

Mikroplasty v lidském těle – kritický pohled na současné poznání

Microplastic in human body – a critical insight into current microplastic research

Vykpělová M., Khrapova V., Adamovský O.

RECETOX, PŘF MU, Brno

Souhrn

Východiska: Mikroplasty a nanoplasty jsou všudypřítomné environmentální kontaminanty, kterým mohou být lidé vystaveni inhalací nebo orální cestou. Řada studií uvádí přítomnost mikroplastů v lidských tkáních a biologických tekutinách. Biologická relevance a spolehlivost těchto nálezů však zůstávají nejisté. Tato kritická práce hodnotí současné poznatky o mikroplastech v lidském těle se zaměřením na expoziční cesty, význam velikosti částic a analytická omezení. Mechanistická data naznačují, že přestup přes střevní a plicní bariéru je pravděpodobně omezen na malé mikroplasty ($< 10 \mu\text{m}$) a nanoplasty, což zpochybňuje zprávy o výskytu větších částic v lidských tkáních. Mezi hlavní výzvy patří sekundární kontaminace, detekční limity a metodické artefakty spojené s běžně používanými analytickými technikami. Experimentální důkazy o biologických účincích, vč. zánětu, narušení mikrobiomu a ovlivnění drah souvisejících s karcinogenezí, jsou diskutovány v kontextu fyziologické relevance. **Cíl:** Celkově naše práce zdůrazňuje potřebu standardizovaných analytických metod, přísné kontroly kvality zpracování vzorků a mechanistických studií využívajících realistické expoziční scénáře pro spolehlivý výzkum dopadů mikroplastů na lidské zdraví.

Klíčová slova

mikroplasty – aditiva – zdraví – analytické stanovení – sekundární kontaminace – biologická aktivita

Summary

Background: Microplastics and nanoplastics are ubiquitous environmental contaminants, and human exposure via ingestion and inhalation is increasingly recognized. Numerous studies report microplastics in human tissues and biological fluids, yet the biological relevance and robustness of these findings remain uncertain. This critical work evaluates current evidence on microplastics in the human body, focusing on exposure pathways, particle size relevance, and analytical limitations. Mechanistic data indicate that translocation across intestinal and pulmonary barriers is likely restricted to small microplastics ($< 10 \mu\text{m}$) and nanoplastics, raising questions about reports of larger particles in human tissues. Key challenges include secondary contamination, size-dependent detection limits, and methodological artifacts associated with common analytical techniques. Experimental evidence for biological effects, including inflammation, microbiome disruption, and cancer-related pathways, is discussed in the context of physiological relevance. **Aim:** Overall, our work highlights the need for standardized analytical methods, rigorous quality control, and mechanistic studies using realistic exposure scenarios to support sound microplastics related human health research.

Key words

microplastics – additives – health – analytical determination – secondary contamination – biologic activity

Autoři deklarují, že v souvislosti s předmětem studie nemají žádné komerční zájmy.

The authors declare that they have no potential conflicts of interest concerning drugs, products, or services used in the study.

Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.

The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE recommendation for biomedical papers.



Mgr. Ondřej Adamovský, Ph.D.

RECETOX

Přírodovědecká fakulta

Masarykova univerzita

Kamenice 753/5

625 00 Brno

e-mail:

ondrej.adamovsky@recetox.muni.cz

Přijato/Accepted: 18. 3. 2026

doi: 10.48095/ccko2026558

Úvod

Mikroplasty (MP) jsou definované jako plastové částice o průměru < 5 mm. Nanoplasty (NP) jsou poté vymezované jako částice < 1 μm . MP jsou rozšířeny prakticky ve všech složkách životního prostředí. Dosavadní výzkum prokázal, že expozice MP může mít široké spektrum nepříznivých účinků. Tyto účinky mohou souviset nejen se samotnými částicemi, ale také s plastovými aditivy, která jsou přítomna ve všech plastových materiálech. Toxicita, neboli biologická aktivita, je tedy vždy otázkou kombinace vlastností samotného polymeru a jeho specifických aditiv.

Aditiva jsou do plastů přidávána za účelem dosažení požadovaných vlastností finálního produktu, jako je stabilita, flexibilita nebo barevnost. Tato aditiva často nejsou kovalentně vázána na polymerní matici, což umožňuje jejich uvolňování do okolního prostředí a potenciálně i do lidského organismu. Výzkumné snahy mapující chemické složení plastů identifikovaly celkem 16 325 unikátních známých aditiv. Více než 4 200 z nich je klasifikováno jako látky vzbuzující obavy, jelikož vykazují perzistentní, bioakumulativní nebo toxické vlastnosti, a také vysokou mobilitu v prostředí [1].

Vzhledem k velké rozmanitosti polymerů, jejich fyzikálním vlastnostem i chemickému složení je nutné mít na paměti, že biologická aktivita a potenciální zdravotní dopady spojené s různými typy MP se mohou významně lišit.

Expozice MP u člověka

MP jsou dnes běžně detekovány v různých složkách životního prostředí, vč. ovzduší, vody, půdy, prachu, ale i potravin a nápojů. Všechny tyto složky mohou představovat potenciální zdroj expozice pro člověka [2]. Existují dvě hlavní cesty, kterými vstupují do lidského organismu – požití (ingesce) a vdechnutí (inhalace). Přítomnost MP byla opakovaně prokázána v balených nápojích [3] a v potravinách určených k lidské spotřebě, např. v mořských plodech (měkkýši, koryši a ryby), soli, cukru či medu [4]. Odhaduje se, že roční příjem MP prostřednictvím kontaminovaných potravin a nápojů může dosahovat při-

bližně 39 000–52 000 částic na osobu, přičemž tyto odhady se liší v závislosti na použitých analytických metodách a jejich detekčních limitech.

Pro správné posouzení rizik spojených s expozicí MP je důležité posoudit, jak velké částice jsou schopny překonávat biologické bariéry. Za klíčovou se v tomto ohledu považuje zejména střevní bariéra, která může umožnit přestup částic ze střeva do krve a dále do organismu. Dosavadní literatura naznačuje, že biologické bariéry mohou překonávat především menší částice, typicky o velikosti < 10 μm . Tyto se následně mohou dostávat také do tkání. Některé studie dokonce uvádějí, že tuto schopnost mají pouze částice < 1 μm [5]. MP částice > 1 μm pravděpodobně nedokážou překonat plicní bariéru mezi vzduchem a krví, zatímco částice > 10 μm pravděpodobně neprocházejí střevní bariérou [6,7].

Přítomnost MP částic byla dosud popsána v řadě lidských orgánů a tělních tekutin, vč. respirační tkáně a tekutin (plicní tkáň, sputum, bronchoalveolární laváž), cévního systému (krev a aterosklerotické pláty), či reprodukčních a vývojových tkání (placenta, mateřské mléko, varle, semenná tekutina a tkáň penisu). Dále byly MP reportovány ve vzorcích střevní tkáně a stolice, a také v játrech, slezině a ledvinách. Byly popsány i v nervovém systému, vč. mozkové tkáně a čichového laloku (tab. 1). Bez přesvědčivých mechanistických vysvětlení však nelze podpořit závěry studií, které uvádí přítomnost částic > 10 μm ve tkáních.

Výzvy analytických metod a problematika sekundární kontaminace

Detekce a kvantifikace MP v lidských tkáních je úzce spojena s často opomíjeným rizikem sekundární kontaminace, při níž jsou vzorky kontaminovány MP z okolního prostředí. Studie, které uvádějí přítomnost MP v různých lidských tkáních, jsou proto v současnosti předmětem kritické diskuse. Odborný komentář publikovaný v roce 2025 v časopise *Nature* podrobně rozebírá závažné problémy při přípravě vzorků a analytickém stanovení MP [5].

Plastové materiály jsou v životním prostředí všudypřítomné, a proto se

i moderní laboratoře stávají potenciálními zdroji znečištění MP. Kontaminace může nastat v každé fázi výzkumu, od odběru a přepravy vzorků až po laboratorní zpracování a finální analýzu. Mezi možné zdroje kontaminace patří proudění vzduchu, prach, voda z kohoutku, chemikálie, a dokonce také laboratorní vybavení, jako jsou skleněné nádoby nebo hliníková fólie, které mohou v některých situacích nečekaně obsahovat více částic než alternativy z plastu [10].

Důležité je také zmínit, že chemické látky používané k rozpouštění tkání se obvykle na přítomnost MP netestují. Ke snížení rizik sekundární kontaminace je proto zásadní používat tzv. environmentální a procedurální kontrolní vzorky, které umožňují zachytit a korigovat kontaminaci, která byla do experimentu zanesena při získání či zpracování vzorků. Kvalitní zajištění kontroly kvality navíc zahrnuje práci v prostředí s čistým vzduchem (např. v laminárních boxech), nošení bavlněného oděvu a používání nástrojů bez plastů, jakými jsou skalpely z nerezové oceli či speciální laboratorní sklo. Bez dodržování těchto přísných standardů a bez transparentního způsobu reportování zůstává nejasné, jak spolehlivé jsou některá publikovaná zjištění o přítomnosti MP v lidském těle.

Jako příklad uvádíme studii, která analyzovala mozky 91 osob *post mortem*, a uvedla závěr, že MP tvořily v průměru 0,65 % hmotnosti mozku. Pro ilustraci stejní autoři uvádí, že toto množství odpovídá přibližně 4,5 polyetylenovým uzávěrům od nápojových lahví v mozku každého člověka. Jiná studie uvádí nález poměrně velkých plastových částic v lidských vzorcích krve, a to o délce až 3 mm [11]. Podobně studie, která hledala MP v tkáni lidského penisu, popsala částice o velikosti 200–500 μm [12]. Tyto práce přispívají k probíhající debatě o biologické věrohodnosti takových nálezů. Podle současných poznatků, např. dle evropského projektu EU PolyRisk, jsou částice > 10 μm obecně příliš velké na to, aby překonaly střevní bariéru, a částice > 1 μm se obtížně dostávají přes plicní bariéru. To naznačuje, že některé zjištěné velké částice v tkáních mohou být alespoň částečně důsledkem kontaminace vzorků nebo analytických artefaktů.

Tab. 1. Přehled velikostí MP částic nalezenných v lidských orgánech, tkáních a tekutinách. Tabulka byla upravena dle [8] a vychází z publikovaných prací. Jednotlivé studie lze rovněž nalézt v přehledových studiích, např. [9].

Analýzovaný orgán/tkáň	Velikost částic	Velikost částic (μm)						
		< 1	1–20	20–50	50–150	150–300	300–500	> 500
moč	4–15 μm							
aterosklerotický plát v karotidě	< 1 μm							
mateřské mléko	2–12 μm							
plicní tkáň	12–2 475 μm							
tkáň penisu	20–500 μm							
střevní mikrobiom	160 μm							
placenta	5–10 μm							
placenta, mekonium, stolice kojenců, mateřské mléko a kojenecká výživa	20–500 μm							
krev	0,7–500 μm							
krevní sraženina	2,1–26,0 μm							
sputum	20–500 μm							
dolní cesty dýchací	1,73 ± 0,15 mm							
játra	4–30 μm							
plicní uzly	< 20 μm							
placenta a mekonium	> 50 μm							
stolice	1,7–393,8 μm							
plíce	1,60–5,56 μm							
vlasý	< 100 μm, některé 100–500 μm							
kůže	< 100 μm, 25 % v rozmezí 100–250 μm							
sliny	< 100 μm							
mozek	100–200 nm							
játra	1–5 μm							
ledvina	1–5 μm							

Současná omezení analytických metod výrazně ovlivňují citlivost a přesnost detekce MP. Běžně používanou analytickou metodou pro detekci MP je např. pyrolyzní plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií (pyrolysis-gas chromatography mass spectrometry – Py-GCMS), která byla využita např. při stanovení MP v krvi nebo mozku. Py-GCMS je využívána k identifikaci chemických „otisků“ plastů, tedy charakteristických chemických látek, které umožňují rozeznat typ plastu. Tato metoda tedy neposkytuje informace o samotných částicích MP, dokáže pouze

určit přítomnost chemikálie, aniž by bylo možné určit její formu (např. zda se jedná o monomery či polymery). Přes své široké použití je navíc často spojována se vznikem analytických artefaktů a falešně pozitivních výsledků. Některé biologické látky, např. mastné kyseliny a triglyceridy, se při pyrolytickém rozkladu mohou přeměnit na stejné sloučeniny jako polyetylen [5,13]. To je zvláště problematické, protože polyetylen je touto metodou nejčastěji identifikovaným plastem ve studiích na lidských tkáních. Na druhé straně běžně používané spektroskopické

metody, jakými jsou Ramanova spektroskopie nebo infračervená spektroskopie s Fourierovou transformací, mají nižší detekční limity, ~1–10 μm. Přesto ty nejmenší částice, zejména NP, které jsou považovány za biologicky aktivnější, často zůstávají nedetekovány nebo jsou podhodnoceny. NP tvoří samostatnou oblast výzkumu, kde panuje všeobecná shoda, že tyto částice mohou pronikat biologickými bariérami, vč. placenty [14].

Jedním z přístupů, který výrazně snižuje riziko sekundární kontaminace při zpracování vzorků, je mikro-počítačová

tomografie (mikro-CT), jež umožňuje nedestruktivní vizualizaci MP v intaktních biologických tkáních. V rámci projektu PlastSensing je metoda mikro-CT vyvíjena na VUT CEITEC jako spolehlivá metoda k přesné identifikaci MP v různých živočišných i lidských tkáních [15].

Vzájemné působení hostitele a jeho mikrobiomu při karcinogenezi

MP jsou stále častěji považovány za potenciálně karcinogenní činitele, kteří mohou podporovat karcinogenezi kombinací účinků vyvolaných samotnými částicemi a chemickými látkami. Princip, na kterém karcinogeneze prostřednictvím MP funguje, se podobá Trojskému koni. MP, především ty, které mohou přecházet tkáněmi, přenášejí látky s karcinogenním potenciálem do tkání. Jedná se především o plastová aditiva, ftaláty a bisfenoly, ale také environmentální polutanty, které se mohou vázat na povrch MP v prostředí. Dle experimentálních důkazů mohou MP, a zvláště NP, způsobovat poškození DNA, oxidační stres a chronický zánět, což jsou klíčové znaky karcinogeneze. Částice mohou rovněž ovlivňovat mikroprostředí nádorů, narušovat imunitní signalizaci a aktivovat dráhy relevantní pro vznik rakoviny (např. p53, NF- κ B, MAPK), čímž mohou urychlovat iniciaci a růst nádorů, jak bylo prokázáno v experimentech na zvířecích modelech [16].

Přehled výzkumu zaměřeného na karcinogenezi lze nalézt v několika přehledových studiích [17], nicméně je důležité zde opět upozornit na kritický aspekt publikovaných studií vzhledem k velikosti částic MP. Například studie využívající lidské nádorové buněčné linie prsu MCF-7 a MDA-MB-231 naznačuje, že mechanické interakce buněk s MP nepravidelných tvarů mohou podporovat projevy spojené s metastázováním. Jedná se především o expresi genů souvisejících s metastázováním a tvorbou prozánětlivého prostředí, což poukazuje na potenciální riziko MP při progresi rakoviny [18]. Stejně jako u několika dalších studií byly v této práci pozorovány biologické účinky MP > 20 μ m. Znovu zde tedy vyvstávají otázky ohledně fyziologické relevance, jelikož MP této velikosti

pravděpodobně v těle člověka nejsou schopné přesunů mezi tkáněmi. Vzhledem k tomu, že expozice velkým částicím nereflexuje reálné podmínky v organismu, je nutné závěry vyvozené ze studií prováděných *in vitro* posuzovat kriticky.

Ačkoliv mají MP omezenou schopnost pronikat ze střeva do krevního oběhu a dále do tkání, jejich opakovaný příjem potravou může při dlouhodobé expozici nepříznivě ovlivňovat střevní prostředí. MP přijaté potravou mohou narušovat střevní mikrobiom a vést k dysbióze, která se projevuje sníženou mikrobiální diverzitou, úbytkem prospěšných kmenů a nárůstem prozánětlivých a potenciálně patogenních taxonů. Takové narušení složení střevního mikrobiomu může ovlivňovat mikrobiální metabolismus, trávení živin i buněčné signální dráhy hostitele a je často spojováno s rozvojem s metabolických a zánětlivých onemocnění [19]. MP mohou zároveň sloužit jako substrát pro tvorbu biofilmů, tzv. „plastisféry“, které mohou usnadňovat přenos patogenů a také horizontální přenos genů rezistence k antimikrobiálním látkám [20,21]. Dále mohou MP také narušovat tvorbu hlenu a integritu střevní bariéry, čímž zvyšují propustnost střeva a potenciálně i systémovou expozici částicím a toxinům. V tomto kontextu se opět uplatňuje koncept Trojského koně, protože MP mohou do organismu přenášet a uvolňovat bioaktivní chemické látky, z nichž řada byla prokázána jako látky schopné ovlivňovat složení střevního mikrobiomu [22].

Závěr

MP a NP představují složitý problém v oblasti lidského i environmentálního zdraví, jehož dopady stále zůstávají neobjasněné. Ačkoliv je lidská expozice prostřednictvím požití a inhalace jasně prokázána, stále existují významné nejasnosti ohledně toho, které velikosti částic a chemické formy jsou biologicky relevantní a schopné překonávat fyziologické bariéry. Současné důkazy naznačují, že největší riziko představují menší částice, zejména NP. Popsané nálezy velkých částic v lidských tkáních jsou obtížně slučitelné s biologickými

poznatky a pravděpodobně ovlivněné analytickými omezeními a sekundární kontaminací.

Experimentální data však ukazují, že MP a v nich obsažená plastová aditiva mohou narušovat klíčové biologické systémy, vč. integrity bariér, regulace imunitního systému, střevního mikrobiomu a buněčných signálních drah spojených s karcinogenezí. Souhrn těchto poznatků zdůrazňuje potřebu standardizovaných analytických metod s kontrolou kontaminace. Dále je nutné provádět mechanistické studie, které zohlední velikost částic, jejich chemické složení a kontext expozice, aby bylo možné spolehlivě posoudit rizika pro lidské zdraví.

Dedikace

Výzkum byl podpořen grantem Grantové agentury České republiky (GAČR) č. GA23-13617L. Tato práce byla podpořena z programu Evropské unie pro výzkum a inovace Horizont 2020 na základě grantové dohody č. 857560. Tato publikace vyjadřuje pouze názor autora a Evropská komise neodpovídá za případné využití informací v ní obsažených.

Poděkování

Autoři děkují výzkumné infrastruktuře RECETOX (č. LM2023069) financované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy, za podpůrné informace.

Literatura

1. Monclús L, Arp HP, Groh KJ et al. Mapping the chemical complexity of plastics. *Nature* 2025; 643(8071): 349–355. doi: 10.1038/s41586-025-09184-8.
2. Da Costa Filho PA, Andrey D, Eriksen B et al. Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu$ m) in milk products. *Sci Rep* 2021; 11(1): 24046. doi: 10.1038/s41598-021-03458-7.
3. Mohamed Nor NH, Kooi M, Diepens NJ et al. Lifetime accumulation of microplastic in children and adults. *Environ Sci Technol* 2021; 55(8): 5084–5096. doi: 10.1021/acs.est.0c07384.
4. Barboza LG, Dick Vethaak A, Lavorante BR et al. Marine microplastic debris: an emerging issue for food security, food safety and human health. *Mar Pollut Bull* 2018; 133: 336–348. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.
5. Xu JL, Wright S, Rauert C et al. Are microplastics bad for your health? More rigorous science is needed. *Nature* 2025; 639(8054): 300–302. doi: 10.1038/d41586-025-00702-2.
6. Paul MB, Stock V, Cara-Carmona J et al. Micro- and nanoplastics – current state of knowledge with the focus on oral uptake and toxicity. *Nanoscale Adv* 2020; 2(10): 4350–4367. doi: 10.1039/d0na00539h.
7. Nakane H. Translocation of particles deposited in the respiratory system: a systematic review and statistical analysis. *Environ Health Prev Med* 2012; 17(4): 263–274. doi: 10.1007/s12199-011-0252-8.
8. Khrapova V. Mikroplasty – mapování jejich efektů na lidi. [online]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/ay554/2_Khrapova_Final_Project.pdf.
9. Malafaia G, Barceló D. Microplastics in human samples: recent advances, hot-spots, and analytical challenges. *TrAC Trends Anal Chem* 2023; 161: 117016.

10. Jones NR, de Jersey AM, Lavers JL et al. Identifying laboratory sources of microplastic and nanoplastic contamination from the air, water, and consumables. *J Hazard Mater* 2024; 465: 133276.
11. Leonard VL, Liddle CR, Atherall CA et al. Microplastics in human blood: polymer types, concentrations and characterisation using μ FTIR. *Environ Int* 2024; 188: 108751. doi: 10.1016/j.envint.2024.
12. Codrington J, Varnum AA, Hildebrandt L et al. Detection of microplastics in the human penis. *Int J Impot Res* 2024; 37(5): 377–383. doi: 10.1038/s41443-024-00930-6.
13. Rauert C, Pan Y, Okoffo ED et al. Extraction and pyrolysis-GC-MS analysis of polyethylene in samples with medium to high lipid content. *J Environ Expo Assess* 2022; 1(2): 13. doi: 10.20517/jeea.2022.04.
14. Fournier SB, D'Errico JN, Adler DS et al. Nanopolystyrene translocation and fetal deposition after acute lung exposure during late-stage pregnancy. *Part Fibre Toxicol* 2020; 17(1): 55. doi: 10.1186/s12989-020-00385-9.
15. Parobková V, Maleček L, Zemek M et al. Advancing microplastic detection in zebrafish with micro computed tomography: A novel approach to revealing microplastic distribution in organisms. *J Hazard Mater* 2025; 488: 137442. doi: 10.1016/j.jhazmat.2025.137442.
16. Chen G, Shan H, Xiong S et al. Polystyrene nanoparticle exposure accelerates ovarian cancer development in mice by altering the tumor microenvironment. *Sci Total Environ* 2024; 906: 167592. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.
17. Dzierżyński E, Gawlik PJ, Puźniak D et al. Microplastics in the human body: exposure, detection, and risk of carcinogenesis: a state-of-the-art review. *Cancers (Basel)* 2024; 16(21): 3703. doi: 10.3390/cancers16213703.
18. Park JH, Hong S, Kim OH et al. Polypropylene microplastics promote metastatic features in human breast cancer. *Sci Rep* 2023; 13(1): 6252. doi: 10.1038/s41598-023-33393-8.
19. Santos AL, Rodrigues CC, Oliveira M et al. Microbiome: a forgotten target of environmental micro(nano)plastics? *Sci Total Environ* 2022; 822: 153628. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153628.
20. Fournier E, Etienne-Mesmin L, Grootaert C et al. Microplastics in the human digestive environment: a focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development. *J Hazard Mater* 2021; 415: 125632. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125632.
21. World Health Organization. Microplastics in drinking water. [online]. Available from: <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/microplastics-in-dw-information-sheet190822.pdf>.
22. Adamovsky O, Buerger AN, Vespalcova H et al. Evaluation of microbiome-host relationships in the zebrafish gastrointestinal system reveals adaptive immunity is a target of bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) exposure. *Environ Sci Technol* 2020; 54(9): 5719–5728. doi: 10.1021/acs.est.0c00628.