

Pojavnost mikroplastike u prehrambenom lancu i njen utjecaj na ljudsko zdravlje

Bogdanović Tanja¹, Sandra Petričević¹, Irena Listeš¹, Jelka Pleadin^{2*}

Sažetak

Akumulacija mikroplastike (MP) u okolišu i kontaminacija prehrambenih proizvoda ovim zagađivačem postala je globalna prijetnja i okolišu i zdravlju ljudi. Trenutačno, zabrinutost vezana uz prisustvo MP u okolišu uključuje ulogu MP kao izvora i finalnog deopa za otrovne kemikalije i patogene mikroorganizme uz bioakumulaciju i potencijalni ulazak u prehrambeni lanac. Najveći dio potrošnje plastike odnosi se na proizvodnju ambalažnih materijala, uključujući i one koji se primjenjuju u prehrambenoj industriji, a ljudi često pohranjuju, prenose, pripremaju i konzumiraju hranu u plastičnim posudama. Ovaj rad daje pregled spoznaja o pojavnosti MP u prehrambenom lancu i naglašava njenu ulogu kao vektora raznih onečišćujućih tvari i mikroorganizama. Nadalje jedan od ciljeva rada je ukazati na mogući utjecaj oslobađanja MP iz plastičnih ambalažnih materijala u hranu i piće te na potencijalne negativne posljedice po ljudsko zdravlje. Temeljem pregleda recentnih znanstvenih studija proizlazi kako se istraživanja utjecaja MP na prehrambeni lanac, a posebno utjecaja na zdravlje ljudi, trebaju još više intenzivirati i produbiti. Smjernice za ublažavanje njenih potencijalnih negativnih utjecaja uključuju analizu rizika i uvođenje prehrambenih preporuka za visokorizične namirnice s većim udjelom ovog značajnog zagađivača hrane te primjenu alternativnih ambalažnih materijala u pakiranju hrane i pića.

Ključne riječi: mikroplastika, prehrambeni lanac, kemijska zagađivala, mikroorganizmi, toksičnost

Uvod

Kontaminacija plastikom smatra se globalnom prijetnjom zdravlju ljudi i okoliša. Značajno povećanje svjetske godišnje proizvodnje plastike s dva milijuna tona u 1950. godini na više od 300 milijuna tona u 2018. godini dovelo je do visoke razine zagađenja okoliša (Hale i sur., 2020.). To je uglavnom zbog njene sposobnosti da se akumulira u različitim okolišnim medijima i otpornosti na kemij-

sku i/ili biološku razgradnju (Barnes i sur., 2009.). Plastični polimeri poput polipropilena (PP), polietilena (PE), poli(etilen-tereftalata) (PET), polistirena (PS), poliuretana (PUR), poli(vinil-klorida) (PVC) i polikarbonata (PC) (Li i sur., 2016.) identificirani su kao glavni izvori plastičnog onečišćenja u različitim dijelovima okoliša. Dok veći plastični otpad predstavlja neposredan vidljivi rizik za okoliš i živi

¹ Dr. sc. Tanja Bogdanović, viša znanstvena suradnica; dr. sc. Sandra Petričević, poslijedoktorandica; dr. sc. Irena Listeš, znanstvena suradnica, Hrvatski veterinarski institut, Veterinarski zavod Split, Poljička cesta 33, Split

² Prof. dr. sc. Jelka Pleadin, znanstvena savjetnica u trajnom zvanju, Hrvatski veterinarski institut, Laboratorij za analitičku kemiju, Savska cesta 143, Zagreb

*Autor za korespondenciju: pleadin@veinst.hr

svijet, sve je veća zabrinutost zbog utjecaja manjih plastičnih fragmenata na okoliš i zdravlje.

Prema definiciji Europske agencije za kemikalije (ECHA), mikroplastika je materijal koji se sastoji od čvrstih čestica koje sadrže polimer, u koji su možda dodani aditivi ili druge tvari i gdje je ≥ 1 % masene koncentracije raspona veličina od $1 \text{ nm} \leq x \leq 5 \text{ mm}$ ili je oblik vlakna raspona duljina od $3 \text{ nm} \leq x \leq 15 \text{ mm}$ i omjera duljine i promjera > 3 . Prema obliku čestica MP razlikujemo vlakna, fragmente, pelete ili filmove (Lusher i sur., 2013.). Vlakna su kritična jer se smatra da izazivaju toksične učinke pri nižim dozama od čestica oblika kugle, a njihova prisutnost svojstvena je mnogim prehrambenim proizvodima (Lusher i sur., 2013.; Waddell i sur., 2020.). Prema izvoru stvaranja MP se dijeli na primarnu i sekundarnu. Primarna MP može se naći u proizvodima za osobnu njegu (mikro kuglice) ili u obliku plastičnih peleta koji se koriste u industrijskoj proizvodnji ili plastičnih vlakana koja se koriste u sintetičkom tekstilu. Ove čestice izravno ulaze u prirodne ekosustave iz različitih izvora. Sekundarna MP nastaje raspadom većih čestica polimernih materijala u okolišu pod utjecajem prirodnih i vremenskih utjecaja. Značajna razlika između ove dvije vrste MP je u načinu na koji ulazi u okoliš. Primarna se oslobađa u okoliš u svom konačnom obliku, dok sekundarna nastaje trošenjem i raspadom veće plastike u manje čestice izravno u okolišu. Utvrđeno je da se obje vrste akumuliraju i opstaju u prirodnim vodenim ekosustavima, a čestice sekundarne MP mogu se dalje razgraditi do nanoplastike (NP) promjera čestica od 1 nm do $0,1 \mu\text{m}$ (Bogdanović i sur., 2022.).

MP kao zagađivalo s velikim rizikom nastajanja izaziva veliku globalnu zabrinutost zbog konstantnog udjela u različitim dijelovima okoliša, uključujući zrak, vodu, tlo, sediment i biotu. Međutim, većina dosadašnjih studija u ovom području usmjerena je na karakterizaciju pojave, sudbine i utjecaja u vodenom okolišu (Wu i sur., 2019.; Yao i sur., 2019.). Studije koje su se fokusirale na MP u kopnenim vanjskim i zatvorenim okruženjima ograničene su u usporedbi s onima u morskom/slatkovodnom okolišu (Bogdanović i sur., 2022.). Sveprisutna MP dokazana je u najudaljenijim područjima svijeta kao što su Arktik i morsko dno (Nizzetto i sur., 2016.). Neki od puteva njenog unošenja u kopneni i vodeni okoliš su: otapanje poljoprivredne polietilenske folije, sušenje odjeće, abrazije automobilskih guma, gnojiva kontami-

nirana kanalizacijskim muljem, smeće s brodova, erozija vjetrom, sustavi odvodnje, otpadne vode, površinske struje i rijeke (Van Cauwenberghe i sur., 2013.; Nizzetto i sur., 2016.; Wagner i sur., 2018.).

Glavna zabrinutost vezana uz prisustvo MP u okolišu odnosi se na činjenicu da ona predstavlja izvor i finalni depo otrovnih kemikalija i patogenih mikroorganizama (PMO), a uz bioakumulaciju i potencijalni ulazak u prehrambeni lanac smatra se vektorom za prijenos onečišćujućih tvari i patogeni, čija ingestija pruža potencijalni put za prijenos onečišćujućih tvari poput monomera, toksičnih aditiva i ostalih zagađivača (Cverenkárová i sur., 2021.). Podaci o europskoj uporabi pokazuju da se oko 39,6 % plastike koristi samo kao ambalažni materijal (Lebreton i Andrady, 2019.). Materijali za pakiranje hrane i pića na bazi plastike obuhvaćaju najveći opseg primjene u prehrambenoj industriji i to najviše pri kontroli temperature i atmosfere unutar pakiranja, provedbi jednostavnijih postupaka proizvodnje i obrade hrane te skladištenju svježih proizvoda (Bott i sur., 2014.). Ali u današnje vrijeme, velika upotreba plastičnih spremnika za hranu, plastične ambalaže, plastičnih boca, jednokratnih čaša, hranilica za dojenčad te plastificiranih metalnih i papirnatih kutija izazvala je problem izravnog kontakta i otpuštanja plastičnih čestica u prehrambene proizvode. Ljudi pohranjuju, transportiraju, pripremaju i konzumiraju hranu u plastičnim posudama, ali nisu svjesni ispiranja plastike iz posuda u njihovu hranu i piće te posljednog izravnog konzumiranja MP. Bitno je istaknuti i da su metode uzorkovanja, ekstrakcije i analize MP vrlo opsežne i kompleksne, što otežava uspostavljanje standardnih postupaka koji su neophodni u radu analitičkih laboratorija pri dokazivanju ovog zagađivača.

Cilj ovog rada je prikazati pojavnost MP u prehrambenom lancu i istaknuti njenu ulogu kao vektora raznih onečišćujućih tvari i mikroorganizama. Nadalje, jedan od ciljeva je ukazati na moguće utjecaje oslobađanja MP iz plastičnih ambalažnih materijala u hranu i piće. Prezentirane su i potencijalne zdravstvene posljedice povezane s unosom MP u ljudski organizam putem konzumiranja hrane.

Kemijska i mikrobna povezanost s MP

Čestice MP mogu djelovati kao tvorbene površine za kolonizaciju mikroorganizama i kemijsku adsorpciju (Cverenkárová i sur., 2021.), a na to utječu različiti fizički, kemijski i biološki čimbeni-

ci (Galloway i sur., 2017.; Lu i sur., 2019.). MP može biti izvor otrovnih kemikalija, kao što su metali ili postojani organski zagađivači, upravo zbog njihove adsorpcije na MP, a adsorbirane kemikalije mogu se iz jednog okoliša prenijeti u drugi (Gouin i sur., 2011.). Nedavna istraživanja su pokazala adsorpciju metala u visokim koncentracijama na različite vrste MP, npr. utvrđeno je da je bakar vezan za PE i PP u koncentraciji od 80-500 ng/g MP (Wang i sur., 2017.). Slično je i sa ostalim toksičnim metalima, primarno arsenom, kadmijem, olovom i kromom (Campanale i sur., 2020.). Većina istraženih metala dolazi iz vodenog okoliša i adsorpcija metala na MP u drugim dijelovima okoliša, kao što su tlo i zrak, smatra se oskudnom. Postojane organske onečišćujuće tvari (POPs) i organoklorni pesticidi također se adsorbiraju na MP (Adjei i sur., 2014.). To uključuje policikličke aromatske ugljikovodike (PAH), poliklorirane bifenile (PCB), insekticid diklorodifeniltrikloretan (DDT) i heksaklorocikloheksanske izomere (HCHs) (Adjei i sur., 2014.; Heskett i sur., 2012.). Identificirane su visoke koncentracije PAH-ova i do 164.900 ng/g na česticama MP te preko 18.000 ng/g PCB na MP (Endo i sur., 2005.). Međutim, utvrđene su mnogo niže koncentracije ostalih toksičnih POPs kao što su DDT i HCH (Heskett i sur., 2012.).

Također, osim izravnog utjecaja čestica MP na sastavnice vodenog okoliša koji je dobro istražen, prethodno navedene studije upućuju da bi adsorbirane kemikalije na čestice MP mogle imati snažan utjecaj na cjelokupan okoliš i prehrambeni lanac. Polimeri čestica MP se sastoje od monomernih podjedinica, od kojih su mnoge podjedinice toksične i povezane s bolestima kao što su rak i reproduktivne abnormalnosti kod ljudi, glodavaca i beskralježnjaka (DEPA, 2015.). Primjer je PS čija je toksičnost kao polimera još uvijek neizvjesna, ali je poznato da je njegov monomer (stiren) otrovan i klasificiran kao potencijalno kancerogena tvar. *In vivo* studije ukazuju da nanočestice PS mogu prodrijeti u organizme kroz kožu i doći do dišnog i probavnog trakta (Zettler i sur., 2013.). Ove studije dokazuju zdravstvene rizike prouzročene ingestijom čestica MP koje u sastavu imaju rizične monomere.

Stvaranje mikrobnog biofilma vrlo je česta metoda kolonizacije na površini MP. U biofilmu mikroorganizmi proizvode ekstracelularni polimeri matriks koji ih štiti od vanjskih utjecaja (Cverenkárová i sur., 2021.). Mikrobi se također vežu na

plastične čestice zbog dobre dostupnosti hranjivih tvari koje su pričvršćene za površinu. Biofilmovi se obično sastoje od bakterija (uglavnom *α-Proteobacteria*) i dijatomeja, a u slučaju morskih biofilma mogu sadržavati i patogene mikroorganizme (Oberbeckmann i sur., 2015.). Formiranje biofilma na morskoj MP obično počinje s λ -proteobakterijama (*Pseudomonas*, *Alteromonas*) u prva 24 h i nastavlja se s α -proteobakterijama nakon 24 h. S vremenom se vežu bakterije iz reda *Bacteroidetes* (Oberbeckmann i sur., 2015.). Nije neuobičajeno da se sastav mikrobnog biofilma MP značajno razlikuje od mikroorganizama prisutnih u okolnoj vodi ili biološkom materijalu (Zettler i sur., 2013.; Oberbeckmann, 2014.). Oberbeckmann i sur. (2014.) su otkrili da sastav biofilma na mikroplastici može varirati ovisno o geografskom položaju, godišnjem dobu i vrsti polimera.

Najčešće bakterijske vrste na MP su *Bacteroidetes*, *Cyanobacteria*, *Proteobacteria* te eukarioti *Bacillariophyceae* i *Phaeophyceae* (Oberbeckmann i sur., 2014.). Postojana priroda MP može doprinijeti opstanku i raspršivanju patogena u vodi i tlu, što može dovesti do štetnih učinaka na zdravlje. Unatoč potencijalnim zdravstvenim rizicima, malo se zna o mehanizmu rasta i širenja patogenih mikroorganizama na MP. U vodenom okolišu na MP ili plastici većih dimenzija su često identificirane vrste *Vibrio*. Prisutnost *V. parahaemolyticus* je utvrđena u plastici iz Sjevernog/Baltičkog mora, a u Brazilu su sojevi *V. mimicus*, *V. vulnificus* i *V. cholerae* potvrđeni u biofilmovima pričvršćenim na plastiku izvučenu iz morskog okoliša (Silva i sur., 2019.). Ostale potencijalno patogene vrste *Vibrio spp.* kao što su *V. anguillarum*, *V. harveyi*, *V. pectinica* i *V. xiamenensis* također su potvrđene u zapadnom Sredozemnom moru (Dussud i sur., 2018.). Osim toga, drugi potencijalno ljudski patogeni mikrobi, kao što su *Aeromonas*, *Haemophilus*, *Pseudomonas monteilii*, *Pseudomonas mendocina* (Wu i sur., 2019.) i patogeni sojevi *E. coli* (Cverenkárová i sur., 2021.), također su pronađeni na MP različitih morskih okoliša.

Nadalje, patogeni riba i škampi, poput *Aeromonas salmonicida*, *Tenacibaculum sp.*, *Phormidium sp.* i *Leptolyngbya* identificirani su među mikrobnim zajednicama vezanim za plastiku, a potvrđena je i prisutnost biljnog patogena *Pseudomonas syringae* u biofilmovima MP (Naik i sur., 2019.). Pojavnost patogena karakterizira i otpadne vode, odnosno pri pročišćavanju otpadnih voda, zbog malih dimenzija

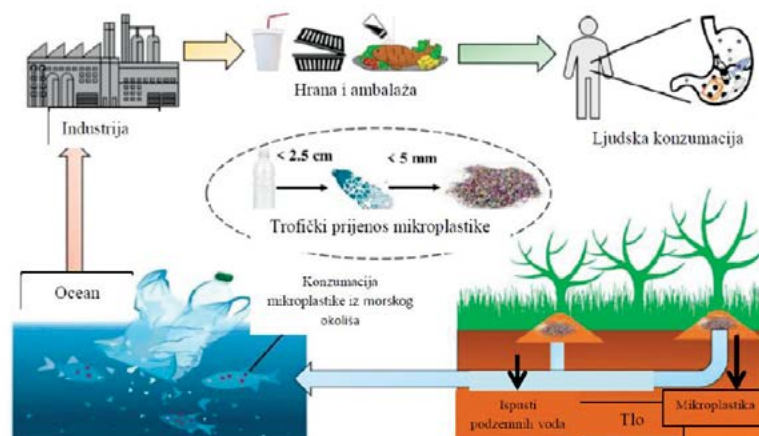
MP, moguć je lagani prolaz MP s adsorbiranim patogenima kroz filtre te ona završava u vodenim ekosustavima, što predstavlja ekološku nišu za patogene mikroorganizme. Mc Cormick i sur. (2014.) su dokazali pojavnost *Campylobacteraceae* koje koloniziraju MP iz otpadnih voda, što ukazuje na njihovu potencijalnu ulogu kao prijenosnika patogena u otpadnim vodama.

MP u prehrambenom lancu

Budući da MP onečišćuje okoliš, dokazana je i njena prisutnost u prehrambenom lancu (slika 1). Na nižim trofičkim razinama u morskom okolišu, prisutnost MP je utvrđena kod mezoplanktonskih zajednica kopepoda, hetognata i ihtoplanktona. Kontaminacija s MP također se događa na višim trofičkim razinama, u beskralježnjaka (poliheta, rakova, bodljikaša i školjkaša), putem izravne potrošnje čestica plastike ili trofičkim prijenosom (Hollman i sur., 2013.). Bioakumulacija MP u probavnom traktu riba ne predstavlja opasnost po ljude, jer se taj dio obično ne konzumira. Međutim bioakumulacija u organizama koji se hrane filtriranjem i konzumiraju cijeli, poput rakova, predstavlja potencijalnu opasnost (Rainieri i Barranco, 2019.). Razina onečišćenja morskih organizama, osobito namijenjenih ljudskoj prehrani prati se putem indikatorskih vrsta iz morskog okoliša. Dagnje i mekušci su dobar pokazatelj jer se konzumiraju cijele i mogu biti njen značajan izvor. Bentonske ribe mogu ukazivati na kontaminaciju sedimenta. Srdele i inćuni se također konzumiraju cijeli, a sadržaj MP u njima služi kao pokazatelj kontaminacije otvorenog mora i potencijalni izvor izloženosti ljudi (Mercogliano i sur., 2020.).

Van Cauwenberghe i Janssen (2014.) odredili su sadržaj MP u mekom tkivu dvaju komercijalno uzgojenih školjkaša (dagnje *Mytilus edulis* i japanske kamenice *Crassostrea gigas*). Sadržaj MP iznosio je $0,36 \pm 0,07$ čestica/g mokre težine u dagnjama i $0,47 \pm 0,16$ čestica/g mokre težine u japanskim kamenicama, dok se unos prosječnog Europljanina procjenjuje na 11 000 čestica godišnje. MP se također može naći u konzerviranim proizvodima, kao što su srdele i papaline, što je i potvrđeno kod velikog broja proizvođača ovih proizvoda (Karami i sur., 2018.). Kontaminacija MP je utvrđena i u drugim kategorijama hrane, poput meda podrijetlom iz Njemačke (Sridhar i sur., 2022.), gdje su identificirana obojena i prozirna vlakna i fragmenti. Broj vlakana kretao se od 40 do 660 čestica/kg meda (prosječno 166 ± 147 čestica/kg). Broj fragmenata bio je manji, od 0–38 čestica/kg meda, prosječne vrijednosti 9 ± 9 čestica/kg meda. Sadržaj MP u uzorcima šećera karakterizirala su vlakna (217 ± 123 čestica/kg šećera) i fragmenti (32 ± 7 čestica/kg šećera). Analizom uzoraka njemačkih piva isti su autori identificirali prisutnost fragmenata ($12 - 109$ čestica/L), s rjeđim udjelima vlakana ($2 - 79$ čestica/L) i granula ($2 - 66$ čestica/L) (Sridhar i sur., 2022.).

Nadalje, u morskoj soli utvrđeno je 550–681 čestica MP/kg, u jezerskoj soli 43–364 čestice MP/kg, a u kamennoj soli 7–204 čestice MP/kg. Čestice su se uglavnom sastojale od vlakana i fragmenata, a više od polovice identificirane MP bilo je veličine $< 200 \mu\text{m}$. Nadalje je zabilježena pojava MP u flaširanoj vodi u Njemačkoj, gdje je utvrđen veći udio čestica MP u nepovratnoj ambalaži (118 ± 88 čestica/L) u odnosu na povratne boce (14 ± 14 česti-



Slika 1. Glavni izvori mikroplastike i njezin transport u prehrambene sustave (prema Sridhar i sur., 2022.)
Figure 1. Major sources of microplastics and its transport into food systems (adapted from Sridhar et al., 2022.)

ca/L). Utvrđeni polimeri bili su povezani sa sastavom ambalaže (Schymanski i sur., 2018.). Mason i sur. (2018.) potvrdili su prosječno 10,4 čestice/L u

259 uzoraka flaširane vode iz cijelog svijeta. Veličina čestica bila je > 100 µm, a najzastupljeniji oblici su bili fragmenti i vlakna.

Tablica 1. Pojavnost i karakterizacija mikroplastike u različitim kategorijama hrane i pića (prema Cverenkárová i sur., 2021.)

Table 1 Occurrence and characteristics of microplastics in different food and drink commodities (adapted from Cverenkárová et al., 2021)

Kategorija hrane i pića / Commodity	Područje proizvodnje / Location	Oblik MP / Type of MP	Sastav polimera / Material of MP	Veličina čestica / Size Range	Sadržaj MP / Level of MP	
Hrana morskog podrijetla / Seafood	komercijalno važne vrste ribe (austral-ska haringa, losos, sardina i dr.) / Commercially important fish species (Australian herring, salmon, sardine etc.)	Australija /Australia	vlakna, fragmenti, film / Fibers, fragments, films	PE, PP, polimerne mješavine akrilat, najlon, boja, PES, poli-vinil / PE, PP, polyblends, akrylate, naylon, paint, PES, poly-vinyl	38 µm->1 mm	0,96 ± 0,08 MP/ribi /MP/fish
	Indijski bijeli škampi / Indian white shrimp (Fenneropenaeus indicus)	Indija / India	vlakna, fragmenti, listovi / Fibers, fragments, sheets	PA, PES, PE, PP	157 – 2785 µm	0,04 ± 0,07 MP/g mt / MP/g ww
	zlatni inćun / Golden anchovy (Coilia dussumieri)	Indija / India	vlakna, filmovi, fragmenti, peleti, trake / Fibers, films, fragments, pellets, beads	PE, PP, PA, PES, PS	< 100 -> 1000 MM	6,78 ± 2,73 MP/ribi /MP/fish
	komercijalne morske alge nori / Commercial seaweed nori	Kina / China	vlakna, fragmenti, filmovi, peleti / Fibers, fragments, films, pellet	PES, rajon, PP, PA, celofan / PES, rayon, PP, PA, cellophane	0,11 – 4,97 mm	1,8 ± 0,7 MP/g
Hrana / Food	piletina i puretina (pakirano u PS posude) / Chicken and turkey (packed in PS trays)	Francuska / France	čestice, vlakna / Particles, fibers	ekstrudirani PS / Extruded PS	300 – 450 µm	4,0 – 18,7 MP/kg
	konzervirana riba (skuša i tuna) / Canned fish (mackerel and tuna)	Iran / Iran	vlakna, fragmenti, filmovi / Fibers, fragments, films	PET, PS, PP, PS-PP, PS-PET, PVC, PE-LD	vlakna 100 – 8000 µm, fragmenti 10 – 1100 µm, filmovi 70 - 1000 µm / Fragments 10 – 1100 µm, Films 70 - 1000 µm	1,28 ± 0,04 MP/g
	nekuhana riža / Uncooked rice	Australija /Australia	NN/NR	PE, PP, PET	NN	67 ± 26 µg/g st
	instant riža / Instant rice					283 ± 50 µg/g st
	kuhinjska sol / Table salt	Afrika / Africa	mikrovlakna, čestice / Microfibers, particles	polivinil-acetat, PP, PE / polyvinyl-acetate, PP, PE	3,3 – 4460 µm	38,42 ± 24,62 MP/kg
	ocat / Vinegar	Iran / Iran	fragmenti, vlakna / Fragments, fibers	PE, PE-HD	1 -500 µm (većinom / mainly)	51,35 ± 20,73 MP/L
mlijeko / Milk	Meksiko / Mexico	vlakna, fragmenti / Fibers, fragments	polietersulfon, polisulfon / Polyethersulfone, polysulfone	0,1 – 5 mm	6,5 ± 2,3 MP/L	

	Kategorija hrane i pića / Commodity	Područje proizvodnje / Location	Oblik MP / Type of MP	Sastav polimera / Material of MP	Veličina čestica / Size Range	Sadržaj MP / Level of MP
Pića / Drinks	bijelo vino / White wine	Italija / Italy	NN/NR	PE	7 – 475 µm	2563 – 5857 pretpostavka MP/L / suspected MP/L
	voda iz slavine / Tap water	Hong Kong / Hong Kong	vlakna, filmovi / Microfibers, particles	NN	50 – 4830 µm	2,181 ± 0,165 MP/L
	ledeni čaj / Ice tea	Meksiko / Mexico	vlakna / Fibers	PA, PEA	< 1 mm	11 ± 5,26 MP/napitku / MP/drink
	bezalkoholna pića / Soft drinks		vlakna / Fibers	akrilonitril-butadien-stiren / Acrylonitrile-butadiene-styrene	0,1 – 3 mm	40 ± 24,53 MP/napitku / MP/drink
	energetski napitci / Energy drinks		vlakna / Fibers	PA, PEA	< 1 mm	14 ± 5,79 MP/napitku / MP/drink
	pivo / Beer		vlakna, fragmenti / Fibers, fragments	PA, PEA, PET	< 1 mm – 2 mm	152 ± 50,97 MP/napitku / MP/drink

NN, nije navedeno/NR, not reported; PE, polietilen/polyethylene; PE-HD, polietilen visoke gustoće/high-density polyethylene; PE-LD, polietilen niske gustoće/low-density polyethylene; PP, polipropilen/polypropylene; PES, poliester/polyester; PA, poliamid/polyamide; PS, polistiren/polystyrene; PET, poli(etilen-tereftalat)/polyethylene-terephthalate; PVC, poli(vinil-klorid)/polyvinylchloride; PEA, poli(esteramid)/polyesteramide; MP, mikroplastika/microplastics; mt, mokra težina/ww, wet weight; st, suha tvar/dw, dry weight

Rezultati istraživanja mesnih proizvoda (piletina) pakiranih u posude od ekstrudiranog (XPS) polistirena (230×140×20 mm) pokazali su da XPS mikroplastika (MP-XPS) kontaminira prehrambene proizvode na razini od 4,0 do 18,7 MP-XPS/kg pakiranog mesa. Analiza pokazuje da identificirana MP vjerojatno dolazi iz XPS plitica. Čestice MP je teško ukloniti ispiranjem te zaostaju u namirnici i tijekom procesiranja (npr. kuhanje). Recentna znanstvena literatura još uvijek nije jasno definirala postoji li potencijalni rizik za ljude povezan s ingestijom MP-XPS. Nakon mnogobrojnih otkrića o kontaminaciji prehrambenog lanca, provedena su nova istraživanja u kojima autori procjenjuju kontaminaciju ostalih kategorija hrane i proizvoda (tablica 1). Istraživanja su i dalje prvenstveno usmjerena na kontaminaciju morskih plodova i ribe, ali interes je usmjeren i na hranu biljnog podrijetla, poput morskih algi i riže. Istovremeno je procijenjena kontaminacija octa, soli i mlijeka. Od pića, područje interesa proširilo se na bijelo vino, energetska pića i bezalkoholna pića.

Osim onečišćenja zraka i vode, kontaminacija tla je još jedan mogući izvor MP u lancu ishrane.

Onečišćenje tla s MP događa se na nekoliko načina. To uključuje odlagališta otpada, obradu tla, korištenje otpadnog mulja za gnojidbu tla, navodnjavanje otpadnim vodama, korištenje komposta i organskih gnojiva, ostatke folija za malčiranje i trošenje automobilskih guma. Prisutnost MP u tlu umanjuje njegovu kvalitetu i ukazuje na daljnju fragmentaciju unutar njega (Guo i sur., 2020.). Upravo zbog primjene folija za malčiranje, mulja i otpadnih voda iz sustava za pročišćavanje otpadnih voda, MP se nakuplja u površinskim slojevima poljoprivredno obrađenog tla.

Istraživanjem Conti i sur. (2020.) uz primjenu inovativne talijanske metodologije sa skeniranjem elektronskom mikroskopijom (eng. *Scanning Electron Microscopy*, SEM) i energetske disperzivnu rendgensku spektrometriju (eng. *Energy Dispersive X-ray Spectrometer*, EDS), u uzorcima voća i povrća utvrđena je viša srednja razina (IQR) od 223.000 MP čestica/g uzorka (52.600 – 307.750 MP čestica/g uzorka) odnosno 97.800 MP čestica/g uzorka (72.175 – 130.500 MP čestica/g uzorka). Jabuke su među voćem bile najviše kontaminirane, dok je mrkva bila najkontaminiranije povrće. Suprotno

tome, niža srednja razina (IQR) od 52.050 MP čestica/g uzorka uočena je u uzorcima salate (26.375–75.425 MP čestica/g uzorka). Razine MP u uzorcima povrća i voća široko su varirale, dok je veličina čestica u uzorcima povrća i voća bila ujednačena (najmanja veličina čestica MP pronađena je u uzorcima mrkve - 1,51 μm , a najveća u salati - 2,52 μm). Autori su pretpostavili da mehanizam translokacije čestica MP može biti sličan mehanizmu prijenosa ugljikovih nanočestica, odnosno da je moguć put translokacije čestica MP iz okoliša u biljke. Temeljem dobivenih rezultata neophodno je provesti toksikološke i epidemiološke studije kako bi se ispitali mogući učinci MP podrijetlom iz voća i povrća na ljudsko zdravlje.

Oslobađanje MP-a iz plastičnih ambalažnih materijala i njihova potrošnja

Obzirom na različite ambalažne materijale koji se primjenjuju u cilju lakšeg transporta, skladištenja i opstojnijeg roka trajanja, potrošači su učestalo izloženi konzumaciji vode, hrane i pića pohranjenim u plastičnim posudama, limenkama, šalicama, omotima, bočicama za vodu, hranilicama za dojenčad, kao i papirnatim čašama. Osim toga, aluminijske limenke i staklene boce s unutrašnje strane su presvučene plastičnim materijalima, a predstavljaju vrlo raspostranjenu ambalažu za pohranu hrane (Fadare i Okoffo, 2020.). Plastična ambalaža otpušta MP/NP u hranu, a kod nekih vrsta ambalaže, kao što su plastične čaše, utvrđeno je da ovi spojevi mogu imati toksična svojstva (Belluz i Viswanathan, 2018.). U gospodarstvima u razvoju, široka upotreba plastičnih spremnika za pakiranje i dostavu hrane, kao i jednokratnih plastičnih čaša za piće, iz dana u dan raste i postaje nenamjeran izvor ljudske izloženosti sekundarnoj MP.

Budući da je spremnik ili ambalaža za hranu u izravnom kontaktu s hranom, sigurnost hrane iz plastičnih pakiranja postaje upitna (Fadare i Okoffo, 2020.). Temeljem uporabe ambalaže za gotova jela i hranu, Du i sur. (2020.) procjenjuju da se godišnje konzumira 2.977 čestica MP po osobi, a za ljude koji konzumiraju hranu iz plastične ambalaže 4-7 puta tjedno, temeljem otpuštanja iz ambalaže, moguća izloženost MP je u rasponu od 12-203 čestice MP tjedno. Ukoliko se proizvodnja plastične ambalaže promatra na godišnjoj razini iz nje se potencijalno oslobađa oko 188 tona MP u hranu odnosno u okoliš (Fadare i Okoffo, 2020.). Prethodno je u tekstu za razine MP u mesu opisana kontaminacija

MP preko plastičnih plitica od ekstrudiranog polistirena kao još jedan izvor kontaminacije hrane putem ambalaže.

Značajan doprinos izloženosti MP predstavlja i voda za piće kako je navedeno u prethodnom poglavlju. Mason i sur. (2018.) istražili su njeno oslobađanje iz flaširane vode testiranjem oko 259 boca od 11 proizvođača s različitih lokacija u devet zemalja. Istraživanjem je utvrđeno kako je oko 93 % boca punjenih vodom za piće kontaminirano MP. Nadalje, njena koncentracija bila je dvostruko veća od one određene u vodi iz slavine (Mason i sur., 2018.). Oštećenja i starenje plastičnih boca značajno povećavaju koncentraciju MP u vodi (Schymanski i sur., 2018.). Čak i mehanička naprezanja na bocama zbog otvaranja i zatvaranja čepova također oslobađaju milijune čestica u vodu (Winkler i sur., 2019.). Posude za piće, čepovi i staklene boce također su izvori MP jer su obloženi polietilenskim folijama (Schymanski i sur., 2018.). Procijenjeno je da dnevna konzumacija MP kod odraslih iznosi oko 1.531.524 MP/kg tjelesne težine/dan, dok djeca konzumiraju preko 3.350.208 MP/kg tjelesne težine/dan pijući flaširanu vodu (Winkler i sur., 2019.). Plastične vrećice za čaj oslobađaju MP pri povišenoj temperaturi, što su u istraživanju ispitivanja učinka visoke temperature na njeno oslobađanje potvrdili Hernandez i sur. (2019.). Utvrđeno je kako se jedna vrećica čaja pri temperaturi kuhanja degradira i oslobađa oko 11,6 milijardi čestica MP i 3,1 milijardi čestica NP u jednoj šalici čajnog napitka.

Papirnate čaše za jednokratnu upotrebu predstavljaju najčešće korištene materijale za pakiranje hrane koji se koriste za skladištenje i konzumaciju raznih pića. Kako se te šalice koriste za konzumaciju tekućih napitaka, posebno toplih napitaka poput kave i čaja, njihove su unutrašnjosti prekrivene hidrofobnim plastičnim folijama. Dakle, jedna papirnata čaša sadrži oko 5-10 % (po težini) plastične folije, a plastika koja se koristi za pokrivanje unutrašnjosti je uglavnom PE (osobito PE-HD), a ponekad i kopolimerne alternative (Constant, 2016.). Ranjan i sur. (2021.) istraživali su otpuštanje MP iz papirnatih čaša u vruću vodu i napitke (tijekom 15 minuta) te su utvrdili da plastične folije tijekom tog vremena počinju propadati uz oslobađanje mikro čestica.

Plastične bočice za hranjenje dojenčadi uglavnom izrađene od PP koriste se za pripremu adaptiranog mlijeka protresanjem s vodom temperature oko 70–100 °C (WHO/FAO, 2007),

kao i za skladištenje mlijeka za dojenčad. Mehaničko protresanje boca na visokim temperaturama ubrzava razgradnju i tako oslobađa PP sa MP u adaptirano mlijeko. Li i sur. (2020.) istraživali su izloženost MP putem bočica za hranjenje dojenčadi i pokazali da bočice mogu osloboditi oko 16.200.000 PP sa čestica MP/L pripremljene formule mlijeka. Ispitali su 48 regija i procijenili kako je 12-mjesečna dojenčad izložena prosječnoj dnevnoj potrošnji oko 1.580.000 PP sa čestica MP/stanovnik/dan.

Plastični ambalažni materijali i spremnici obično se sastoje od termoplastičnih smola, točnije PET, PE-HD, LDPE, PP, PVC, PS (Hahladakis i sur., 2018.). Plastične boce za vodu se obično sastoje od PET-a, a čepovi od PP. Glavna vrsta MP koja se nalazi u vodi u plastičnim bocama je polietilen tereftalat i poliester (PEST), a slijede PE, PP i poliamid (nylon-6, PA). Štoviše, pakirana voda se također prodaje u staklenim bocama i posudama za piće, a ti materijali za pakiranje oslobađaju MP koja se sastoji od PE i PP zajedno s PET-om (Schymanski i sur., 2018.). Plastični spremnici za hranu koji se koriste kao ambalaža za hranu ili spremnici za iznošenje hrane ili pladnjevi i plastična folija uglavnom se sastoje od plastike koja se sastoji od PP, PE i PS, a uključujući ove polimere. Plastični spremnici za hranu također oslobađaju MP kao što su PE, rajon, akril i najlon (Du i sur., 2020.). MP koja se iz plastičnih ambalažnih spremnika ispušta u hranu ili piće u poveznici je s vrstom izvornog spremnika i njegovih karakterističnih svojstava, kao što su vrste polimera i boja, a u pitanju je uglavnom prozirna ili bijela boja (Du i sur., 2020.; Kedzierski i sur., 2020.). Veličine ove sekundarne MP variraju kao što je prikazano u tablici 1, a njen oblik može biti kubičan ili sferičan te kao vlakno ili nepravilan fragment (Hernandez i sur., 2019.; Du i sur., 2020.; Fadare i Okoffo, 2020.).

Utjecaj MP na ljudsko zdravlje

MP ulazi u prehrambeni lanac preko kontaminirane hrane i može imati negativan utjecaj na ljudsko zdravlje. Udisanje MP je još jedan put izloženosti (Karbalaee i sur., 2018.), uz kontakt putem kože (Campanale i sur., 2020.). Njen učinak na ljudski gastrointestinalni trakt nakon unosa nije u cijelosti razjašnjen. Pretpostavlja se da se nakon unosa najveći dio MP i NP izlučuje fecesom (>90%). Apsorpcija crijevnim epitelom vjerojatno se događa samo kod čestica veličine do 150 μm, budući da je MP ove veličine bila detektirana u limfi u studijama na sisavcima. Izloženost manjoj MP je sustav-

na, dok veća može proizvesti samo lokalne učinke na imunološki sustav (npr. upala crijeva). MP veličine <1,5 μm može prodrijeti duboko u organe (EFSA, 2016.).

NP zbog veličine predstavlja veći rizik jer su čestice dovoljno male i hidrofobne da im je omogućen prolazak kroz placentu i krvno-moždanu barijeru, kao i transport preko M-stanica u Peyerovim pločama u tankom crijevu do krvi i limfnog sustava, odakle mogu kontaminirati jetru i žučni mjehur (Smith i sur., 2018.). U studiji iz 2021. prvi put je dokazana prisutnost MP u ljudskoj posteljici. Radilo se o 12 fragmenata veličine 5 do 10 μm koji su identificirani u četiri posteljice, a način njihovog prodiranja u placentu još uvijek nije poznat, kao ni mogući učinci na trudnoću i fetus (Ragusa i sur., 2021.). Schwabl i sur. (2019.) analizirali su ljudski feces osam odraslih osoba u kojem su pronašli čestice MP veličine od 50 do 500 μm. Najzastupljeniji oblici su bili fragmenti i vlakna, a među materijalima su prevladavali PP i PET. U studiji provedenoj na uzorcima stolice mladih Kineza sveukupno MP je određena u 23 od 24 uzorka, s veličinom od 20 do 800 μm te PP, PET i PS kao najzastupljenijim polimerima (Zhang i sur., 2021.).

Dugoročni učinci MP na ljudsko zdravlje relativno su nepoznati (Campanale i sur., 2020.; Prata i sur., 2020.). Njihovi štetni učinci mogu uključivati indukciju oksidativnog stresa stvaranjem reaktivnih kisikovih vrsta tijekom upalne reakcije, što može dovesti do citotoksičnosti. Unos MP u organizam može poremetiti energetska ravnotežu, metabolizam i imunološki sustav (Prata i sur., 2020.). Nadalje, rizik povezan s njenim konzumiranjem putem hrane predstavlja i povezanost mikroba s površinom MP, budući da je na njenoj površini dokazana prisutnost različitih patogenih vrsta, a konzumacija npr. morskih plodova povećava izloženost ljudi tim mikroorganizmima. Štetne kemikalije poput bisfenola A, PCB-a, PAH-ova, kloriranih pesticida, BFR-a i antibiotika mogu se otpustiti iz MP u hranu, što potom može imati kancerogene i mutagene učinke uz moguće endokrino modulirajuće djelovanje (Campanale i sur., 2020.).

Međutim, prema nekim studijama, postojani organski zagađivači konzumirani s MP predstavljaju zanemariv izvor kontaminacije za ljude. U slučaju bisfenola A, procijenjena dnevna doza putem normalne prehrane veća je 40 milijuna puta u odnosu na dozu unesenu putem kontaminirane morske hrane (Cverenkárová i sur., 2021.). Nadalje,

doprinos izloženosti PCB-ima i PAH-ovima iz kontaminirane MP u dagnjama bio bi <0,006 % odnosno <0,004 % (EFSA, 2016.). Tijekom globalne pandemije COVID-19, nošenje zaštitnih maski bila je jedna od prvih mjera za sprječavanje širenja bolesti. Međutim, jednokratne maske, koje se često sastoje od sintetičkih polimera, brzo su postale otpad koji zagađuje okoliš i oslobađa vlakna MP (Fadare i Okoffo, 2020.). Budući da istraživanja pokazuju da virus SARS-CoV-2 može preživjeti na površinama do pet dana, znanstvenici su počeli predviđati širenje COVID-19 putem MP koja se oslobađa iz korištenih maski. Trenutno ova mogućnost prenošenja infekcije nije potvrđena niti opovrgnuta (Cverenkárová i sur., 2021.).

Zaključak

Uporaba plastičnih spremnika i ostale plastične ambalaže te metalnih i papirnatih kutija obloženih plastikom pri izravnom kontaktu s hranom rezultira sa otpuštanjem plastičnih čestica u proizvod. Glavni čimbenici koji utječu na oslobađanje

MP iz stijenki, poklopaca i brtvenih folija plastičnog ambalažnog materijala su starost materijala za pakiranje i visoka temperatura što uzrokuje oštećenje tijela pakiranja, pri čemu dolazi do relativno lakog otpuštanja veće količine MP u namirnicu. Pregled dosadašnjih rezultata iz ovog područja ukazuje na nužnost intenzivnijih istraživanja o utjecaju MP na prehrambeni lanac, a posebno po pitanju utjecaja na zdravlje ljudi. Prikladan alat za ublažavanje potencijalnih negativnih utjecaja ovog zagađivača predstavlja analiza rizika i uvođenje prehrambenih preporuka za visokorizične namirnice s većim udjelom MP, a najveći problem kod utvrđivanja razine onečišćenja hrane čini nedostatak jedinstvene metodologije. Uvažavajući znanstvene dokaze o štetnom djelovanju MP na zdravlje i okoliš, potrebno je u što većoj mjeri koristiti alternativne ambalažne materijale, poput prirodnih polisaharida i lipida, te bioplastičnog materijala na bazi bjelančevina, koji svojim oslobađanjem u hranu neće utjecati na njenu kvalitetu i zdravlje potrošača.

Literatura

- [1] Adjei, I. M., B. Sharma, V. Labhasetwar (2014): Nanoparticles: cellular uptake and cytotoxicity. In: Capco, D., Chen, Y. (Eds.), *Nanomaterial*. Adv Exp Med Biol 811, 73-91. doi: 10.1007/978-94-017-8739-0_5
- [2] Barnes, D. K. A., F. Galgani, R. C. Thompson, M. Barlaz (2009): Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos Trans R Soc B* 364 (1526), 1985–1998. doi: 10.1098/rstb.2008.0205
- [3] Belluz, J., R. Viswanathan (2018): The problem with all the plastic that's leaching into your food. <https://www.vox.com/science-and-health/2018/9/11/17614540/plastic-food-containers-contamination-health-risks>.
- [4] Bogdanović, T., J. Pleadin, S. Petričević, M. Brkljača, I. Listeš, E. Listeš (2022): Mikroplastika – potencijalni rizik za sigurnost hrane morskog podrijetla. *Vet Stn* 53 (3), 313-328. doi: 10.46419/vs.53.3.11
- [5] Bott, J., A. Störmer, R. Franz (2014): A model study into the migration potential of nanoparticles from plastics nanocomposites for food contact. *Food Packag Shelf Life* 2 (2), 73–80. doi: 10.1016/j.fpsl.2014.08.001
- [6] Campanale, C., C. Massarelli, I. Savino, V. Locaputo, V. F. Uricchio (2020): A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *Int J Environ Res Public Health* 17, 1212. doi: 10.3390/ijerph17041212
- [7] Constant, D. R. (2016): Paper cup comprising a polyethylene copolymer coating and methods of making the same (Patent No. 14/909,950), United States Patent, SAD.
- [8] Conti, G. O., M. Ferrante, M. Banni, C. Favara, I. Nicolosi, A. Cristaldi, M. Fiore, P. Zuccarello (2020): Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environ Res* 187, 109677. doi: 10.1016/j.envres.2020.109677
- [9] Cverenkárová, K., M. Valachovičová, T. Mackulák, L. Žemlička, L. Bírošová (2021): Microplastics in the Food Chain. *Life* 11, 1349. doi: 10.3390/life11121349
- [10] Danish Environmental Protection Agency, DEPA (2015): *Microplastics occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. ISBN: 9788793352803.
- [11] Du, F., H. Cai, Q. Zhang, Q. Chen, H. Shi (2020): Microplastics in take-out food containers. *J Hazard Mater* 399, 122969. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122969
- [12] Dussud, C., A. L. Meistertzheim, P. Conan, M. Pujo-Pay, M. George, P. Fabre, J. Coudane, P. Higgs, A. Elineau, M. L. Pedrotti, G. Gorsky (2018): Evidence of niche partitioning among bacteria living on plastics, organic particles and surrounding seawaters. *Environ Pollut* 236, 807–816. doi: 10.1016/j.envpol.2017.12.027
- [13] Endo, S., R. Takizawa, K. Okuda, H. Takada, K. Chiba, H. Kanehiro, H. Ogi, R. Yamashita, T. Date (2005): Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: variability among individual particles and regional differences. *Mar Pollut Bull* 50 (10), 1103–1114. doi: 10.1016/j.marpolbul.2005.04.030

- [14] European Food Safety Authority, EFSA (2016): Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2016): Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *The EFSA J* 14 (6), 4501. doi: 10.2903/j.efsa.2016.4501
- [15] Fadare, O. O., E. D. Okoffo (2020): Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Sci Total Environ* 737, 140279. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140279
- [16] Galloway, T. S., M. Cole, C. Lewis (2017): Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat Ecol Evol* 1 (5), 1–8. doi: 10.1038/s41559-017-0116
- [17] Guoin, T., N. Roche, R. Lohmann, G. A. Hodges (2011): A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. *Environ Sci Technol* 45 (4), 1466–1472. doi: 10.1021/es1032025
- [18] Guo, J.-J., X.-P. Huang, L. Xiang, Y.-Z. Wang, Y.-W. Li, H. Li, Q.-Y. Cai, C.-H. Mo, M.-H. Wong (2020): Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environ Int* 137, 105263. doi: 10.1016/j.envint.2019.105263
- [19] Hahladakis, J. N., C. A. Velis, R. Weber, E. Iacovidou, P. Purnell (2018): An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *J Hazard Mater* 344, 179–199. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.014
- [20] Hale, R. C., M. E. Seeley, M. J. La Guardia, L. Mai, E. Y. Zeng (2020): A global perspective on microplastics. *J Geophys Res: Oceans* 125 (1), e2018JC014719. doi:10.1029/2018JC014719
- [21] Hernandez, L. M., E. G. Xu, H. C. E. Larsson, R. Tahara, V. B. Maisuria, N. Tufenkji (2019): Plastic teabags release billions of micro-particles and nanoparticles into tea. *Environ Sci Technol* 53 (21), 12300–12310. doi: 10.1021/acs.est.9b02540
- [22] Heskett, M., H. Takada, R. Yamashita, M. Yuyama, M. Ito, Y. B. Geok, Y. Ogata, C. Kwan, A. Heckhausen, H. Taylor, T. Powell (2012): Measurement of persistent organic pollutants (POPs) in plastic resin pellets from remote islands: toward establishment of background concentrations for International Pellet. *Watch Mar Pollut Bull* 64 (2), 445–448. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.11.004
- [23] Hollman, P. C. H., H. Bouwmeester, R. J. B. Peters (2013): Microplastics in aquatic food chain: sources, measurement, occurrence and potential health risks. RIKILT Wageningen University, Research Centre, Wageningen, 2013. Rikilt Report 2013.003.
- [24] Karami, A., A. Golieskardi, C.K. Choo, V. Larat, S. Karbalaee, B. Salamatinia (2018): Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats. *Sci Total Environ* 612, 1380–1386. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.005
- [25] Karbalaee, S., P. Hanachi, T. R. Walker, M. Cole (2018): Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environ Sci Pollut Res* 25, 36046–36063. doi:10.1007/s11356-018-3508-7
- [26] Kedzierski, M., B. Lechat, O. Sire, G. Le Maguer, Le T. Véronique, S. Bruzard (2020): Microplastic contamination of packaged meat: occurrence and associated risks. *Food Packag Shelf Life* 24, 100489. doi:10.1016/j.fpsl.2020.100489
- [27] Lebreton, L., A. Andrady (2019): Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun* 5, 1–11. doi:10.1057/s41599-018-0212-7
- [28] Li, D., Y. Shi, L. Yang, L. Xiao, D. K. Kehoe, Y. K. Gun'ko, J. J. Boland, J. J. Wang (2020): Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nat Food* 1 (11), 746–754. doi:10.1038/s43016-020-00171-y
- [29] Li, W. C., H. F. Tse, L. Fok (2016): Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Sci Total Environ*. 566–567, 333–349. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.084
- [30] Lu, L., T. Luo, Y. Zhao, C. Cai, Z. Fu, Y. Jin (2019): Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: a consideration on environmental animal and human health. *Sci Total Environ* 667, 94–100. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.380
- [31] Lusher, A. L., M. McHugh, R. C. Thompson (2013): Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar Pollut Bull* 67, 94–99. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028
- [32] Mason, S. A., V. G. Welch, J. Neratko (2018): Synthetic polymer contamination in bottled water. *Front Chem* 6, 407. doi: 10.3389/fchem.2018.00407
- [33] Mc Cormick, A., T. J. Hoellein, S. A. Mason, J. Schlupe, J. J. Kelly (2014): Microplastic is an abundant and distinct microbial habitat in an urban river. *Environ Sci Technol* 48, 11863–11871. doi:10.1021/es503610r
- [34] Mercogliano, R., C. G. Avio, F. Regoli, A. Anastasio, G. Colavita, S. Santonicola (2020): Occurrence of microplastics in commercial seafood under the perspective of the human food chain. A Review. *J Agric Food Chem* 68, 5296–5301. doi: 10.1021/acs.jafc.0c01209
- [35] Naik, R. K., M. M. Naik, P. M. D'Costa, F. Shaikh (2019): Microplastics in ballast water as an emerging source and vector for harmful chemicals, antibiotics, metals, bacterial pathogens and HAB species: a potential risk to the marine environment and human health. *Mar Pollut Bull* 149, 110525. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.110525
- [36] Nizzetto, L., G. Bussin, M. N. Futter, D. Butterfield, P. G. Whitehead (2016): A theoretical assessment of microplastic transport in river catchments and their retention by soils and river sediments. *Environ Sci: Process Impacts* 18 (8), 1050–1059. doi: 10.1039/c6em00206d
- [37] Oberbeckmann, S., M. G. J. Löder, M. Labrenz (2015): Marine microplastic-associated biofilms - A review. *Environ Chem* 2015, 12, 551. doi: 10.1071/EN15069
- [38] Oberbeckmann, S., M. G. Loeder, G. Gerdt, A. M. Osborn, S. Oberbeckmann, M. G. Loeder, G. Gerdt, A. M. Osborn (2014): Spatial and seasonal variation in diversity and structure of microbial biofilms on marine plastics in Northern European waters. *FEMS Microbiol Ecol* 90 (2), 478–492. doi: 10.1111/1574-6941.12409
- [39] Prata, J. C., J. P. da Costa, I. Lopes, A. C. Duarte, T. Rocha-Santos (2020): Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Sci Total Environ* 2020, 702, 134455. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134455
- [40] Ragusa, A., A. Svelato, C. Santacroce, P. Catalano, V. Notarstefano, O. Carnevali, F. Papa, M. C. A. Rongioletti, F. Baiocco, S. Draghi, E. D'Amore, D. Rinaldo, M. Matta, E. Giorgini (2021): Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int* 146, 106274. doi:10.1016/j.envint.2020.106274
- [41] Rainieri, S., A. Barranco (2019): Microplastics, a food safety issue? *Trends Food Sci Technol* 84, 55–57. doi:10.1016/j.tifs.2018.12.009
- [42] Ranjan, V. P., A. Joseph, S. Goel (2021): Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water. *J Hazard Mater* 404, 124118. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124118
- [43] Schwabl, P., S. Köppel, P. Königshofer, T. Bucsics, M. Trauner, T. Reiberger, B. Liebmann (2019): Detection of various microplastics in human stool: A prospective case series. *Ann Intern Med* 19, 171, 453–457. doi: 10.7326/M19-0618
- [44] Schymanski, D., C. Goldbeck, H.-U. Humpf, P. Fürst (2018): Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Res* 129, 154–162. doi: 10.1016/j.watres.2017.11.011
- [45] Silva, M. M., G. C. Maldonado, R. O. Castro, J. de Sá Felizardo, R.P. Cardoso, R.M.D. Anjos, F.V. Araújo (2019): Dispersal of potentially pathogenic bacteria by plastic debris in Guanabara Bay, RJ, Brazil. *Mar Pollut Bull* 141, 561–568. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.02.064

- [46] Smith, M., D. C. Love, C. M. Rochman, R. A. Neff (2018): Microplastics in seafood and the implications for human health. *Curr Environ Health Rep* 5, 375–386. doi: 10.1007/s40572-018-0206-z
- [47] Sridhar, A., D. Kannan, A. Kapoor, S. Prabhakar (2022): Extraction and detection methods of microplastics in food and marine systems: A critical review Sivaraman. *Chemosphere*, 286, 131653. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131653
- [48] Van Cauwenberghe, L., A. Vanreusel, J. Mees, C. R. Janssen (2013): Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environ Pollut* 182, 495–499. doi: 10.1016/j.envpol.2013.08.013
- [49] Van Cauwenberghe, L., C. R. Janssen (2014): Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environ Pollut* 193, 65–70. doi: 10.1016/j.envpol.2014.06.010
- [50] Waddell, E. N., N. Lascelles, J. L. Conkle (2020): Microplastic contamination in Corpus Christi Bay blue crabs, *Callinectes sapidus*. *Limn Oceanogr Lett* 5, 92–102. doi: 10.1002/lo2.10142
- [51] Wagner, S., T. Hüffer, P. Klöckner, M. Wehrhahn, T. Hofmann, T. Reemtsma (2018): Tire wear particles in the aquatic environment - a review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Res* 139, 83–100. doi: 10.1016/j.watres.2018.03.051
- [52] Wang, J., J. Peng, Z. Tan, Y. Gao, Z. Zhan, Q. Chen, L. Cai (2017): Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. *Chemosphere* 171, 248–258. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.074
- [53] Winkler, A., N. Santo, M. A. Ortenzi, E. Bolzoni, R. Bacchetta, P. Tremolada (2019): Does mechanical stress cause microplastic release from plastic water bottles? *Water Res.* 166, 115082. doi: 10.1016/j.watres.2019.115082
- [54] World Health Organisation/Food and Agriculture Organization, WHO/FAO (2007): How to prepare formula for bottle-feeding at home. https://www.who.int/foodsafety/publications/micro/PIF_Bottle_en.pdf.
- [55] Wu, P., J. Huang, Y. Zheng, Y. Yang, Y. Zhang, F. He, H. Chen, G. Quan, J. Yan, T. Li., B. Gao (2019): Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicol Environ Saf* 184, 109612. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109612
- [56] Yao, P., B. Zhou, Y. H. Lu, Y. Yin, Y. Q. Zong, M.-T. Chen, Z. O' Donnell (2019): A review of microplastics in sediments: Spatial and temporal occurrences, biological effects, and analytic methods. *Quat Int* 519, 274–281. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.028
- [57] Zettler, E. R., T. J. Mincer, L. A. Amaral-Zettler (2013): Life in the “plastisphere”: microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol* 47, 7137–7146. doi: 10.1021/es401288x
- [58] Zhang, N., Y. B Li, H. R. He, J. F. Zhang, G. S. Ma (2021): You are what you eat: Microplastics in the feces of young men living in Beijing. *Sci Total Environ* 767, 144345. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144345

Dostavljeno: 25.01.2022.

Prihvaćeno: 1.02.2022.

The incidence of microplastics in the food chain and its impact on human health

Abstract

The accumulation of microplastics (MP) in the environment and its contamination of food products has become a global threat to living organisms, environment and human health. Currently, the main concerns related to MP in the environment include its role as a source and final depot for toxic chemicals and pathogenic microorganisms in addition to bioaccumulation and potential entry into the food chain. Most of the plastics is used for the production of packaging materials, including those used in the food industry, and people most often store, transport, prepare and consume food in plastic containers. This paper provides an overview of the knowledge about the occurrence of MP in the human food chain and emphasizes its role as a vector of various contaminants and microorganisms. Furthermore, one of the objectives of the paper is to point out the possible effects of the release of MP from plastic packaging materials in food and beverages and the potential consequences for human health. The results presented suggest that the effect of MP on the food chain, and especially its impact on human health, need to be addressed much more intensively. A good tool to mitigate the potential negative impacts of MP in food would be risk analysis and the subsequent introduction of nutritional recommendations for high-risk food with its higher content and the use of alternative packaging materials in food and beverage packaging.

Key words: microplastics, food chain, chemical contaminants, microorganisms, health impact

Das Vorkommen von Mikroplastik in der Nahrungskette und seine Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Zusammenfassung

Die Anhäufung von Mikroplastik (MP) in der Umwelt und die Verunreinigung von Lebensmitteln ist zu einer globalen Bedrohung für lebende Organismen, die Umwelt und die menschliche Gesundheit geworden. Zu den Hauptproblemen im Zusammenhang mit Mikroplastik in der Umwelt gehören derzeit seine Rolle als Quelle und Depot für toxische Chemikalien und pathogene Mikroorganismen sowie seine Bioakkumulation und sein potenzieller Eintritt in die Nahrungskette. Der größte Teil der Kunststoffe wird für die Herstellung von Verpackungsmaterialien verwendet, auch in der Lebensmittelindustrie, und die meisten Menschen lagern, transportieren, bereiten und verzehren Lebensmittel in Kunststoffbehältern. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Erkenntnisse in Bezug auf das Vorkommen von Mikroplastik in der menschlichen Nahrungskette und hebt seine Rolle als Vektor für verschiedene Schadstoffe und Mikroorganismen hervor. Darüber hinaus besteht eines der Ziele des Artikels darin, die möglichen Auswirkungen der Freisetzung von Mikroplastik aus Kunststoffverpackungsmaterialien in Lebensmitteln und Getränken und die potenziellen Folgen für die menschliche Gesundheit aufzuzeigen. Die vorgestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Auswirkungen von Mikroplastik auf die Nahrungskette und insbesondere die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit viel intensiver untersucht werden müssen. Ein gutes Instrument zur Abschwächung der potenziellen negativen Auswirkungen von Mikroplastik in Lebensmitteln wäre eine Risikoanalyse und die anschließende Einführung von Ernährungsempfehlungen für Lebensmittel mit hohem Risiko, die einen höheren Gehalt aufweisen, sowie die Verwendung alternativer Verpackungsmaterialien bei der Verpackung von Lebensmitteln und Getränken.

Schlüsselwörter: Mikroplastik, Lebensmittelkette, chemische Verunreinigungen, Mikroorganismen, Toxizität

La incidencia de los microplásticos en la cadena alimentaria y su impacto en la salud humana

Resumen

La acumulación de microplásticos (MP) en el medio ambiente y la contaminación de productos alimenticios con este contaminante se ha convertido en una amenaza global tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Actualmente, las preocupaciones sobre la presencia del MP en el medio ambiente incluyen el papel del MP como el fuente y el depósito final de sustancias químicas tóxicas y de los microorganismos patógenos, con bioacumulación e intrusión potencial en la cadena alimentaria. La mayor parte del consumo de plásticos está relacionado con la producción de materiales de embalaje, incluidos los utilizados en la industria alimentaria y la mayoría de las personas almacenan, transportan, preparan y consumen alimentos en recipientes de plástico. Este trabajo proporciona una descripción general de los hallazgos sobre la ocurrencia del MP en la cadena alimentaria y destaca su papel como vector de diversos contaminantes y microorganismos. Además, uno de los objetivos del artículo es señalar posibles efectos de la liberación de los MP de los materiales plásticos de embalaje en alimentos y bebidas y las posibles consecuencias negativas para la salud humana. Los resultados presentados sugieren que las investigaciones sobre los efectos de los MP en la cadena alimentaria, y especialmente su impacto en la salud humana, deben intensificarse y profundizar aún más. Las pautas para mitigar sus posibles impactos negativos incluyen el análisis de riesgos y la introducción de

recomendaciones dietéticas para alimentos de alto riesgo con una mayor proporción de este importante contaminante alimentario, y el uso de materiales de envasado alternativos en los envases de alimentos y bebidas.

Palabras claves: microplásticos, cadena alimentaria, contaminantes químicos, microorganismos, toxicidad

Incidenza della microplastica nella catena alimentare e suo impatto sulla salute umana

Riassunto

L'accumulo della microplastica (MP) nell'ambiente e la contaminazione dei prodotti alimentari con quest'agente inquinante sono diventati un pericolo globale sia per l'ambiente, sia per la salute. Attualmente, la preoccupazione legata alla presenza della MP nell'ambiente comprende anche il ruolo della MP come fonte e deposito finale degli agenti chimici tossici e dei microrganismi patogeni, oltre al bioaccumulo e al potenziale ingresso nella catena alimentare. La maggior parte del consumo di plastica attiene alla produzione di materiali d'imballaggio, compresi quelli che si utilizzano nell'industria alimentare, mentre la gente ha l'abitudine di conservare, trasportare, preparare e consumare il cibo in recipienti di plastica. Questo studio dà un quadro dell'incidenza della MP nella catena alimentare e sottolinea il suo ruolo come vettore di varie sostanze e microrganismi inquinanti. Uno degli obiettivi dello studio consiste anche nel denunciare il possibile impatto della liberazione di MP proveniente dagli imballaggi in plastica nel cibo e nelle bevande e le potenziali conseguenze negative per la salute umana. Da una panoramica degli studi scientifici recentemente condotti discende la necessità che le ricerche sull'impatto della MP sulla catena alimentare e, in particolare, sulla salute umana vadano intensificate e approfondite. Le indicazioni per mitigare il suo potenziale impatto negativo comprendono l'analisi del rischio e l'introduzione di raccomandazioni alimentari per gli alimenti ad alto rischio con maggior percentuale di questo pericoloso agente inquinante alimentare e l'applicazione di materiali d'imballaggio alternativi nel confezionamento del cibo e delle bevande.

Parole chiave: microplastica, catena alimentare, agenti inquinanti d'origine chimica, microrganismi, tossicità



**26-29 April 2022
Cologne, GERMANY**