, which activates the immune system's defenses, which begin to produce inflammatory substances.

V trávicím traktu mohou mikroplasty reagovat s řadou látek, jako například s tuky, cukry, bílkovinami, ionty nebo vodou, což bude mít vliv na jejich transport v těle; jejich přítomnost ve střevě může narušit střevní mikrofóru a potenciálně tak vést až k chronickým zánětům střeva.

Přítomnost mikroplastů byla zaznamenána v lidské krvi, kde byly nejčastěji detekovány částice PET (u 50 % testovaných), PS (u 36 %), PE (u 23 %) a PMMA (u 5 %). Jednalo se o částice větší než 700 nm. Klíčovým orgánem jsou játra, neboť čistí naši krev od toxických látek. Výše zmíněný oxidační stres může narušit tvorbu enzymů v játrech, a dokonce vést až k jejich poškození.

V případě výskytu mikroplastů v mozku se zatím provádějí převážně jen kvantitativní studie, obdobně tomu je i u studií zaměřených na souvislost přítomnosti mikroplastů a vývoj plodu během těhotenství. Odborníci z Ostravské univerzity našli mikroplasty a jejich aditiva, nejčastěji se jednalo o chlorovaný polyethylen a stabilizátory PVC, v plodové vodě a placentě v několika případech předčasně narozených dětí.

Diskutovaný je také případný vliv mikroplastů na vznik či průběh rakoviny – jelikož mikroplasty by potenciálně mohly tělem transportovat rakovinové buňky, a tak urychlovat metastázi rakoviny.

Popsání vlivů mikroplastů na lidské zdraví je jedním z nejkomplikovanějších úkolů výzkumu chování těchto částic.

In the digestive tract, microplastics can react with a number of substances, such as fats, sugars, proteins, ions or water, which will affect their transport in the body; their presence in the intestine can disrupt the intestinal microflora and potentially lead to chronic intestinal inflammation.

The presence of microplastics has been recorded in human blood, where PET particles (in 50 % of those tested), PS (in 36 %), PE (in 23 %) and PMMA (in 5 %) were most often detected. These were particles larger than 700 nm. The key organ is the liver, as it cleanses our blood of toxic substances and blood. The above-mentioned oxidative stress can disrupt the production of enzymes in the liver and even lead to their damage.

In the case of the occurrence of microplastics in the brain, only quantitative studies have been conducted so far, and the same is true for studies focusing on the connection between the presence of microplastics and fetal development during pregnancy. Experts from the University of Ostrava found microplastics and their additives, most often chlorinated polyethylene and PVC stabilizers, in the amniotic fluid and placenta in several cases of premature babies.



The possible influence of microplastics on the development or course of cancer is also discussed – since microplastics could potentially transport cancer cells through the body, thus accelerating cancer metastasis. Describing the effects of microplastics on human health is one of the most complicated tasks in research into the behavior of these particles.

Aktuální laboratorní způsoby detekce

Už jsme si toho o mikroplastech řekli poměrně hodně, víme, jak vypadají, jak vznikají, kde se s nimi můžeme setkat i jak nás ovlivňují. Dosud jsme ale opominuli ukázat si, jak se vlastně o jejich přítomnosti přesvědčíme. Je to ve své podstatě klíčový krok, protože tyto látky jsou velmi malé a mají mimořádně různorodé složení a tvary. Problém spočívá v tom, že dosud nejsou sjednoceny ani postupy odběru vzorků, jejich příprava ani laboratorní postupy detekce a vyhodnocování. Předúprava vzorků, například důkladnější odstranění anorganických a neplastových organických částic může výrazným způsobem ovlivnit u některých analytických postupů výsledek. V principu můžeme říct, že pro stanovení množství mikroplastů lze použít dva postupy, mikroskopii a spektroskopii.

Mikroskopické metody jsou v analýze vzorků využívány především pro vizualizaci a kvantifikaci mikročástic. Je možné rozlišovat jejich tvary, poznáme, zdali se jedná o fragmenty, vlákna, fólie nebo i expandovaný polystyren.

Klasická mikroskopická technologie je optická, která je nejrozšířenější pro svou jednoduchost. Analýza probíhá pomocí mikroskopů a nasvícení vzorku. Často se používají stereomikroskopy, které mají sice nižší zvětšení, ale umožňují trojrozměrné zobrazení vzorků. Nejčastější limit pro morfologický popis je 50 μm , analýzu ovšem komplikuje organický materiál a malé transparentní částice a vlákna – bez dalších analytických metod se těžko určuje, zda je jejich charakter polymerní či nikoli.



Current laboratory detection methods

We have already said quite a lot about microplastics, we know what they look like, how they are created, where we can encounter them and how they affect us. However, we have so far neglected to show how we can actually be sure of their presence. This is essentially a key step, because these substances are very small and have an extremely diverse composition and shape. The problem is that neither the sampling procedures, their preparation nor the laboratory procedures for detection and evaluation have yet been unified. Pretreatment of samples, for example, more thorough removal of inorganic and non-plastic organic particles, can significantly affect the result of some analytical procedures. In principle, we can say that two procedures can be used to determine the amount of microplastics, microscopy and spectroscopy.

Microscopic methods are used in sample analysis mainly for the visualization and quantification of microparticles. It is possible to distinguish their shapes, we can tell whether they are fragments, fibers, foils or even expanded polystyrene.

The classic microscopic technology is optical, which is the most widespread due to its simplicity. Analysis is carried out using microscopes and sample illumination. Stereomicroscopes are often used, which have lower magnification but allow for three-dimensional imaging of samples. The most common limit for morphological description is 50 μm , but the analysis is complicated by organic material and small transparent particles and fibers – without additional analytical methods, it is difficult to determine whether their character is polymeric or not.

Specifickým druhem optické mikroskopie je fluorescenční mikroskopie, která využívá fluorescenčních barviv. Na ně se navážou určité molekuly, následně se vzorky osvětlí světlem specifické vlnové délky a mikroskopicky se analyzuje. Analýza je poměrně jednoduchá a rychlá, ale má nižší rozlišovací schopnost.

Další možností je využití elektronové mikroskopie, která na rozdíl od optické mikroskopie využívá proud elektronů místo světla, což umožňuje získat vyšší rozlišení. Elektronová mikroskopie se dělí na dvě různé techniky, a to na skenovací (SEM) a transmisivní (TEM).

SEM pomocí elektronů skenuje částice a poskytuje tak podrobné snímky morfologické struktury jejich povrchu. Rozlišovací schopnost je okolo 0,5 nm a je tak také možné rozlišit organické a anorganické prvky na povrchu mikroplastů.

TEM poskytuje pohled na vnitřní strukturu mikročástic díky průchodu elektronů skrze vzorek. Rozlišení je až 0,1 nm, je tedy vhodný pro analýzu nanoplastů a obraz poskytuje i chemické informace díky obrazu na atomární úrovni rozlišení.

Specifickou metodou je konfokální laserová skenovací mikroskopie, při které sledujeme reakci mikroplastů s mikroorganismy (bakterie, mikrořasy). Rozlišení je do 200 až 100 nm.

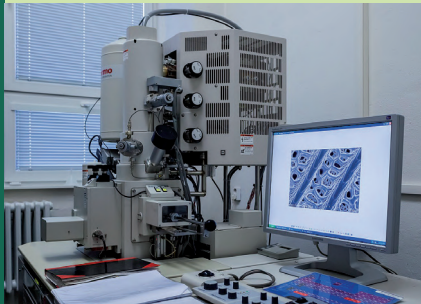
Konečně poslední mikroskopickou technologií používanou při stanovování mikroplastů je mikroskopie atomárních sil. Tato analýza popisuje povrchové vlastnosti částic a poskytuje 3D obraz jejich povrchu ve vysokém rozlišení (až 0,3 nm). Analýza nevyžaduje speciální předúpravu vzorků, většinou se kombinuje ještě s dalšími metodami, například pro určení typů polymerů ve vzorku.

A specific type of optical microscopy is fluorescence microscopy, which uses fluorescent dyes. Certain molecules are attached to them, then the samples are illuminated with light of a specific wavelength and analyzed microscopically. The analysis is relatively simple and fast, but has a lower resolution.

Another option is to use electron microscopy, which, unlike optical microscopy, uses a stream of electrons instead of light, which allows for higher resolution. Electron microscopy is divided into two different techniques, namely scanning (SEM) and transmission (TEM).

SEM uses electrons to scan particles and thus provides detailed images of the morphological structure of their surface. The resolution is around 0.5 nm and it is also possible to distinguish organic and inorganic elements on the surface of microplastics.

TEM provides a view of the internal structure of microparticles thanks to the passage of electrons through the sample. The resolution is up to 0.1 nm, so it is suitable for the analysis of nanoplastics and the image also provides chemical information thanks to the image at the atomic level of resolution.



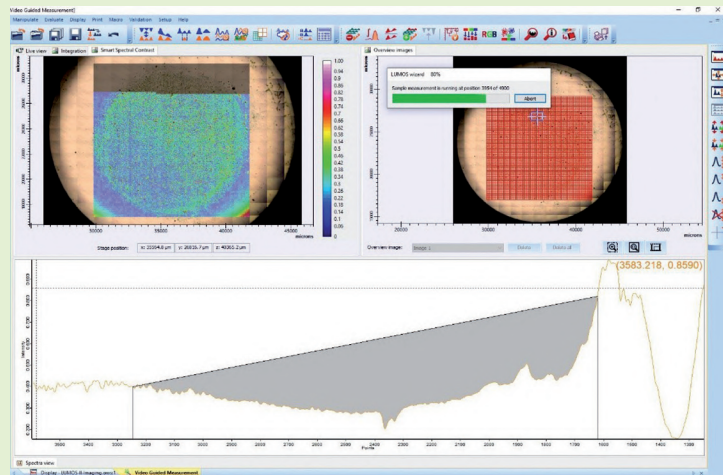
A specific method is confocal laser scanning microscopy, in which we monitor the reaction of microplastics with microorganisms (bacteria, microalgae). The resolution is up to 200 to 100 nm.

Finally, the last microscopic technology used in the determination of microplastics is atomic force microscopy. This analysis describes the surface properties of particles and provides a 3D image of their surface in high resolution (up to 0.3 nm). The analysis does not require special sample

Druhou skupinou metod pro stanování mikroplastů je spektroskopie, metoda využívající interakci infračerveného záření a zkoumané látky ve vzorku.

Jednou z nejpoužívanějších metod pro analýzu mikroplastů je Fourierova transformační infračervená spektroskopie (FTIR). Pracuje na principu rozlišování schopnosti pohlcování infračervené části spektra jednotlivými molekulami ve vzorku. Pro zlepšení účinnosti této metody se mohou užívat různé modifikace – například laserová přímá infračervená FTIR, mikro-FTIR, FTIR s utlumenou úplnou reflexí (FTIR-IR ATR) nebo FTIR v kombinaci s rastrovací elektronovou mikroskopií (SEM). Velikosti měřitelných částic se pohybuje od 5 mm až po 5 μm a zahrnují řadu typů polymerů: PE, PP, PVC, PA, polytetrafluorethylen (PTFE).

Ramanova spektroskopie funguje na principu měření změn vlnové délky světla rozptýleného molekulami, které tak způsobují vibrace chemických vazeb. Ramanova spektroskopie je hojně používána pro její schopnost rozlišovat částice o velmi malých velikostech – pomocí povrchově zesílené Ramanovy spektroskopie byly detekovány částice PS o velikosti 350 nm a PE o velikostech 1–4 μm .



pretreatment and is usually combined with other methods, for example to determine the types of polymers in the sample.

The second group of methods for detecting microplastics is spectroscopy, a method that uses the interaction of infrared radiation and the substance being examined in the sample.

One of the most widely used methods for analyzing microplastics is Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). It works on the principle of distinguishing the ability to absorb the infrared part of the spectrum by individual molecules in the sample. To improve the efficiency of this method, various modifications can be used – for example, laser direct infrared FTIR, micro-FTIR, FTIR with attenuated total reflection (FTIR-IR ATR) or FTIR in combination with scanning electron microscopy (SEM). The sizes of measurable particles range from 5 mm to 5 μm and include a number of types of polymers: PE, PP, PVC, PA, polytetrafluoroethylene (PTFE).

Raman spectroscopy works on the principle of measuring changes in the wavelength of light scattered by molecules, which causes vibrations of chemical bonds. Raman spectroscopy is widely used for its ability to distinguish particles of very small sizes – using surface-enhanced Raman spectroscopy, PS particles of 350 nm and PE particles of 1–4 μm were detected.

Ze spektrometrických metod můžeme dále jmenovat Impedanční spektroskopii, která měří závislost impedance vzorku na frekvenci, díky čemuž se dají určit některé elektrické vlastnosti zkoumaných materiálů – většinou kapacita, resistance, indukčnost. Schopnost detekce je pro mikroplasty o velikostech zhruba 1000-300 μm a schopnost obnovy je až 90 %.

Výhodou spektroskopických metod, zejména ve spojení s mikroskopií (tedy mikro-FTIR a mikro-Raman) je možnost tvorby tzv. „chemických map“, tedy zjednodušeně mikroobrazů analyzovaného vzorku, kdy pro každý pixel obrazu máme k dispozici spektrální data a tedy i informaci o chemickém složení. Spojením těchto pixelů pak můžeme vytvořit celkový chemický obraz vzorku, ze kterého lze vyčíst nejen počet a velikost částic ve vzorku, ale i jejich chemické složení.

Dalšími metodami jsou Ultrafialovo-viditelná spektroskopie, Rentgenová fotoelektronová spektroskopie, velice přesná, ale nákladná metoda Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, nebo konečně Spektroskopie nukleární magnetické rezonance.

Z uvedeného stručného přehledu vyplývá, že pro stanovení mikroplastů v různých složkách životního prostředí máme k dispozici velké množství analytických metod. Každá z nich disponuje specifickými vlastnostmi, má své výhody, ale i nedostatky. Zásadním problémem problematiky mikroplastů je fakt, že neexistuje jednotná metodika jejich stanovení. Publikované výsledky, uvádějící konkrétní čísla, je proto nutno brát velmi opatrně, protože jejich vzájemná srovnatelnost může být sporná.

Among the spectrometric methods, we can also mention Impedance Spectroscopy, which measures the dependence of the sample impedance on frequency, thanks to which some electrical properties of the materials under investigation can be determined – mostly capacitance, resistance, inductance. The detection capability is for microplastics of sizes of approximately 1000–300 µm and the recovery capability is up to 90%.

The advantage of spectroscopic methods, especially in combination with microscopy (i.e. micro-FTIR and micro-Raman), is the possibility of creating so-called “chemical maps”, i.e. simply micro-images of the analyzed sample, where for each pixel of the image we have spectral data available and therefore information about the chemical composition. By combining these pixels, we can then create an overall chemical image of the sample, from which we can deduce not only the number and size of particles in the sample, but also their chemical composition.

Other methods are Ultraviolet-visible spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, a very accurate but expensive method Mass spectrometry with inductively coupled plasma, or finally Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy.

From the above brief overview, it follows that we have a large number of analytical methods available for the determination of microplastics in various components of the environment. Each of them has specific properties, has its advantages, but also disadvantages. The fundamental problem with the issue of microplastics is the fact that there is no uniform methodology for their determination. Published results, stating specific numbers, must therefore be taken very carefully, because their mutual comparability may be questionable.

Aktuální stav evropské legislativy

Úvodem této kapitoly je třeba zdůraznit, že v současné době legislativa EU se mikroplasty zabývá jen ve velmi omezené míře. V následujícím stručném přehledu se pokusíme zmapovat dosavadní aktivitu EU na tomto poli.

O problematiku mikroplastů se Evropská komise začala zajímat v lednu roku 2018, kdy požádala Evropskou agenturu pro chemické látky (ECHA), aby připravila návrhy na omezení mikroplastů v životním prostředí. ECHA shromáždila podklady pro omezení úmyslného používání mikroplastových částic ve výrobcích jakéhokoli druhu.

V roce 2019 byla přijata Směrnice o omezení dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí (Directive (EU) 2019/904). Cílem této směrnice je předcházet dopadu některých plastových výrobků na životní prostředí, zejména na vodní prostředí a na lidské zdraví a snižovat jej, jakož i podporovat přechod k oběhovému hospodářství pomocí inovativních a udržitelných obchodních modelů, výrobků a materiálů, a tím též přispívat k účinnému fungování vnitřního trhu. Tato směrnice se zabývá především redukcí plastového odpadu a omezuje tak znečištění mikroplasty. Jejím primárním cílem tedy nejsou mikroplasty, ale směrnice významně omezuje používání rozložitelných plastů, které se nedají recyklovat spolu s ostatními plasty a často končí na skládkách nebo se dostávají do životního prostředí. Zde svou degradací značně přispívají ke znečištění sekundárními mikroplasty.

Current status of European legislation

As an introduction to this chapter, it should be emphasized that currently EU legislation deals with microplastics only to a very limited extent. In the following brief overview, we will attempt to map the EU's activity in this field to date.

The European Commission became interested in the issue of microplastics in January 2018, when it asked the European Chemicals Agency (ECHA) to prepare proposals to limit microplastics in the environment. ECHA has collected evidence to limit the intentional use of microplastic particles in products of any kind.

In 2019, the Directive on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment (Directive (EU) 2019/904) was adopted. The aim of this Directive is to prevent and reduce the impact of certain plastic products on the environment, in particular on the aquatic environment and on human health, and to support

the transition to a circular economy through innovative and sustainable business models, products and materials, thereby also contributing to the effective functioning of the internal market. This directive is mainly concerned with reducing plastic waste and thus limiting microplastic pollution. Its primary target is therefore not microplastics, but the directive significantly limits the use of biodegradable plastics, which cannot be recycled with other plastics and often end up in landfills or in the environment. Here, their degradation significantly contributes to secondary microplastic pollution.



Směrnice ukládá členským státům EU, aby zakázaly na svém trhu plastové výrobky na jedno použití, jako například vatové tyčinky, příbory, talíře, nádoby na jídlo či pití atd. Dále uvádí požadavky na výrobky, jako třeba povinnost připevnění plastových víček a uzávěrů nebo náležité označování plastových výrobků na jedno použití.

V roce 2020 přijal Výbor pro socioekonomickou analýzu (SEAC) návrh na omezení mikroplastů přidávaných do kosmetických produktů, detergentů, hnojiv atp.

V roce 2020 vyšla v platnost Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Tento dokument nahrazuje původní směrnici o pitné vodě z roku 1998. Hlavním cílem je zajištění vysoké úrovně ochrany veřejného zdraví, zaručit občanům přístup k informacím o kvalitě vody, kterou spotřebovávají a také podpořit udržitelné využívání vodních zdrojů.

Směrnice vyžaduje pravidelný monitoring kvality vody – požadavky na kvalitu jsou dány seznamem parametrů, ty musí být sledovány a jejich naměřené hodnoty nesmí překročit stanovené limity. Nicméně dosud ještě nemá zakomponovanou problematiku mikroplastů. To se má v této směrnici objevit až v roce 2029 Evropská komise předloží zprávu o tom, jak mikroplasty, zbytky léčiv a další nové škodlivé látky mohou ohrožovat pitnou vodu. Tyto zprávy budou obsahovat informace o potenciálních zdravotních rizicích spojených s těmito kontaminanty (Směrnice EU 2020/2184, článek 19, odstavec 3).



The directive requires EU Member States to ban single-use plastic products such as cotton buds, cutlery, plates, food and drink containers, etc. from their markets. It also sets out product requirements, such as the obligation to attach plastic caps and closures or to properly label single-use plastic products.

In 2020, the Committee for Socio-Economic Analysis (SEAC) adopted a proposal to restrict microplastics added to cosmetic products, detergents, fertilisers, etc.

In 2020, Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption entered into force. This document replaces the original Drinking Water Directive from 1998. The main objective is to ensure a high level of public health protection, guarantee citizens access to information on the quality of the water they consume, and also promote the sustainable use of water resources.

The directive requires regular monitoring of water quality – the quality requirements are given by a list of parameters, which must be monitored and their measured values must not exceed the specified limits. However, it does not yet address the issue of microplastics. This is not expected to appear in this directive until 2029. The European Commission will submit a report on how microplastics, pharmaceutical residues and other new harmful substances can endanger drinking water. These reports will contain information on the potential health risks associated with these contaminants (EU Directive 2020/2184, Article 19, paragraph 3).

Důležitým nařízením v rámci akčního plánu pro oběhové hospodářství je nařízení Evropského parlamentu a rady o obalech a obalových odpadech, o změně nařízení (EU) 2019/1020 a směrnice (EU) 2019/904 a o zrušení směrnice 94/62/ES. Hlavními cíli je redukce obalového odpadu a plastových odpadů, podpora recyklace a opakovaného používání výrobků, zvýšení podílů recyklátu v obalech atp. Všechna tato opatření by nepřímo měla vést ke snižování znečištění mikroplasty.

Problematiky mikroplastů se nepřímo týká Nařízení o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH). Původní znění nařízení z roku 2006 ještě mikroplasty nezmiňovalo, avšak je upraveno Nařízením Komise (EU) 2023/2055 kterým se mění příloha XVII nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), pokud jde o syntetické polymerní mikročástice.

Toto nařízení se zabývá mikroplasty zatím nejpodrobněji. Klade si za cíl minimalizovat uvolňování mikročastic, snížit znečištění a také chránit životní prostředí a lidské zdraví. Je zde uvedeno 62 důvodů, proč se toto nařízení zavádí. Hned prvním důvodem je to, že hromadění ve vodě nerozpustných a v životním prostředí persistentních polymerních mikročastic vyvolává obavy, neboť mohou mít negativní dopady na ekosystémy i na lidské zdraví a už byly nalezeny i v pitné vodě a potravinách. Jedním z dalších důvodů je výsledek šetření Evropské agentury pro chemické látky z roku 2019, který odhaduje roční přísun záměrně přítomných mikroplastů do životního prostředí na 42 000 tun (Nařízení Evropské komise, 2023).

An important regulation within the framework of the Circular Economy Action Plan is the Regulation of the European Parliament and of the Council on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904 and repealing Directive 94/62/EC. The main objectives are to reduce packaging waste and plastic waste, promote recycling and reuse of products, increase the share of recycled content in packaging, etc. All these measures should indirectly lead to a reduction in microplastic pollution.

The issue of microplastics is indirectly covered by the Regulation on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH). The original text of the regulation from 2006 did not yet mention microplastics, but it is regulated by Commission Regulation (EU) 2023/2055 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards synthetic polymer microparticles.

This regulation deals with microplastics in the most detail yet. It aims to minimise the release of microparticles, reduce pollution and also protect the environment and human health. It lists 62 reasons why this regulation is



being introduced. The first reason is that the accumulation of water-insoluble and environmentally persistent polymeric microparticles is a concern, as they can have negative impacts on ecosystems and human health and have already been found in drinking water and food. Another reason is the result of a 2019 study by the European Chemicals Agency, which estimates the annual release of intentionally present microplastics into the environment at 42.000 tonnes (European Commission Regulation, 2023).

Nařízení zakazuje na trh uvádět polymerní mikročástice ať už jako látky samotné nebo ve směsích (s koncentrací 0,01 % a vyšší). Dále dává lhůty jednotlivým odvětvím hospodářské výroby pro odstranění mikroplastů ze svých výrobků – například z kosmetiky a líčidel do roku 2028, z čistících prostředků do roku 2028, ze zahradnických produktů také do roku 2028 a ze sportovních povrchů syntetického původu do roku 2031.

V prosinci roku 2023 přišla ECHA s identifikací rizik spojených s aditivami v PVC a uvolňováním mikročástic. Zaměřila se na 63 různých aditiv (změkčovadla, tepelné stabilizátory, zpomalovače hoření atp.) – výsledkem šetření byl komplexní rozbor rizik spojených s PVC a jeho aditivami. Zároveň byla připravena studie zohledňující společenské dopady, které by mělo zavedení opatření na řízení rizik.

Z nařízení, které se přímo dotýkají MP může zmínit nařízení (EU) 2023/2055 ze 17. 10. 2023, které omezuje používání primárních mikroplastů, dále návrh nařízení EP COM(2023)645 o předcházení ztrátám plastových pelet za účelem snížení znečištění mikroplasty a konečně rozhodnutí komise 2024/1441 ze dne 11. 3. 2024 (doplnění směrnice EU 2020/2184 – jakost vody určené k lidské spotřebě) a příloha – metodika pro měření mikroplastů ve vodě určené k lidské spotřebě.

The Regulation prohibits the placing on the market of polymeric microparticles, either as substances or in mixtures (with a concentration of 0.01% and above). It also gives deadlines to individual sectors of economic production to remove microplastics from their products – for example, from cosmetics and make-up by 2028, from cleaning products by 2028, from gardening products also by 2028 and from sports surfaces of synthetic origin by 2031.

In December 2023, ECHA identified the risks associated with additives in PVC and the release of microparticles. It focused on 63 different additives (plasticizers, heat stabilizers, flame retardants, etc.) – the result of the investigation was a comprehensive analysis of the risks associated with PVC and its additives. At the same time, a study was prepared taking into account the societal impacts that the introduction of risk management measures would have.

Among the regulations that directly affect MP, we can mention Regulation (EU) 2023/2055 of 17.10.2023, which restricts the use of primary microplastics, the proposal for a regulation of the EP COM(2023)645 on the prevention of losses of plastic pellets in order to reduce microplastic pollution and finally Commission Decision 2024/1441 of 11. 3. 2024 (supplementing Directive EU 2020/2184 – quality of water intended for human consumption) and the annex – methodology for measuring microplastics in water intended for human consumption.

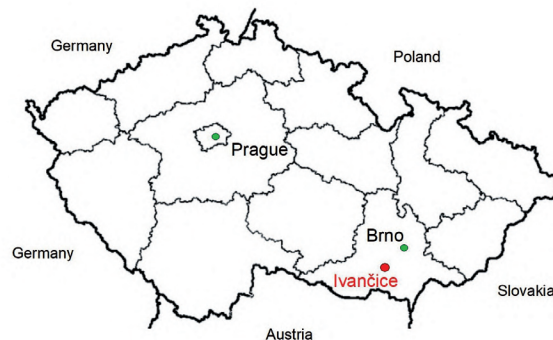
Praktické ověření efektivity odstraňování mikroplastů při výrobě pitné vody

V rámci mezinárodního projektu MicroDrink financovaném z programu INTERREG Danube Region byl proveden experiment, který měl za cíl sledovat chování mikroplastů při výrobě pitné vody. Jiným slovy, výsledek měl ukázat na změny, ke kterým dochází na cestě od zdroje vody, přes vodárenské technologie až po výstup z vodárny. Výsledky tedy měly posoudit efektivitu čištění a ukázat kvalitu pitné vody, kterou dostává uživatel doma v kohoutku. Pro tyto účely byla vybrána vodárna Ivančice na jižní Moravě.

Vodárna Ivančice představuje v rámci České republiky unikátní lokalitu. Vodárna se nachází na soutoku dvou vodních toků, z nichž každý má odlišné přírodní podmínky, odlišné využití půdy a hustotu osídlení a odvodňuje jinou oblast. Vodárna využívá k výrobě pitné vody proces břehové infiltrace, který spočívá v přirozeném předčištění povrchové vody obou vodních toků.

Soutok řek Jihlavy a Rokytné představuje významný zdroj poměrně kvalitní pitné vody. V současné době se průměrné odběry pohybují kolem 10 l/s, teoretický potenciál využití je však výrazně vyšší. Dvě řeky hrají rozhodující roli v ovlivňování kvality surové vody používané k výrobě pitné vody ve vodárně Ivančice.

Rokytná je pravostranný přítok řeky Jihlavy, jejíž délka je 88 km a plocha povodí je 584 km². Průměrný průtok



Practical verification of the effectiveness of microplastic removal in drinking water production

As part of the international MicroDrink project funded by the INTERREG Danube Region program, an experiment was conducted to monitor the behavior of microplastics during the production of drinking water. In other words, the result was to show the changes that occur on the way from the water source, through water treatment technologies to the outlet from the water treatment plant. The results were therefore to assess the efficiency of treatment and show the quality of drinking water that the user receives at home from the tap. The Ivančice water treatment plant in South Moravia was selected for these purposes.

The Ivančice water treatment plant represents a unique location within the Czech Republic. The water treatment plant is located at the confluence of two watercourses, each of which has different natural conditions, different land use and population density and drains a different area. The water treatment plant uses the process of bank infiltration to produce drinking water, which consists of natural pre-treatment of the surface water of both watercourses.

The confluence of the Jihlava and Rokytná rivers represents a significant source of relatively high-quality drinking water. Currently, average withdrawals are around 10 l/s, but the theoretical potential for use is significantly higher. Two rivers play a decisive role in influencing the quality of raw water used to produce drinking water at the Ivančice waterworks.

The Rokytná is a right-hand tributary of the Jihlava River, which is 88 km long and has a catchment area of 584 km². The average flow of the Rokytná before the confluence with the Jihlava is 1.38 m³/s. The catchment

Rokytné před soutokem s Jihlavou je $1,38 \text{ m}^3/\text{s}$. Povodí je potenciálním zdrojem mikroplastů, protože do toku ústí čistírny odpadních vod z Rokytnice nad Rokytnou (830 obyvatel), Moravských Budějovic (7 200 obyvatel) a Moravského Krumlova (5 700 obyvatel).

Řeka Jihlava má délku toku od pramene k soutoku s Rokytnou 146 km a plochu povodí $2\,682 \text{ km}^2$. Jihlava má v oblasti soutoku řádově vyšší průtok než Rokytná, průměrný roční průtok je $10,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Na řece Jihlavě se nacházejí přehrady Dalešice a Mohelno, které mohou z hlediska šíření mikroplastické kontaminace fungovat jako sedimentační nádrž. Povodí řeky Jihlavy je větším potenciálním zdrojem mikroplastů, protože do vodního toku ústí čistírny odpadních vod z větších sídel. Jedná se především o město Jihlava (aglomerace 94 000 obyvatel) a Třebíč (35 000 obyvatel).

V rámci průběhu experimentu byly odebrány vzorky na šesti lokalitách. První dvě reprezentovaly kvalitu říční vody v obou vodních tocích, řekách Jihlavě (1) a Rokytné (2). Tyto výsledky umožnily posoudit, jaké je množství mikroplastů v surové vodě, ze které se vyrábí pitná voda. Sou-



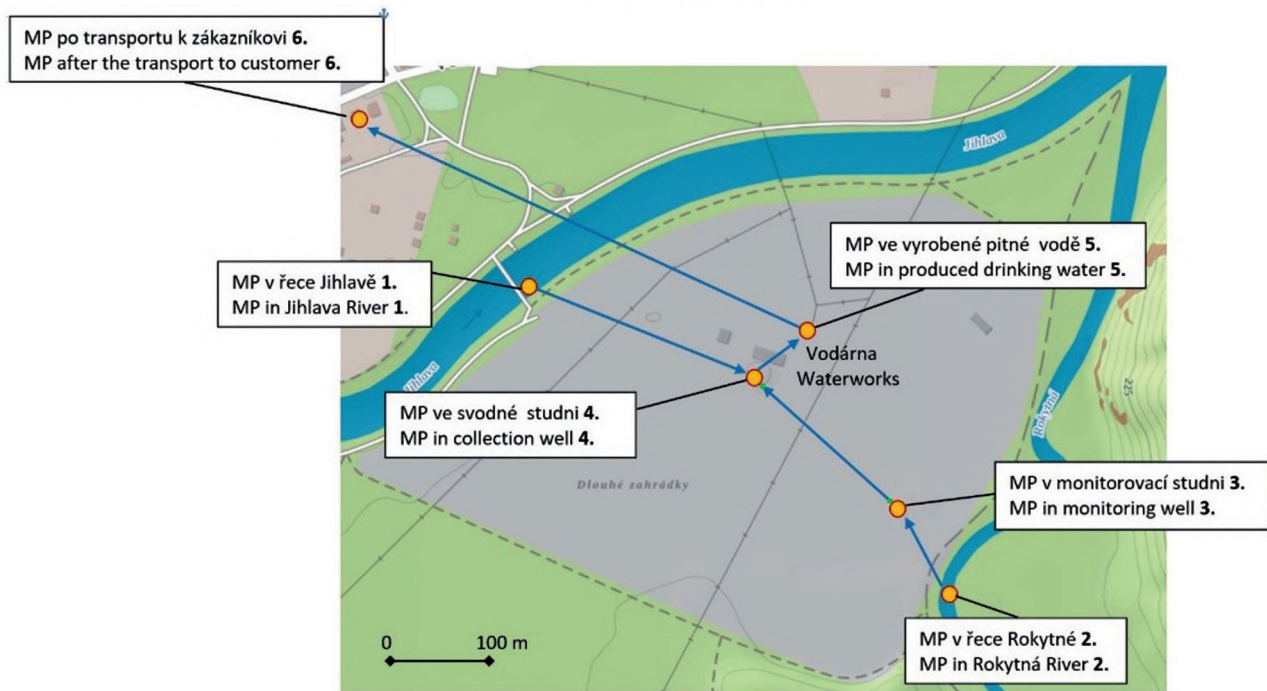
area is a potential source of microplastics, as wastewater treatment plants from Rokytnice nad Rokytnou (830 inhabitants), Moravské Budějovice (7.200 inhabitants) and Moravský Krumlov (5.700 inhabitants) flow into the river.

The Jihlava River has a flow length from the source to the confluence with the Rokytná of 146 km and a catchment area of 2.682 km². The Jihlava River has an order of magnitude higher flow than the Rokytná in the confluence area, with an average annual flow of 10.4 m³/s. The Dalešice and Mohelno dams are located on the Jihlava River, which can act as a sedimentation reservoir in terms of the spread of microplastic contamination. The Jihlava River basin is a larger potential source of microplastics, because wastewater treatment plants from larger settlements flow into the watercourse. These are primarily the city of Jihlava (agglomeration of 94.000 inhabitants) and Třebíč (35.000 inhabitants).

During the experiment, samples were taken at six locations. The first two represented the quality of river water in both watercourses, the Jihlava (1) and Rokytná rivers (2). These results made it possible to assess the amount of microplastics in the raw water from which drinking water is produced. At the same time, it was possible to state how the use of the landscape in the relevant basin contributes to the amount of microplastics. The next two analyses provided information on the filtration capacity of fluvial gravel deposits. This system of monitoring points consisted of a well 110 m away from the bed of the Rokytná river (3) and a collection well for the production of drinking water located approximately in the central part of the confluence area of both rivers (4). The fifth analysis provided information on the efficiency of microplastic removal when using traditional waterworks technologies supplemented in the final phase with an activated carbon filter (5). Finally, the last sample was taken from the customer's tap (6). From this analysis, we obtained information on the influence of transport through plastic pipes on the final result.

časně bylo možno konstatovat, jak se na množství mikroplastů podílí využití krajiny na příslušném povodí. Další dvě analýzy podaly informaci o filtrační schopnosti fluviálních štěrkových náplavů. Tento systém monitorovacích bodů se skládal ze studny vzdálené 110 m od koryta řeky Rokytne (3) a z jímací studny pro výrobu pitné vody situované přibližně v centrální části soutokové oblasti obou řek (4). Pátá analýza poskytla informaci o efektivitě odstraňování mikroplastů při použití tradičních vodárenských technologií doplněných v konečné fázi o filtr z aktivního uhlí (5). Konečně poslední vzorek byl odebrán z kohoutku u zákazníka (6). Z této analýzy jsme získali informace o vlivu dopravy plastovým potrubím na konečný výsledek.

Schéma monitoringu Monitoring scheme



Z monitoringu vyplynuly následující výsledky:

Výrazně větší množství MP bylo registrováno v jednotce objemu řeky Rokytne než v Jihlavě. V Rokytne bylo v 1 m³ vody nalezeno 2 100 částic MP, zatímco v podstatně vodnatějším toku Jihlavy jen 360 částic. Při přepočtu na celkový průtok jsou však výsledky víceméně srovnatelné. Rokytnou protéká 2 898 částic, Jihlavou 3 740 částic, což se odráží ve struktuře průmyslové výroby. V povodí Rokytne najdeme strojní, potravinářskou a zemědělskou výrobu, v povodí Jihlavy je rovněž kovo obrábějící průmysl, v městě Třebíči je ale i textilní výroba a probíhá zde i primární výroba plastů.

Tyto skutečnosti se projevují i ve struktuře zastoupených typů primárních plastů. V Jihlavě převládají pouze dva typy plastů, polystyren a polyethylen. V Rokytne je dominantním plastem polyethylen, dále jsou zastoupeny polymethylmethakrylát, polypropylen a polyethylentereftalát používané na obalové materiály.

Další dva monitorovací objekty (3. a 4.) prokázaly velmi dobrou efektivitu odstraňování MP průchodem horninového prostředí. Ve studni vzdálené jen 110 metrů od řeky Rokytne byl registrován řádový pokles MP z 2 100 na 260 částic. Ve svodné studni, zdroji surové vody pro výrobu vody pitné, která představuje směs obou řek, bylo zaznamenáno jen 65 částic MP na m³.

K dalšímu poklesu kontaminace MP přispěly čistírenské technologie. Na výstupu z vodárny bylo analyzováno v 1 m³ pitné vody jen 25 částic MP.

Nicméně k dalšímu obohacení MP došlo při dopravě pitné vody k zákazníkovi v obci Oslavany, vzdálené cca 5 km. Dopravou v plastovém potrubí se mírně zvýšilo množství MP a to na hodnotu 45 částic v 1 m³ pitné vody.

The monitoring yielded the following results:

A significantly larger amount of MP was registered per unit volume of the Rokytná River than in Jihlava. In Rokytná, 2.100 MP particles were found in 1 m³ of water, while in the significantly more watery Jihlava flow only 360 particles. However, when converted to the total flow, the results are more or less comparable. 2.898 particles flow through the Rokytná, 3.740 particles through the Jihlava, which is reflected in the structure of industrial production. In the Rokytná basin, we find mechanical, food and agricultural production, in the Jihlava basin there is also a metalworking industry, but in the city of Třebíč there is also textile production and primary plastics production.

These facts are also reflected in the structure of the types of primary plastics represented. In Jihlava, only two types of plastics prevail, Polystyrene and Polyethylene. In Rokytná, the dominant plastic is Polyethylene, followed by Polymethyl methacrylate, Polymethyl methacrylate and Polyethylene terephthalate used for packaging materials.

Two other monitoring objects (3. and 4.) demonstrated very good efficiency of MP removal through the passage of the rock environment. In a well located only 110 meters from the Rokytná River, an order of magnitude decrease in MP from 2.100 to 260 particles was registered. In the aquifer well, the source of raw water for the production of drinking water, which is a mixture of both rivers, only 65 MP particles were recorded.

Treatment technologies contributed to a further decrease in MP contamination. At the outlet of the waterworks, only 25 MP particles were analyzed in 1 m³ of drinking water.

However, further enrichment of MP occurred during the transport of drinking water to the customer in the village of Oslavany, approximately 5 km away. Transport in plastic pipes slightly increased the amount of PM, to a value of 45 particles in 1 m³ of drinking water.

The figures given allow an objective description of the quantitative and qualitative behavior of MP on the way from the source of produced drinking water to the customer. However, the interpretation of the total intake of MP particles into the human body is significantly more problematic. When converting the obtained results to 1 liter, we get extremely low values, which are negligible compared to the published figures of entry, mainly through inhalation, the amount of MP particles that we inhale. Significantly higher values are also published for packaged drinking water, which is generally considered one of the most important sources of MP entering the human body.

However, the problem of today's research remains the ununified methodology for determining MP not only in various sources, but also in waters. The mentioned trends in the behavior of MP in the aquatic environment on the way from the source of drinking water to the tap can be considered generally valid, the total amount of MP particles in the individual stages of monitoring can differ by an order of magnitude, depending on the methodology used.

Vysvětlení použitých zkratk

ABS akrylonitrilbutadienstyren

EVAc ethylen-vinylacetát

PA polyamid, nilon

PBT polybutylentereftalát

PE polyethylen

PET polyetylentereftalát

PMMA polymethylmethakrylát

PP polymethylmethakrylát

PS polystyren

PU polyuretan

PVC polyvinylchlorid

Silicone

Explanation of abbreviations used

ABS acrylonitrile butadiene styrene

EVAc ethylene vinyl acetate

PA polyamide, nylon

PBT polybutylene terephthalate

PE polyethylene

PET polyethylene terephthalate

PMMA polymethyl methacrylate

PP polymethyl methacrylate

PS polystyrene

PU polyurethane

PVC polyvinyl chloride

Silicone

