

# Utjecaj mikroplastike na okoliš i ljudsko zdravlje

---

**Kapetanović, Leonarda**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:636605>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**PRIRODOSLOVNO MATEMATIČKI FAKULTET**  
**BIOLOŠKI ODSJEK**

**UTJECAJ MIKROPLASTIKE NA OKOLIŠ I LJUDSKO ZDRAVLJE**

**THE IMPACT OF MICROPLASTICS ON THE ENVIRONMENT AND  
HUMAN HEALTH**

**SEMINARSKI RAD**

Leonarda Kapetanović

Preddiplomski studij molekularne biologije  
(Undergraduate Study of Molecular Biology)

Mentor: doc.dr.sc. Petra Peharec Štefanić

Zagreb 2020.

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD.....   | 1  |
| 2. MIKROPLASTIKA.....  | 2  |
| 2.1. KARAKTERIZACIJA: DIMENZIJE, OBLIK I KEMIJSKA KOMPOZICIJA..... | 2  |
| 2.2. MP U OKOLIŠU.....   | 3  |
| 2.2.1. OCEANI.....   | 3  |
| 2.2.2. SLATKE VODE.....  | 4  |
| 2.2.3. SEDIMENTI I TLO.....  | 4  |
| 3. LJUDSKA IZLOŽENOST.....   | 6  |
| 3.1. PREHRANA.....   | 6  |
| 3.1.1. MORSKA HRANA.....   | 6  |
| 3.1.2. OSTALA HRANA.....   | 8  |
| 3.2. DISANJE.....  | 9  |
| 4. UTJECAJ NA ČOVJEKOV ORGANIZAM.....                              | 10 |
| 4.1. UNOS I ELIMINACIJA.....                                       | 10 |
| 4.1.1. FAKTORI UNOSA.....  | 10 |
| 4.1.2. UNOS DISANJEM I PREHRANOM.....                              | 11 |
| 4.2. POTENCIJALNI TOKSIČNI UČINAK.....                             | 12 |
| 4.2.1. FIZIČKI UČINAK.....   | 12 |
| 4.2.2. KEMIJSKI UČINAK.....  | 14 |
| 5. ZAKLJUČAK.....  | 16 |
| 6. LITERATURA.....   | 17 |
| 7. SAŽETAK.....  | 26 |
| 8. SUMMARY.....  | 27 |

# 1. UVOD

Plastika je do danas postala nezamjenjiv materijal, esencijalan u svakodnevnom modernom životu. Masovna proizvodnja plastike počela je 1950. godine te je zbog jedinstvenih svojstava i velike potražnje, proizvodnja značajno porasla dosegnuvši do 2017. godine globalnu proizvodnju od 350 milijuna tona (PlasticsEurope Market Research Group, 2018). Velika proizvodnja plastike rezultira i velikom količinom plastičnog otpada koji završava u okolišu gdje se pod utjecajem prirodnih sila, kao što su sunčevo zračenje ili morski valovi, razgrađuje na manje čestice – mikroplastiku (MP) i nanoplastiku (NP).

Pozitivno je to, što su znanstvenici, političari i javnost postali svjesni velike količine plastičnog otpada te se pozornost usmjerava ne samo na prevenciju stvaranja daljnjeg, nego i na razumijevanje utjecaja plastike na okoliš. Zabrinutost ne postoji isključivo zbog velike količine plastičnog otpada, već i zbog spore biorazgradnje, zbog koje plastika stoljećima ostaje u okolišu te se može prenijeti daleko od izvora. Sve veći problem su MP i NP koje su sada već sveprisutne u okolišu (Dris i sur., 2016). Još uvijek se vrlo malo zna o globalnom zagađenju MP i NP te o potencijalnom utjecaju na okoliš i organizme. Najmanje se zna o izloženosti i toksikološkim efektima MP i NP na ljude. Za sada je i dalje nemoguće odrediti ukupnu ljudsku izloženost MP i NP zbog manjka standardiziranih i validiranih metoda te je također teško odrediti točan toksikološki učinak. S obzirom na još uvijek nedovoljan broj istraživanja postoje brojne dileme i pitanja na koje i dalje nema odgovora. Ohrabruje međutim činjenica da se sve veći broj znanstvenika uključuje u istraživanje ovog područja.

U ovom seminarskom radu obuhvaćeni su rezultati brojnih istraživanja kako bi se dala šira slika o načinima na koji MP dospijeva u okoliš, kojim putevima dolazi do unosa u čovjekov organizam te na posljétku o potencijalnim toksikološkim učincima.

## **2. MIKROPLASTIKA**

### **2.1. KARAKTERIZACIJA: DIMENZIJE, OBLIK I KEMIJSKA KOMPOZICIJA**

Iako mikroplastika još čeka svoju detaljnu i opće prihvaćenu definiciju, često se definira kao čestica veličine do 5 mm (Arthur i sur., 2009). Mikroplastika se može podijeliti prema načinu na koji nastaje na primarnu mikroplastiku koja u samoj proizvodnji nastaje kao čestica manja od 5 mm i sekundarnu mikroplastiku. Primarna MP se najviše koristi u kozmetičkoj industriji gdje se upotrebljava kao zamjena za prirodne sastojke. Iako postoji tendencija da se smanji upotreba mikroplastičnih zrnaca u industriji, 2015. godine procijenjeno je da se dnevno u SAD-u 8 milijardi mikrozrnaca ispušta u vodena staništa (Rochman i sur., 2015). Sekundarna mikroplastika nastaje razgradnjom većih komada plastike iz različitih izvora kao što su tekstil, gume, užad i plastična pakiranja, pod utjecajem prirodnih sila te svjetla (Cole i sur., 2011).

Nanoplastika se definira kao čestice između 1 i 100 nm (EFSA, 2016) koja može nastati razgradnjom mikroplastike ili direktno prilikom proizvodnje. Boje, vektori za dostavljanje lijekova i elektronika samo su neki od proizvoda koji sadržavaju NP (Koelmans i sur., 2015).

Sam oblik čestica MP je varijabilan. Čestice mogu biti pravilnog oblika, kao što su vlakna i kuglice, ali i potpuno nepravilnog oblika. Prilikom istraživanja vrlo je važno jasno utvrditi oblik čestica jer to pomaže utvrditi porijeklo same MP.

Uz dimenzije i oblik, kao treći važan element prilikom klasifikacije i karakterizacije čestica MP je kemijska kompozicija. Plastika se sastoji od monomera, koji povezivanjem daju polimernu strukturu. Prilikom proizvodnje plastike, polimerima se dodaju različiti aditivi kako bi se poboljšala njezina svojstva. Aditivi uključuju anorganske komponente kao što su ugljik i silicij koji ojačavaju materijal te termalne i UV stabilizatore. Također, aditivi uključuju i različite komponente koje čine materijal fleksibilnijim, antimikrobna sredstva, boje te usporivače gorenja kao što su polibromirani difenil eteri (PBDE) (Lithner i sur., 2011). Iako je plastika kao takva, inertan materijal, spomenute endogene kemikalije nisu kemijski vezane za polimerni matriks zbog čega su podložne curenju u okolni medij (Tickner i Hunt, 1999) te upravo zato predstavljaju potencijalnu opasnost za okoliš i organizme.

Zbog hidrofobne i nabijene površine, MP može akumulirati na svoju površinu razne spojeve kao policikličke aromatske hidrogenkarbonate, organoklorin pesticide te poliklorirane bifenile (Mato i sur., 2001). Mogu akumulirati i teške metale kao što su kadmij, cink, nikal i olovo (Holmes i sur., 2012). Iz tog razloga se MP smatra i vektorom štetnih kemijskih komponenti.

Postoji velik broj polimera koji su sastavni dio MP i NP, kao što su: Poliester (poli(cikloheksilen-dimetilen-tereftalat) – PCT), Polipropilen (PP), poli(vinil-klorid) (PVC), Polistiren (PS), Teflon, Najlon 6.6, Polietilen (PE), poli(etilen-tereftalat) (PET), stiren/akrilonitrilna plastika (SAN) i poli(butil-metakrilat) (PBMA) (Toussaint i sur., 2019)

## **2.2. MIKROPLASTIKA U OKOLIŠU**

Mikroplastika je danas sveprisutna u okolišu. Oceani, slatke vode, tlo i sedimenti su najznačajnija mjesta gdje se MP nakuplja u okolišu te se brojna istraživanja bave stupnjem onečišćenja tih područja, posebno oceana.

### **2.2.1. OCEANI**

Veliki dio plastike u oceanima potječe iz kopnenih izvora, čak do 80 % (Jambeck i sur., 2015). Istraživanjem 2014. godine procijenjeno je da Dunav godišnje donese 530-1500 tona plastike u Crno more (Lechner i sur., 2014). Jednom kada dospije u mora i oceane, stupanj razgradnje će ovisiti o vrsti polimera, obliku i gustoći. Također, na stupanj razgradnje utjecat će i uvjeti okoliša kao što su temperatura, zračenje i pH (Akbay i Özdemir, 2016). Navedeni čimbenici utječu na zadržavanje MP u oceanima, na položaj čestica u stupcu vode te na brzinu kojom će čestice biti nošene vjetrom i valovima. Zagađenje je potvrđeno u gotovo svim područjima pa čak i u polarnim regijama (Barnes i sur., 2009). S obzirom na velik broj čimbenika koji utječu na raspodjelu mikroplastike u okolišu, vrlo je teško u potpunosti utvrditi, nadzirati te predviđati zagađenje mikroplastikom što postaje veliki izazov. Također, većina uzoraka je uzeta s površine, pa je današnja procjena zagađenja i dalje podcijenjena. Najčešći polimeri u površinskim uzorcima su PE, PP i PS. Takav rezultat je i očekivan iz razloga što 62 %

globalne proizvodnje plastike čini proizvodnja PE i PP čestica te iz razloga što su te čestice male gustoće.

MP u oceanima je opasnost za velik broj organizama. UN je 2016. godine izvijestio da je zagađenje mikroplastikom zabilježeno kod 800 organizama, uključujući sisavce, ribe, beskralješnjake i ptice (GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection, 2015).

### **2.2.2. SLATKE VODE**

Slatke vode također bilježe visok stupanj zagađenja MP. Istraživanja potvrđuju onečišćenje u slatkim vodama diljem planete: velikim rijekama (Mani i sur., 2015), urbanim rijekama (Moore i sur., 2011), Velikim jezerima (Eriksen i sur., 2013) i u šest različitih velikih švicarskih jezera (Faure i sur., 2015). Stupanj zagađenja mikroplastikom u korelaciji je s veličinom čestica, gustoćom stanovništva, ekonomskim i urbanim razvojem naseljenog područja i gospodarenjem otpada. Najčešće zabilježeni polimeri u slatkim vodama su PP i PE.

### **2.2.3. SEDIMENTI I TLO**

Mikroplastika koja pluta u vodi može potonuti i nakupljati se u sedimentima. Onečišćenje je zabilježeno u mnogim sedimentima pa tako i na 18 različitih lokacija diljem Ujedinjenog Kraljevstva (Thompson i sur., 2004) te sedimentima u Portugalu (Frias i sur., 2016) i Belgiji (Claessens i sur., 2011).

Tlo je također potencijalno mjesta nakupljanja MP, posebno zbog odlagališta smeća i umjetnog gnojiva. Provedena su istraživanja na koji način MP utječe na mikrobe i gujavice u tlu te je zabilježen smanjen rast, smanjena težina i kao posljedica toga veća stopa smrtnosti tih organizama u ovisnosti o vremenu izloženosti i koncentraciji MP. Također, gujavice su vertikalni prijenosnici MP u stupcu tla (Lwanga i sur., 2016, 2017). MP utječe na fizička svojstva tla, kao što su poroznost i struktura (Zhang i sur., 2015). Postoji sumnja da su tla jednako velik ekološki

rezervoar MP kao i oceani, međutim zbog manjka efikasnih analitičkih metoda za izolaciju MP, teško je napraviti valjanu procjenu.



### **3. LJUDSKA IZLOŽENOST**

S obzirom na sveprisutnost MP u okolišu, ne iznenađuje da MP na mnogo različitih načina ulazi u ljudski organizam. Čestice MP koje su prisutne u oceanima, slatkim vodama, sedimentima i tlu s vremenom ulaze u hranidbeni lanac te daljnjim trofičkim prijenosom dolaze i do čovjeka kao krajnjeg konzumenta. Brojna istraživanja zabilježila su pojavu MP u hrani namijenjenoj ljudskoj prehrani. U poglavlju 3.1. bit će navedeni rezultati najnovijih istraživanja za neke prehrambene namirnice koje čovjek najčešće svakodnevno upotrebljava. Također, još jedan put ulaska čestica MP u ljudski organizam je putem zraka. Naime, s obzirom na male dimenzije i gustoću, čestice MP nalaze se i u atmosferskom zraku. Budući da se lako prenose vjetrom, čovjek disanjem unosi čestice MP i NP u svoj organizam (Dris i sur., 2016).

#### **3.1. PREHRANA**

Postoji tendencija procjene izloženosti čovjeka MP putem prehrane tako da se uzme prosječan unos određene vrste hrane po regijama, no međutim zbog velike varijabilnosti podataka i premalo dostupnih podataka, još uvijek nije moguće procijeniti stupanj globalne izloženosti mikro- i nanoplastici (Toussaint i sur., 2019).

##### **3.1.1. MORSKA HRANA**

S obzirom na veliku rasprostranjenost MP posebno u morskom ekosustavu, prehrana morskim organizmima je jedan od očitih načina unosa MP u čovjekov organizam, posebice ako se uzme u obzir da je morska hrana u određenim dijelovima svijeta esencijalna prehrambena komponenta. Velik broj morskih organizama lako konzumira MP upravo zbog malih dimenzija samih čestica. Unos MP može biti direktan i indirektan putem trofičkog transfera. Direktan unos zabilježen je kod planktona i ličinki (Cole i sur., 2013; Steer i sur., 2017) te kod riba (Lusher i sur., 2017) i dagnji (Browne i sur., 2008).

S obzirom da se MP uglavnom zadržava u probavnom traktu, najveći utjecaj imaju životinje koje se konzumiraju cijele kao što su školjke i male ribe te postaju direktan izvor MP. Školjke se hrane na način da upumpavaju velike količine vode te čestice zaostaju u njihovom organizmu, koje čovjek konzumira cijele, te na taj način direktno unosi čestice MP. Velik broj istraživanja rađen je na dagnjama koje čovjek unosi prehranom u velikim količinama na globalnoj razini. U istraživanjima je pokazano da je zagađenje mikroplastikom prisutno, iako je stupanj zagađenja u različitim uzorcima varirao (Browne i sur., 2008; Li i sur., 2018; Romeo i sur., 2015). Li i suradnici proveli su istraživanje 2018. godine na dagnjama iz divljine i iz različitih trgovina. U tom radu su pokazali da na stupanj zagađenja utječe i obrada hrane jer su termički obrađene dagnje ili smrznute dagnje iz trgovina pokazivale veći stupanj zagađenja. Također, ukoliko su morski plodovi uzgojeni u kontroliranim uvjetima, imaju kraći životni vijek nego u divlji što im osigurava kraći vremenski period u kojem su izložene MP.

S obzirom na veliku popularnost dagnji u Kini koja slovi kao država koja ispušta najveće količine plastike u morski okoliš (Li i sur., 2015), provedeno je istraživanje koje procjenjuje da kineski konzumenti godišnje mogu unijeti 100 000 čestica MP. U Europi se procjenjuje da potrošači školjaka godišnje tim putem unose 11 000 čestica (Van Cauwenberghe i Janssen, 2014).

Kod riba, kojima se čisti probavni trakt treba uzeti u obzir da bi se MP mogla prenijeti preko gastrointestinalnog trakta ili kroz škrge transcelularnim i paracelularnim putem ući u cirkulacijski sustav. Međutim, respiratorni epitel škrge puno je čvršći nego pluća sisavaca tako da je veća vjerojatnost da se translokacija provede kroz gastrointestinalni trakt (Handy i sur., 2008). Konzumacija kože može predstavljati direktnu izloženost s obzirom na dokaz zaostajanja čestica MP na površini tijela i subepidermalnom sloju kalifornijske pastrve (Moore i sur., 1998).

Nadalje, ribe koje se ne jedu cijele, odnosno kojima se čisti utroba nemaju direktan utjecaj na unos MP u čovjekov organizam upravo iz spomenutog razloga da se MP uglavnom zadržava u probavnom traktu. Međutim treba naglasiti da se riblja utroba koristi za pripremu hrane za perad i svinje, stoga iako nema direktnog unosa putem prehrane, njihov utjecaj se ne smije zanemariti (Bouwmeester i sur., 2015). Nažalost, do sada ne postoji dovoljan broj istraživanja koja se bave stupnjem kontaminacije životinja putem hrane u čijoj se proizvodnji koristi i utroba morskih organizama niti o utjecaju na zdravlje domaćih životinja.

### 3.1.2. OSTALA HRANA

Brojna istraživanja pokazuju prisustvo MP u svakodnevnim namirnicama kad izuzmemo morske plodove. Za takve namirnice teško je odrediti izvor zagađenja s obzirom da se zagaditi može prije i tijekom procesiranja i pakiranja. Provedena su istraživanjima na svakodnevnim namirnicama kao što su med i šećer, sol, pivo i sardine u konzervi. Također je istražena voda iz slavine te flaširana voda.

Med. U svrhu istraživanja zagađenja meda napravljena su dva istraživanja (Liebezeit i Liebezeit, 2013, 2015). Jedan od mogućih putova zagađenja je skladištenje MP na cvijeću i lišću te ugrađivanje u polen kojeg pčele prenose do košnica. Do zagađenja dolazi i prilikom procesiranja meda te putem plastičnih vrećica koje se koriste za opskrbu pčela šećerom u prahu. Nakon što je zagađenje utvrđeno, zaključeno je da stupanj zagađenja još uvijek nije visoko rizičan te su se propisale mjere i preporuke pčelarima kako bi se zagađenje smanjilo.

Sol. Zagađenje soli je direktno posljedica velike količine MP u moru. Sva istraživanja ukazuju da zagađenje postoji, no dobiveni rezultati jako variraju. U istraživanju 16 različitih marki turske soli, pokazano je da morska sol sadrži 16-84 čestica MP/kg, Jezerska sol sadrži 8-102 čestica MP/kg i kamena sol 9-16 čestica MP/kg (Gündoğdu, 2018). Istraživanje provedeno na 17 marki soli na malezijskom tržištu daje rezultat od 10 čestica MP /kg (Karami i sur., 2017). U SAD-u je provedeno istraživanje na komercijalnim solima porijeklom iz različitih dijelova svijeta. Sol je također pakirana u različitu vrstu materijala, a to su staklo, karton i plastika. Dobiveni rezultati ukazuju na zagađenje od 806 čestica MP/kg (Kosuth i sur., 2018). Već iz rezultata ova tri istraživanja vidljivo je da dobiveni rezultati variraju. Pretpostavlja se, da osim zbog različitog izvora soli, rezultati variraju i zbog različitih analitičkih metoda koje i dalje nisu dovoljno standardizirane. Bez obzira na varijaciju dobivenih rezultata može se zaključiti da zagađenje postoji.

Pivo. Istraživanja na pivu pokazala su da su sama obrada produkta te izvor vode koji se koristi za proizvodnju piva, najvažniji čimbenici koji određuje stupanj kontaminacije piva. Provedena su istraživanja na njemačkom pivu (Liebezeit i Liebezeit, 2014) i na pivima u SAD-u (Kosuth i sur., 2018) te su oba istraživanja pokazala određeni stupanj zagađenja.

Flaširana voda. Istraživanje na 259 različitih uzoraka boca iz 9 različitih zemalja također je pokazalo određeni stupanj zagađenja MP. Zabilježeno je 10,4 čestica MP/L većih od 100  $\mu\text{m}$  i u prosjeku 325 čestica MP/L veličine 6.5-100  $\mu\text{m}$ . Zaključak istraživanja je da dio zagađenja dolazi od izvora vode, a većina dolazi od posljedica pakiranja (Mason i sur., 2018).

### **3.2. DISANJE**

Jedan od potencijalnih unosa MP u organizam je putem disanja. MP se zbog svojih dimenzija prenosi vjetrom, a izvori MP u zraku su različiti. Dokazano je da se u atmosferskom zraku (Dris i sur., 2016), mogu naći tekstilna vlakna koja potencijalno mogu ući u organizam putem disanja i zaostati u plućima (Gasperi i sur., 2018; Lachenmeier i sur., 2015; Prata, 2018).

Značajno je i istraživanje u Parizu u urbanom i manje urbanom području kada su zabilježene različite koncentracije s prosjekom od  $110 \pm 96$  čestica  $\text{MP}/\text{m}^2$  i to pritom više u urbanom dijelu grada (Dris i sur., 2016)

## **4. UTJECAJ NA ČOVJEKOV ORGANIZAM**

S obzirom na saznanja o prisutnosti MP u hrani i zraku nameće se pitanje utjecaja na ljudsko zdravlje. Istraživanja su i dalje u začetku, no potencijalna opasnost leži u kroničnoj izloženosti i mogućnosti MP da se nakuplja u organizmu te na taj način negativno djeluje na organizam. Također potencijalna opasnost je kemijska toksičnost kao posljedica lokalnog curenja komponenti monomera, endogenih aditiva ili adsorbiranih spojeva. Te kemikalije mogle bi uzrokovati oštećenja potencijalno opasnija od onih fizičkih (Lithner i sur., 2011; Rochman i sur., 2013).

### **4.1. UNOS I ELIMINACIJA**

#### **4.1.1. FAKTORI UNOSA**

Sam unos ovisi o svojstvima čestice kao što su kemijski sastav, veličina i oblik (Lunov i sur., 2011). S obzirom da se čestice različitih veličina odstranjuju iz organizma, različitim mehanizmima, efikasnost prijenosa i veličine čestica su obrnuto proporcionalni (Wolfgang G. Kreyling i sur., 2009). Iz tog razloga je veća vjerojatnost da čestice NP, čije su dimenzije manje (od 1 do 100 nm), prodiru dublje u pluća i prijeđu plućni epitel, dok će čestice MP, čije su dimenzije veće (do 5 μm), vjerojatno biti odstranjena mukocilijarnim putem. U gastrointestinalnom traktu NP može biti rasprostranjene do jetre, slezene i koštane srži, dok čestice veće od 100 nm ne dolaze do koštane srži (JANI i sur., 1990).

Također, unos MP i NP ovisi o kemijskoj kompoziciji (Walczak i sur., 2015) i naboju površine. Pokazano je da negativno nabijene čestice polistirena nano dimenzija, mogu ući putem klatrin i dinamin posredovane endocitoze jer je unos bio inhibiran inhibitorima klatrin i dinamin posredovane endocitoze. Pozitivno nabijene čestice su unesene putem mikropinocitoze (Lunov i sur., 2011).

Hidrofobnost je bitan faktor unosa i prijenosa MP. Hidrofobnost je određena kemijskim sastavom, a na nju mogu utjecati pH te probavni enzimi (Powell i sur., 2010). U pogledu hidrofobnosti pokazano je da hidrofobnost osim što utječe na prijenos kroz mukozni sloj (Rieux i

sur., 2005) utječe i na adsorpciju proteina na površinu čestica što rezultira posebnim proteinskim uzorkom zvanom korona.

Veliku ulogu igra i površinski naboj čestica na puteve prijenosa u sekundarne organe. U pokusima provedenim na štakorima koji su oralno unosili NP, gotovo u svim organima akumulirale su se negativno nabijene čestice – bubreg, srce, tanko crijevo.

#### **4.1.2. UNOS DISANJEM I PREHRANOM**

Unos čestica plastike disanjem. Udahnuta MP može doći do respiratornog epitela i tada se prenijeti u stanice putem difuzije, pasivno ili aktivno. Endotelne stanice aktivno unose MP putem endocitoze ovisne o energiji te procesom fagocitoze (Deville i sur., 2015). Pokazano je da u plućima svinje MP fagocitiraju plućni makrofazi, a manje čestice MP i NP se pasivno prenose difuzijom kroz opne membrane (Geiser i sur., 2005).

Unos čestica plastike putem gastrointestinalnog traka. U gastrointestinalnom traktu se Peyerove ploče smatraju glavnim mjestom unosa i prijenosa čestice (Powell i sur., 2010; Sass i sur., 1990). Kod štakora kod kojih se unos MP odvijao oralno i koji su praćeni 5 dana, primijećeno je da se približno 60 % unosa NP plastike odvija preko Peyerovih ploča. Prijenos preko Peyerovih ploča zabilježen je i na drugim animalnim modelima (Jani i sur., 1989; Lefevre i sur., 1989; Sanders i Ashworth, 1961)

Drugi mogući način prijenosa MP u gastrointestinalnom traktu je unos MP kroz pukotine jednoslojnog epitela na vrhovima mikrovila (Gardner i sur., 1995) te potom prijenos do cirkulacijskog sustava. Kako bi proučili ovaj način unosa, znanstvenici su koristili PVC čestice veličine od 5 do 110  $\mu\text{m}$ . Uočeno je da MP unesena oralnim ili rektalnim putem prolazi paracelularnim putem između enterocita na mikrovilima.

Transport MP u organizmu odvija se na dva načina. Prvi način je putem limfnih žila što je uočeno kod štakora, zamoraca, zeca, pilića, pasa i svinja. Drugi način je portalnom cirkulacijom što je uočeno zbog povećanja broja čestica u krvi koja je uzeta iz mezenterične vene kod pasa hranjenih PVC-om. PVC čestice su se u krvi pojavile vrlo brzo nakon oralnog unosa. Nakon kratkog perioda što su PVC čestice zamijećene u krvi, PVC čestice pojavljuju se i u žući, urinu i

cerebrospinalnoj tekućini. Veće PVC čestice nađene su i u tkivima i organima što je pokazano u istraživanjima provedenim na štakorima, kada su PVC čestice zabilježene u jetri (Volkheimer, 1975).

Portalna cirkulacija i limfne žile su dva potencijalna načina kako se MP može prenositi iz gastrointestinalnog sustava do sekundarnih organa - jetra bubrezi, slazena, srce i mozak (Geiser i sur., 2014; W. G. Kreyling i sur., 2002; Wolfgang G. Kreyling i sur., 2009).

Uklanjanje MP iz organizma. MP unesena u organizam otporna je na mehanizme razgradnje i zato ju je potrebno ukloniti iz organizma. Žuč otklanja MP već nekoliko minuta nakon unosa, a nakon 8 sati se izbacuje kroz urin, najviše kroz prva 4 sata. Drugi način uklanjanja MP je putem plućnih alveola, cerebrospinalne tekućine temlijeka kod životinja (Lithner i sur., 2011; Volkheimer, 2001). Također, zabilježen je prolazak PVC čestica kroz posteljicu sisavaca što je dosta zabrinjavajuće te su potrebna dodatna istraživanja na tu temu (Volkheimer, 1975). Udahnuta MP se skladišti na samom početku dišnih puteva i vjerojatno eliminira mukocilijarno te ulazi u gastrointestinalni trakt i izbacuje fecesom. U alveolama primarni put eliminacije MP je fagocitozom koju obavljaju plućni makrofazi (Geiser i sur., 2005)

## **4.2. POTENCIJALNI TOKSIČNI UČINAK**

Iako se plastika smatra inertnim materijalom, mnogo je potencijalnih štetnih učinaka MP na organizam. Na samu citotoksičnost MP utječe veličina čestice, oblik, topljivost, naboj površine i kemijska kompozicija (Nel i sur., 2006).

### **4.2.1 FIZIČKI UČINAK**

Potrebno je odrediti u kojoj količini i na koji način se MP skladišti u organizmu kako bi se mogli odrediti negativni fizički utjecaji MP na sam organizam. Ljudski je organizam neprestano izložen stranim česticama mikro i nano dimenzija. Kao posljedica neprestanoj izloženosti, tijelo je razvilo mehanizme kojima se štiti ili rješava problema ulaska stranih čestica. No, odgovor organizma na MP bi mogao biti drugačiji s obzirom da MP ipak ima jedinstvenu

kemijsku kompoziciju i ima određena svojstva koja se ne nalaze u prirodi za koje tijelo ima spreman odgovor. Istraživanja su rađena na modelnim sustavima sisavaca i rezultati su pokazali da se unesena MP, kako je već spomenuto, može prenositi putem limfatičkog i cirkulacijskog sustavate se nakuplja u sekundarnim organima. U pogledu fizičkog efekta uslijed kronične izloženosti MP i njenog nakupljana u organizmu te malog stupnja biorazgradivosti, može doći do niza bioloških odgovora kao što su upale, oksidativni stres i apoptoza. Takva stanja mogu dovesti i do trajnijih posljedica ukoliko postanu kronične.

Zahvaljujući rezultatima istraživanja na temu MP čestica koje nastaju trošenjem plastičnih prostetičkih implantanata, mogli bi se na indirektan način izvući zaključci o mehanizmima kojima MP i NP djeluju kad se u organizam unesu prehranom ili disanjem. U tim istraživanjima pokazano je da PE i PET čestice različitih dimenzija zaostaju u zglobnim čahurama i okolnom tkivu (Willert i Semlitsch, 1996). Takve čestice uzrokuju agregaciju makrofaga (Urban i sur., 2000). Manje PE čestice se nakupljaju u citoplazmi histocita, a veće zaostaju ekstracelularno u tkivu te utječu na okolno tkivo nizom reakcija čime mogu dovesti tkivo do nekroze te ostavljati ožiljke. Problem nastaje i uslijed prijenosa MP limfom, potencijalnog puta uklanjanja štetnih tvari, kada može doći i do odlaganja MP u limfnim čvorovima. Skladištenje je zabilježeno i kod pasa (Mendes i sur., 1974) i kod ljudi u limfnim čvorovima u blizini zglobova s ugrađenim implantantima (Morawski i sur., 1995)

U ovim istraživanjima je još jednom pokazan prijenos MP u sekundarna tkiva. Kod pasa je nakon ugradnje implantanta kuka nađena mala količina PE čestica u alveolama (Walker i Bullough, 1973). Kod ljudi PE je pronađena i u abdominalnim limfnim čvorovima te jetri i slezeni kod 14 % pacijenata (Urban i sur., 2000). Pokazano je da nakupljanje MP u sekundarnim organima dovodi do upale organa (Hicks i sur., 1996)



#### 4.2.2. KEMIJSKI UČINAK

Adsorbirani kemijski spojevi. Povećani omjer površine i volumena uz svojstva plastike kao što je hidrofobnost, doprinosi povećanju adsorpcije hidrofobnih organskih spojeva (HOS) na površinu MP čestica. Neki od tih spojeva su poliklorinirani bifenil (PCB), diklordifeniltrikloroetan (DDT) i policiklički aromatski hidrokarbonati (PAH) koji se vežu na površinu iz okoliša (Browne, 2007; Teuten i sur., 2009). Neki od tih organskih zagađivača su vrlo toksični i potencijalno mutageni te mogu dovesti do različitih endokrinih poremećaja i izazvati imunotoksične efekte. Stimuliranjem uvjeta probavnog sustava kod toplokrvnih organizama (38°C, pH 4), proučavan je potencijal prodiranja HOS spojeva u tkiva. Zamijećeno je povećano otpuštanje i prijenos HOS spojeva u takvim uvjetima (Bakir i sur., 2014).

Endogeni zagađivači. Plastika se sastoj od sintetskih organskih polimera i kemijskih aditiva dodanih prilikom proizvodnje. Aditivi se dodaju kako bi poboljšali svojstva MP. S obzirom da nisu kemijski vezani za plastične polimere i male su molekulske mase, postoji velika šansa da cure u vanjski medij niz koncentracijski gradijent (Tickner i Hunt, 1999). S obzirom da se MP raspada u sve manje komade, povećava se potencijal da ti kemijski aditivi procure u okolinu. S obzirom na mogućnost curenja kemijskih aditiva u okolinu te sposobnosti MP da se nakuplja u organizmu, MP postaje izvor štetnih kemijskih aditiva na mjestima nakupljanja. Pokazano je da velik broj tih kemijskih aditiva ima štetan utjecaj na čovjekov organizam. Tako DEHP i BPA štetno utječu na reproduktivni sustav, vinil klorid i butadien imaju karcinogeni učinak dok su benzen i fenol poznati mutageni. Među najštetnijima su brominirani aditivi koji su zaštita od plamena, ftalatni plastificeri i aditivi za toplinsku stabilizaciju na bazi olova (Lithner i sur., 2011). Naravno različite vrste plastike imaju i različite koncentracije tih aditiva, tako PVC može sadržavati i do 80 % bis(2-etilheksil) ftalata (DEHP) (Tickner i sur., 2001), a ftalati imaju sposobnost vezanje i ometanja rada hormona (Mariana i sur., 2016)

Ostale kemijske komponente koje mogu curiti iz polimera su antioksidansi, stabilizatori UV zračenja, nonilfenoli i bisfenol (BPA) (Lithner i sur., 2011). Također, mogu curiti i štetni monomeri koji nisu izreagirali prilikom procesa polimerizacije. Poliuretani, PVC i epoksi smole su monomeri za koje se sumnja da su najštetniji za okoliš i zdravlje jer su ti monomeri klasificirani kao kancerogeni i/ili mutageni (Lithner i sur., 2011).

Reaktivne kisikove vrste. Nadalje, opasnost leži i u reaktivnim kisikovim vrstama (ROS). Sva plastika sadrži reaktivne kisikove vrste zbog polimerizacije i samog procesa obrade prilikom proizvodnje. S vremenom se broj ROS-ova može značajno povećati zbog interakcije čestica sa svjetlom ili u reakcijama s prijelaznim metalima. ROS-ovi su vrlo opasni za organizam zbog velike reaktivnosti i stoga predstavljaju opasnost za organizam te mogu uzrokovati niz oštećenja kao što su oštećenja membrana.

## 5. ZAKLJUČAK

MP je nađena gotovo svugdje u okolišu - vodenom okolišu, tlu, sedimentima i zraku. Razina zagađenja i dalje raste te se očekuje da će imati ozbiljne posljedice za okoliš i ekosustav. Iako se mnogo znanstvenika bavi tom temom i postoji velik broj istraživanja, to i dalje nije dovoljno za potpuno razumijevanje pojave, prijenosa, sudbine i utjecaja MP na okoliš i organizam. Također od velike važnosti je dati opće prihvaćenu definiciju MP i NP, standardizirati metode te osigurati kvalitetu prilikom provođenja istraživanja.

Za sada broj podataka nije dovoljan za valjanu statističku analizu te su procjene grube i rezultati su varijabilni. Iz tog razloga krajnji zaključak je, da široka kontaminacija MP postoji, da MP ima negativne učinke na okoliš, da ulazi i prenosi se na svim razinama trofičkog lanca. Sam negativan utjecaj na organizme, iako još ne u potpunosti utvrđen, postoji, te su potrebna daljnja istraživanja kako bi se znalo postupati s velikim problemom MP te kako bi se znalo na vrijeme reagirati.

## 6. LITERATURA

- Akbay, I. K., & Özdemir, T. (2016). Monomer migration and degradation of polycarbonate via UV-C irradiation within aquatic and atmospheric environments. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.1080/10601325.2016.1165999>
- Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., & (eds). (2009). Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris, Sep 9-11, 2008. NOAA. Technical Memorandum NOS-OR&R-30. NOAA, Silver Spring 530pp. *September 9-11, 2008. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.*
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.007>
- Bouwmeester, H., Hollman, P. C. H., & Peters, R. J. B. (2015). Potential Health Impact of Environmentally Released Micro- and Nanoplastics in the Human Food Production Chain: Experiences from Nanotoxicology. In *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es800249a>
- Browne, M. A., Galloway, T., & Thompson, R. (2007). Microplastic-an emerging contaminant of potential concern? *Integrated Environmental Assessment and Management*. <https://doi.org/10.1002/ieam.5630030412>
- Claessens, M., Meester, S. De, Landuyt, L. Van, Clerck, K. De, & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion by zooplankton. *Environmental Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1021/es400663f>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Deville, S., Penjweini, R., Smisdom, N., Notelaers, K., Nelissen, I., Hooyberghs, J., & Ameloot, M. (2015). Intracellular dynamics and fate of polystyrene nanoparticles in A549 Lung epithelial cells monitored by image (cross-) correlation spectroscopy and single particle tracking. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research*. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2015.07.004>
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H., & Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>
- Faure, F., Demars, C., Wieser, O., Kunz, M., & De Alencastro, L. F. (2015). Plastic pollution in Swiss surface waters: Nature and concentrations, interaction with pollutants. *Environmental Chemistry*. <https://doi.org/10.1071/EN14218>
- Frias, J. P. G. L., Gago, J., Otero, V., & Sobral, P. (2016). Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. *Marine Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.006>
- Gardner, M. L. G., Steffens, K.-J., & Steffens, K.-J. (1995). Persorption — Criticism and Agreement as Based upon In Vitro and In Vivo Studies on Mammals. In *Absorption of Orally Administered Enzymes*. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-79511-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-79511-4_2)
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J., & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? In *Current Opinion in Environmental Science and Health*. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>

- Geiser, M., Rothen-Rutishauser, B., Kapp, N., Schürch, S., Kreyling, W., Schulz, H., Semmler, M., Im Hof, V., Heyder, J., & Gehr, P. (2005). Ultrafine particles cross cellular membranes by nonphagocytic mechanisms in lungs and in cultured cells. *Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/ehp.8006>
- Geiser, M., Stoeger, T., Casaulta, M., Chen, S., Semmler-Behnke, M., Bolle, I., Takenaka, S., Kreyling, W. G., & Schulz, H. (2014). Biokinetics of nanoparticles and susceptibility to particulate exposure in a murine model of cystic fibrosis. *Particle and Fibre Toxicology*. <https://doi.org/10.1186/1743-8977-11-19>
- GESAMP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment". *Reports and Studies GESAMP*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3803.7925>
- Gündoğdu, S. (2018). Contamination of table salts from Turkey with microplastics. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1447694>
- Handy, R. D., Henry, T. B., Scown, T. M., Johnston, B. D., & Tyler, C. R. (2008). Manufactured nanoparticles: Their uptake and effects on fish - A mechanistic analysis. In *Ecotoxicology*. <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0205-1>
- Hicks, D. G., Judkins, A. R., Sickel, J. Z., Rosier, R. N., Puzas, J. E., & O'Keefe, R. J. (1996). Granular histiocytosis of pelvic lymph nodes following total hip arthroplasty: The presence of wear debris, cytokine production, and immunologically activated macrophages. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*. <https://doi.org/10.2106/00004623-199604000-00002>
- Holmes, L. A., Turner, A., & Thompson, R. C. (2012). Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.052>
- Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., van der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A. A., & Geissen, V. (2017). Incorporation of microplastics from litter into burrows of *Lumbricus terrestris*. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.096>

- Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., Van Der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A. A., & Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05478>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jani, P., Halbert, G. W., Langridge, J., & Florence, A. T. (1989). The Uptake and Translocation of Latex Nanospheres and Microspheres after Oral Administration to Rats. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1989.tb06377.x>
- JANI, P., HALBERT, G. W., LANGRIDGE, J., & FLORENCE, A. T. (1990). Nanoparticle Uptake by the Rat Gastrointestinal Mucosa: Quantitation and Particle Size Dependency. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1990.tb07033.x>
- Karami, A., Golieskardi, A., Keong Choo, C., Larat, V., Galloway, T. S., & Salamatinia, B. (2017). The presence of microplastics in commercial salts from different countries. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep46173>
- Koelmans, A. A., Besseling, E., & Shim, W. J. (2015). Nanoplastics in the aquatic environment. Critical review. In *Marine Anthropogenic Litter*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_12)
- Kosuth, M., Mason, S. A., & Wattenberg, E. V. (2018). Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
- Kreyling, W. G., Semmler, M., Erbe, F., Mayer, P., Takenaka, S., Schulz, H., Oberdörster, G., & Ziesenis, A. (2002). Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A*. <https://doi.org/10.1080/00984100290071649>
- Kreyling, Wolfgang G., Semmler-Behnke, M., Seitz, J., Scymczak, W., Wenk, A., Mayer, P., Takenaka, S., & Oberdrster, G. (2009). Size dependence of the translocation of inhaled

iridium and carbon nanoparticle aggregates from the lung of rats to the blood and secondary target organs. *Inhalation Toxicology*.  
<https://doi.org/10.1080/08958370902942517>

Lachenmeier, D. W., Kocareva, J., Noack, D., & Kuballa, T. (2015). Microplastic identification in German beer-an artefact of laboratory contamination? *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*.

Lechner, A., Keckeis, H., Lumesberger-Loisl, F., Zens, B., Krusch, R., Tritthart, M., Glas, M., & Schludermann, E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution*.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>

Lefevre, M. E., Boccio, A. M., & Joel, D. D. (1989). Intestinal Uptake of Fluorescent Microspheres in Young and Aged Mice. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.3181/00379727-190-42825>

Li, J., Green, C., Reynolds, A., Shi, H., & Rotchell, J. M. (2018). Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.038>

Li, J., Yang, D., Li, L., Jabeen, K., & Shi, H. (2015). Microplastics in commercial bivalves from China. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.018>

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2013). Non-pollen particulates in honey and sugar. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025>

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2014). Synthetic particles as contaminants in German beers. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*. <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.945099>

Liebezeit, G., & Liebezeit, E. (2015). Origin of synthetic particles in honeys. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0025>

Lithner, D., Larsson, A., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total*



*Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>

Lunov, O., Syrovets, T., Loos, C., Beil, J., Delacher, M., Tron, K., Nienhaus, G. U., Musyanovych, A., Mailänder, V., Landfester, K., & Simmet, T. (2011). Differential uptake of functionalized polystyrene nanoparticles by human macrophages and a monocytic cell line. *ACS Nano*. <https://doi.org/10.1021/nn2000756>

Lusher, A., Hollman, P., & Mandoza-Hill, J. . J. (2017). Microplastics in fisheries and aquaculture. In *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. <https://doi.org/dmd.105.006999> [pii]\r10.1124/dmd.105.006999

Mariana, M., Feiteiro, J., Verde, I., & Cairrao, E. (2016). The effects of phthalates in the cardiovascular and reproductive systems: A review. In *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.07.004>

Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407>

Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es0010498>

Mendes, D. G., Walker, P. S., Figarola, F., & Bullough, P. G. (1974). Total surface hip replacement in the dog. A preliminary study of local tissue reaction. *CLIN.ORTHOP.*

Moore, C. J., Lattin, G. L., & Zellers, A. F. (2011). Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. <https://doi.org/10.5894/rgci194>

Moore, J. D., Ototake, M., & Nakanishi, T. (1998). Particulate antigen uptake during immersion immunisation of fish: The effectiveness of prolonged exposure and the roles of skin and gill. *Fish and Shellfish Immunology*. <https://doi.org/10.1006/fsim.1998.0143>

Morawski, D. R., Coutts, R. D., Handal, E. G., Luibel, F. J., Santore, R. F., & Ricci, J. L. (1995). Polyethylene debris in lymph nodes after a total hip arthroplasty: A report of two cases. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*. <https://doi.org/10.2106/00004623->

199505000-00014

- Nel, A., Xia, T., Mädler, L., & Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel. In *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.1114397>
- PlasticsEurope Market Research Group. (2018). Plastics -The facts 2018. *Plastics Europe*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.01.015>
- Powell, J. J., Faria, N., Thomas-McKay, E., & Pele, L. C. (2010). Origin and fate of dietary nanoparticles and microparticles in the gastrointestinal tract. *Journal of Autoimmunity*. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2009.11.006>
- Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? In *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.043>
- Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. (2016). *EFSA Journal*. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501>
- Rieux, A. Des, Ragnarsson, E. G. E., Gullberg, E., Pr at, V., Schneider, Y. J., & Artursson, P. (2005). Transport of nanoparticles across an in vitro model of the human intestinal follicle associated epithelium. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2005.04.015>
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rochman, C. M., Kross, S. M., Armstrong, J. B., Bogan, M. T., Darling, E. S., Green, S. J., Smyth, A. R., & Ver ssimo, D. (2015). Scientific Evidence Supports a Ban on Microbeads. In *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03909>
- Romeo, T., Pietro, B., Ped , C., Consoli, P., Andaloro, F., & Fossi, M. C. (2015). First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- Sanders, E., & Ashworth, C. T. (1961). A study of particulate intestinal absorption and hepatocellular uptake. Use of polystyrene latex particles. *Experimental Cell Research*.

[https://doi.org/10.1016/0014-4827\(61\)90092-1](https://doi.org/10.1016/0014-4827(61)90092-1)

Sass, W., Dreyer, H. P., & Seifert, J. (1990). Rapid insorption of small particles in the gut. *American Journal of Gastroenterology*.

Steer, M., Cole, M., Thompson, R. C., & Lindeque, P. K. (2017). Microplastic ingestion in fish larvae in the western English Channel. *Environmental Pollution*.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.062>

Teuten, E. L., Saquing, J. M., Knappe, D. R. U., Barlaz, M. A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S. J., Thompson, R. C., Galloway, T. S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P. H., Tana, T. S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M. P., Akkhavong, K., ... Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>

Tickner, J. A., Schettler, T., Guidotti, T., McCally, M., & Rossi, M. (2001). Health risks posed by use of di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review. *American Journal of Industrial Medicine*. [https://doi.org/10.1002/1097-0274\(200101\)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1097-0274(200101)39:1<100::AID-AJIM10>3.0.CO;2-Q)

Tickner, J., & Hunt, P. (1999). The use of di-2-ethylhexyl phthalate in PVC medical devices: exposure, toxicity, and alternatives. *Lowell Center for ...*

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria, I. M., & Van den Eede, G. (2019). Review of micro- and nanoplastic contamination in the food chain. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 36(5), 639–673.  
<https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1583381>

Urban, R. M., Jacobs, J. J., Tomlinson, M. J., Gavrilovic, J., Black, J., & Peoc'h, M. (2000). Dissemination of wear particles to the liver, spleen, and abdominal lymph nodes of patients with hip or knee replacement. *Journal of Bone and Joint Surgery - Series A*.  
<https://doi.org/10.2106/00004623-200004000-00002>

Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human

- consumption. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
- Volkheimer, G. (1975). HEMATOGENOUS DISSEMINATION OF INGESTED POLYVINYL CHLORIDE PARTICLES. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1975.tb51092.x>
- Volkheimer, G. (2001). The phenomenon of persorption: persorption, dissemination, and elimination of microparticles. *Old Herborn University Seminar Monograph Vol. 14*.
- Walczak, A. P., Hendriksen, P. J. M., Woutersen, R. A., van der Zande, M., Undas, A. K., Helsdingen, R., van den Berg, H. H. J., Rietjens, I. M. C. M., & Bouwmeester, H. (2015). Bioavailability and biodistribution of differently charged polystyrene nanoparticles upon oral exposure in rats. *Journal of Nanoparticle Research*. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-3029-y>
- Walker, P. S., & Bullough, P. G. (1973). The effects of friction and wear in artificial joints. *Orthopedic Clinics of North America*.
- Willert, H. G., & Semlitsch, M. (1996). Tissue reactions to plastic and metallic wear products of joint endoprotheses. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. <https://doi.org/10.1097/00003086-199612000-00002>
- Zhang, K., Gong, W., Lv, J., Xiong, X., & Wu, C. (2015). Accumulation of floating microplastics behind the Three Gorges Dam. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.04.023>

## 7. SAŽETAK

Mikroplastika (MP) i nanoplastika (NP) postaju sve veći globalni problem zbog njihove velike koncentracije i prisutnosti u svim dijelovima okoliša. Ako se uzme u obzir količina plastičnog otpada u okolišu koja je tolika da će koncentracija MP i NP s vremenom samo rasti te da je nemoguće zaustaviti proizvodnju plastike jer je trenutno i dalje ne zamjenjiv materijal, jasno je koliko je zagađenje okoliša mikroplastikom alarmantan problem.

Iz tog razloga nužan je velik broj istraživanja prisutnosti MP u okolišu i njenog utjecaja i na okoliš i na organizme. U ovom seminarskom radu dan je pregled problema MP kroz njenu pojavu u okolišu, prijenosa te utjecaja na organizme s naglaskom utjecaja na čovjekov organizam. Najveći rezervoari MP u okolišu su oceani, slatke vode, sedimenti, tla i zrak. MP ulazi u hranidbeni lanac i trofičkim prijenosom dolazi do čovjeka kao krajnjeg konzumenta.

Iako je MP još nedovoljno istražena pokazano je da ima negativne utjecaje na sve organizme pa tako i na čovjeka. Mnogo se zna, ali se još više ne zna te su daljnja istraživanja nužna kako bi se mogla donijeti rješenja, regulative i zakoni.

## **8. SUMMARY**

Microplastics (MP) and nanoplastics (NP) are becoming an increasing global problem due to their high concentration and presence in all parts of the environment. If we consider the amount of plastic waste in the environment, which is large enough that the concentrations of MP and NP will only increase over time and that it is impossible to stop the production of plastics because they are currently irreplaceable material, it becomes clear how alarming the problem of environmental microplastic pollution is.

It is therefore necessary to carry out a series of studies on the presence of MP in the environment and its impact on the environment and living organisms. This work provides an overview of the MP problem in terms of its occurrence in the environment, its transport and its effects on organisms with a focus on humans. The largest reservoirs of MP in the environment are oceans, fresh water, sediments, soil and air. MP enters the food chain and reaches the human organism as an end consumer through trophic transfer.

Although MP has not yet been sufficiently researched, it has been shown that MP has negative effects on all living organisms including humans. A lot of knowledge is already available, but more needs to be discovered, so further research is needed for new solutions, regulations and laws.