

Микропластика у животној средини и кружна економија

Наташа Марић, Дијана Гргас

Сажетак: Употреба пластичних предмета и синтетичких текстилних влакана у свакодневном животу узрок је појаве пластичног отпада и микропластике (микровлакна) у животној средини, што је посљедица примјене линеарне економије (протока материјала). Прелазак са линеарне на циркуларну (кружну) економију сматра се каменом темељцем у обезбјеђивању одрживије будућности за потрошњу пластике, текстил и других материјала. Фокус је на задржавању материјала у ланцу вриједности што је дуже могуће и смањења притиска микропластике на животну средину. Да би се ријешио овај проблем потребни су напори од иновације у дизајну, проширења одговорности произвођача, употребе, рециклаже, бољег управљања отпадом. Како би се смањила микропластика у животној средини, Европска унија је 2024. усвојила низ мјера и прописа. У циљу спречавања и смањења микропластике у животној средини потребне су свеобухватне мјере, од иновације у технологији, дизајну и изради производа до њихове употребе. Потребно је побољшавати управљање отпадом, развијати одрживе алтернативе пластици и радити на иновацији и дизајну производа у циљу заштите животне средине и здравља људи.

Кључне ријечи: микропластика, ЕУ прописи, кружна економија

Цитирање: Марић Н, Гргас Н (2024) Микропластика у животној средини и кружна економија. У: Илић П, Пржуљ Н (уредници) Кружна економија. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LX:247–274

Cite as: Marić N, Grgas N (2024) Microplastics in the Environment and the Circular Economy. In: Ilić P, Pržulj N (eds) Circular economy. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LX:247–274

9.1. Увод

У савременом друштву пластика због своје разноврсности чини незамјењив материјал који се користи у разним секторима, од робе широке потрошње, електронике, синтетичког текстила, амбалаже за храну до грађевинског материјала. У 2019. години произведено је око 370 милиона тона пластике и око 70 милиона тона синтетичких влакана глобално, од тога око 50 милиона тона је поријеклом из Европе. Пластика направљена од фосилних ресурса у животној средини опстаје дужи низ година и њеном утицају на животну средину се поклања све већа пажња. Процјењује се да 6–15 милиона тона пластике, што представља 2–4 процента глобалне производње, сваке године уђе у природно окружење и чини 80 одсто морског отпада. Под утицајем сунчеве свјетлости, вјетра, таласа и других механичких утицаја пластични отпад се може разградити на мале фрагменте у микропластику величине 0,001–5 милиметара (mm) или чак мање, нанопластике < 0,001 mm (Velis 2017). Нека микропластика, као што су микроперле или пластични гранулати у козметици, намјерно се производе и потом намјерно или ненамјерно испуштају у отпадне воде. Друге се формирају током употребе производа, као што је хабање гума или ослобађање микровлакна текстила током прања. Микропластика преко градских површина и испуштањем са отпадним водама завршава у ријекама, морима, океанима. Посљедњих година забринутост због загађења микропластиком је порасла, са истраживањем које процјењује да се најмање 14 милиона тона микропластике акумулирало у свјетским океанима (Barret 2019). Према Стратегији Европске уније (ЕУ) за пластику у кружној економији (2019) процијењено ослобађање микропластике у животну средину у ЕУ је 75.000–300.000 тона сваке године (ЕК 2019). Микровлакна се могу испуштати и у ваздух приликом ношења или сушења одјевних предмета (OECD 2020a). Синтетички текстил се сматра важним извором пластичних микровлакна и процјењује се да је синтетички текстил одговоран за испуштање између 0,2 и 0,5 милиона тона микропластике у океане сваке године (Eunomia 2016). Текстил и пластика су два кључна ланца вриједности производа који се сматрају приоритетом у Акционом плану ЕУ за кружну економију (ЕС 2020b). Као резултат тога Европска агенција за заштиту животне средине (енгл. *European Environment Agency*, ЕЕА) посветила је посебну пажњу пластици и текстилу у кружној економији, градећи знање базирано на системима пластике и текстила и њихов еколошки и друштвени утицај и потенцијалне путеве према одрживијим и кружним системима. Извјештаји ЕЕА из 2021. године Пластика и кружна економија и Животна средина Европе, за акцију истакао је огроман значај пластике у свакодневном животу и огроман изазов пластичног отпада

који улази у животну средину. Многи пластични производи, као што је амбалажа, користе се само једном и завршавају у отпаду. Наведено указује на потребу да се са садашњег линеарног система пређе на кружни систем, омогућавајући дужу и поновну употребу и рециклирање, чиме се смањује утицај на животну средину. Иако је проблем загађења микропластиком привукао велику пажњу, још увијек постоје непознанице и низ изазова. Процјена ослобађања и акумулације микропластике је изазовна јер се методе мјерења још увијек развијају. У исто вријеме фактори који одређују ослобађање микропластике су слабо схваћени, а дугорочни ефекти на еко-систем и људско здравље су још увијек нејасни (Cesa 2017).

9.2. Микропластика

Микропластика настаје од пластике и да би се знала њена физичка и хемијска својства потребно је познавати нека основна својства пластике. У хемијском смислу, пластичне масе су органска, већином синтетичка, макромолекулска једињења. Производња пластике почела је почетком 20. вијека када је синтетисан први полимер (Chia 2022). Предност полимерне амбалаже су: рециклира се, јефтина је, мале је масе, а недостаци су да временом стари под утицајем спољних фактора.

Физиолошка својства полимерне амбалаже:

- од адитива може потицати токсичност,
- супстанце за мекшање са полимером не повезују се хемијски, могу мигрирати на површину,
- боје не смију садржавати тешке метале (Pb, Hg, Cd, Be, Se) изнад дозвољених граница и не смију мигрирати из полимерне амбалаже и
- не смију садржавати ароматске аminer.

Супстанце које могу мигрирати из полимерне амбалаже су:

- остаци мономера и катализатора,
- стабилизатори,
- супстанце за мекшање,
- пластификатори који стварају наслагe на површини амбалаже,
- адитиви за очвршћавање и
- тешки метали итд. (Bajsić 2017).

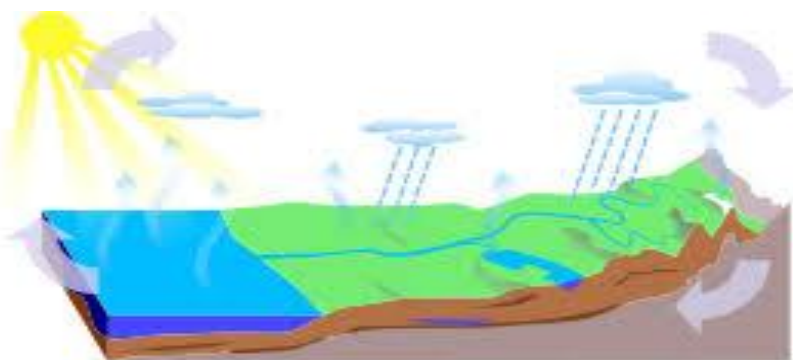
Велика пажња се посвећује миграцији мономера (стирена, винил-хлорида) супстанци за мекшање и антиоксиданса.

Редукцијом полимерног материјала са макро на микро величину, насталу као резултат различитих физичких (абразија, ерозија, рад таласа), хемијских процеса (фотооксидација, оксидоредукцијски процеси), UV зрачења, корозије, изложености високим температурама, настаје секундарна микропластика у животној средини (Othman 2021).

Детерџенти и хемикалије на бази натријум-хипохлорида се не препоручују за прање и третирање због каталитичког дјеловања на издвајање бисфенола који су потенцијална опасност за здравље (Olsson 2004).

Пластика је полимерна амбалажа, која се прекомјерно употребљава у свакодневном животу у виду амбалаже предмета опште употребе, козметике и других разних предмета. Одбацивањем ове амбалаже у виду отпада, она завршава у животној околини. Разградиви биополимери, попут поли-β-хидроксибутират (PHB) и полимлијечне киселине (PLA), могу се користити као алтернативни извори угљеника (Brozinčević 2024).

Када се знају физичка својства пластике, хемијска својства пластике (полимера) и пластичне амбалаже која долази у додир са храном, могу се примијенити и на микропластику.



Сл. 9.1. Илустрација кружење воде у природи

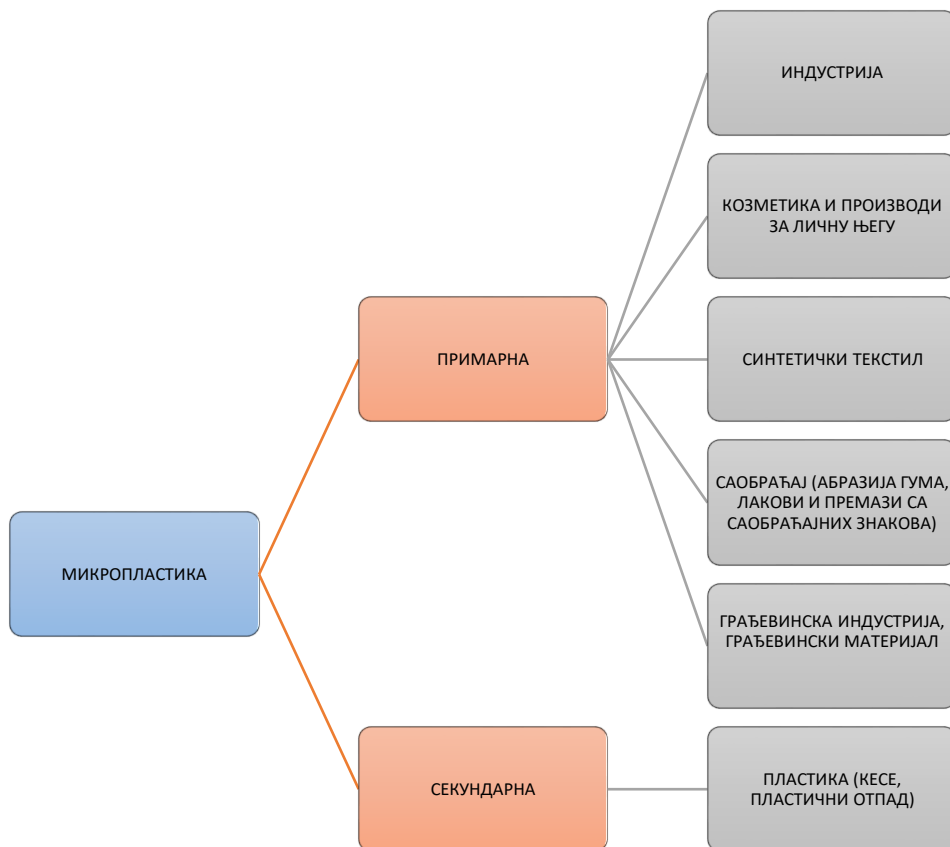
Fig. 9.1. Illustration of the water cycle in nature

Синтетичка влакна, индустријске сировине, производи за личну хигијену и неодговарајуће одлагање отпада чине један од главних извора микропластике у слатководним системима.

За очување животне средине, површинских и подземних вода (Сл. 9.1), неопходно је проводити мониторинг вода. У вези с тим ЕУ је донијела план управљања водама 2022–2035. и оквирне директиве: 2000/60/ЕС о управљања водом и 2006/118/ЕС о заштити подземних вода од загађења и погоршања стања, које су обавезујуће за све чланице ЕУ.

9.2.1. Подјела и извори микропластике

Густина, величина и облик честица микропластике одређују даљи транспорт кроз атмосферске, водене и копнене еко-системе, тако формирајући комплексан и динамичан циклус микропластике у животној средини (Chen 2020).



Сл. 9.2. Микропластика (на основу www.europarl.europa.eu/mikroplastika)
Fig. 9.2. Microplastics (on the basis www.europarl.europa.eu/microplastics)

Поред различитих облика микропластика се појављује и у различитим бојама – црвена, бијела, плава, зелена, црна, љубичаста, жута, смеђа и провидна (безбојна) (Сл. 9.3) (Zhang 2018). У зависности од начина настанка, микропластика може бити примарна или секундарна (Сл. 9.2).

Примарна микропластика је настала од малих честица произведених за комерцијалну употребу, као на примјер стабилизатори сјаја у козметици, абразивне перле, гранулирани материјали за спортске терене (микроvlakна, козметика, полиетилен и полистирен). Европска агенција за хемикалије (енгл. *European Chemicals Agency*, ЕЧА) процјењује да се 145.000 тона намјерно произведене микропластике користи сваке године (Сл. 9.4).

Примарна микропластика се додаје у производе и тако испушта у животну средину, те чини 15–31% микропластике у морима. Главни извори су трошење синтетичке одјеће (35% примарне микропластике), трошење ауто-гума (28%), производи за његу лица и тијела (микрогрануле које се употребљавају за пилинг 2%) (Campanale 2022).

Секундарна микропластика настаје распадањем, односно разградњом већих комада пластике као што су кесе, флаше, рибарске мреже, и чини 69–81% микропластике у мору.

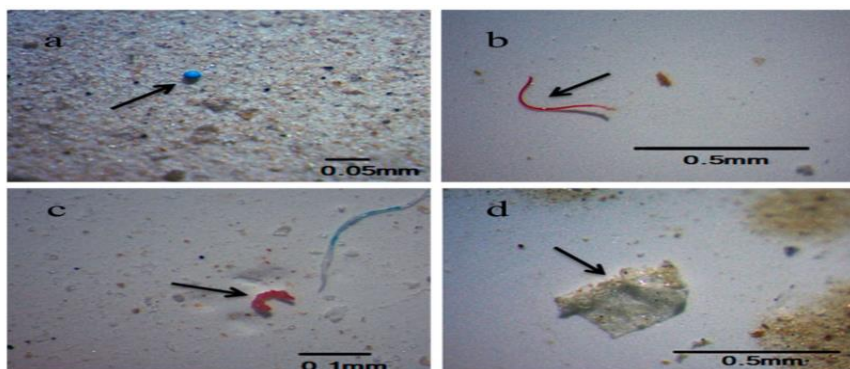
Једном када се микропластичне честице испусте у животну средину, оне се распршују на различите начине – помоћу вјетра, отицањем са путева, путем отпадних и површинских вода. Највећи дио остатака хабања гума, ознака на коловозу и градске прашине спира се са градских површина. Остаци текстила кроз прање веша и козметичких производа за његу и хигијену доспијевају у отпадну воду (Boucher 2017). Урбана микропластика усљед већег транспорта, хабања гума, веће потрошње пластике и стварања отпада транспортује се кроз отицање и канализацију у инсталације за пречишћавање отпадних вода или директно у ријеке. Сњезни и ледени покривачи такође могу да депонују микропластику. Сва микропластика на крају заврши у наслагама или понорима океана, земљиштима и седиментима.

Извори примарне микропластике:

- Већина пластичних производа је направљена од индустријских пластичних пелета који су типично пет милиметара у пречнику. Инциденти током производње, транспорта и рециклаже могу изазвати случајно испуштање пелета у отпадну воду или животну средину.
- Абразија гума возила током вожње ослобађа гумене честице које се састоје од мјешавине природне и синтетичке гуме, стирен–бутадиен каучука, који обично чини око 60 посто гума возила. Ове честице се могу раширити са путева вјетром или кишом, те завршавају у земљишту поред пута у отпадним водама или директно у површинским водама.
- Ознаке на путу – боја, термопласт, полимерна трака и епоксид могу ослободити микропластику као резултат атмосферских утицаја или абразије од стране возила.

- Градска прашина је генерички назив губитака микропластике који се јављају у урбаним срединама усљед коришћења и одржавања објеката и инфраструктуре, укључујући хабање ђона ципела, вјештачких спортских терена и трошење зграда.
- Синтетички текстил – прањем синтетичког текстила ослобађају се микропластична влакна која се не задржавају у машинама за прање веша и завршавају у отпадним водама. Ова влакна се обично састоје од полиестера, полиетилена, акрила или еластина.
- Поморски премази су заштитни премази и боје. Направљени су од полиуретана, епоксида или винила. Ослобађају микропластичне честице у површинску воду или кроз отицање током изградње чамаца, чишћења, поправке.
- Производи за личну његу, козметички производи садрже пластичне микроперле које се намјерно додају, као што су, на примјер, сорбенти. Након употребе производа за рибање и сјај микропластичне честице доспијевају у отпадну воду.

Секундарна микропластика настаје од већих комада пластике и фрагментише се усљед физичких, хемијских или биолошких процеса, UV зрачења, таласа итд. Један од значајних проблема у вези са микропластиком јесте чињеница да се не разграђује лако. За неке од ових честица су потребне стотине или хиљаде година да се разграде, због чега се сматрају значајним загађивачима животне средине (Akdogan 2019). У својој студији Meijer (2021) процјењује да је 80 одсто глобалних емисија пластике у океан узроковано испуштањем више од 1.000 ријека (мале ријеке које теку кроз густо насељена урбана подручја, посебно у Азији, најзагађеније су пластичним отпадом).



Сл. 9.3. Боја микропластике (Zhang 2018)

Fig. 9.3. *Mikroplastic color* (Zhang 2018)

Према истраживањима Уједињених нација (УН), у морима се налази 52 трилион честица микропластике, што је 500 пута више него што има звијезда у галаксији. Микропластику могу појести неке од морских животиња и тако она доспијева у прехранбени ланац и храну за људе. Она је пронађена у храни, пићу, укључујући пиво, мед и воду. Иако се још не зна тачно какве посљедице може да има по здравље људи, јасно је да пластика садржи додатке који могу бити штетни за животиње и људе.

У зависности од узрока деградације, тј. разградње, разликује се:

- механичка деградација, под утицајем механичког напрезања, изазваног атмосферским утицајем вјетра, ерозије или таласа,
- ултраљубичаста (UV) деградација – под утицајем сунчеве свјетлости макропластични отпад се разграђује у мање фрагменте, стварајући секундарну микропластику или мању нанопластику,
- биоразградња која се одвија помоћу микроорганизама,
- термално разлагање које се одвија при високим температурама,
- хидролитичка разградња као резултат реакције микропластике са водом, и
- термооксидативна разградња, која представља спору оксидативну разградњу (Cole 2011).

Хемијске особине микропластике потичу од особина пластике. Изложеност живог свијета овом типу загађења доводи до сметњи у развоју, репродукцији и повишеном степену смртности. Кретање пластичних честица у животној средини је сложено и вођено многим факторима, укључујући вјетар, морске струје, густину честица, величину и облик. Гушћа микропластика се може акумулирати у седиментима на дну океана, што може довести до њихове акумулације у ланац исхране (Boucher 2017). Као резултат тога микропластика је глобално распоређена по ријекама, воденим тијелима и океанима, на обалама ријека и мора, у животињским врстама. Пластика потоне због тога што је густина полимера већа од густине воде, али у случају микропластике густина се може повећати адсорпцијом тешких метала који имају висок афинитет према органским полимерима из околине, нарочито у пластици која се користи у електроници и електричној опреми, возилима, грађевинарству. Отпуштање микропластике је изазов за мјерење и процјењује се да се до сада у свјетским океанима накупило најмање 14 тона микропластике (Barrett 2020a, 2020b).

Анализа микропластике у различитим медијима као што су узорци воде, муља, седименти, компост, земљиште, ваздух, животињско ткиво, обично захтијева различите методе и модификације утврђених метода. Методе сепарације за микропластику обично укључују филтрирање или просијавање,

док се идентификација и квантификација врше коришћењем широког спектра хемијских анализа, узорковање је изазовно и осјетљивост студија обично зависи од способности одвајања и идентификације најмањих честица. Може бити тешко прецизно квантификовати и идентификовати пластичне честице, њихов тип полимера и потенцијални извор, посебно када се анализирају изазовни медији ко што су биофилмови, који могу изазвати сметње у методи детекције (WHO 2019).

Детаљна студија Програма Уједињених нација за животну средину (енгл. *United Nations Environment Programme, UNEP*) из 2018. године утврдила је да се око три милиона тона примарне микропластике годишње испусти на глобалном нивоу у животну средину, поред 53 милиона тона макропластике углавном из лошег управљања отпадом, који ће се временом деградирати и постати потенцијални извори непознате количине секундарне микропластике. Други аутори су имали сличне процјене да се од 3,2 милиона тона примарне микропластике коју годишње испуштају домаћинства и комерцијалне активности, 1,5 милиона тона испусти у океан (Boucher 2017). Наведено у просјеку одговара глобалном ослобађању око 400 грама примарне микропластике која се испушта у животну средину по особи сваке године, што је еквивалентно 80 пластичних кеса, од којих половина заврши у океану.

Абразија гума је доминанти извор ослобађања микропластике, праћена ознакама на путу и градском прашином везаном за изграђено окружење. Природа испуштања пластике варира у различитим регионима свијета. Што се тиче примарне микропластике, густина насељености и потрошња пластике по особи су главни покретачи губитака микропластике, што у Кини чини 20%, Сјеверној Америци 16%, Азији без Кине 14% и Западној Европи 11% одговорних за већину микропластике. Земље са неадекватним системима управљања отпадом, као што су отворено и неконтролисано одлагање, пластични отпад којим се лоше управља, главни су извор испуштања пластике директно у океане или индиректно кроз ријеке. У регионима гдје је удио домаћинства прикључених на третман отпадних вода низак, значајно је ослобађање микропластике, док је у регионима гдје је третман отпадних вода чешћи, већи је удио микропластике заробљене у муљу последице третмана отпадних вода (Boucher 2017).

Одлагање муља представља велики изазов за постројење за пречишћавање отпадних вода. ЕУ улаже напоре у циљу смањења количине органских материја (Grgas 2023a). Аеробни гранулирани муљ (енгл. *Aerobic Granular Sludge, AGS*) представља обећавајућу технологију у третману отпадних вода из домаћинства и индустрије (Гргас 2021).

Европска агенција за хемикалије (ЕСНА 2021) израчунала је годишње ослобађање од 176.000 тона ненамјерно формиране микропластике у европске површинске воде услед абразије и временских утицаја на пластичне производе. Терени од вјештачке траве су доминантни извор, који износи 16.000 тона, адитиви за козметику, детерџенти и ђубрива испуштају се у животну средину сваке године. Детаљним моделирањем које су радили Eunotia и ICF 2018. године процијењене су годишње европске емисије примарне микропластике у површинске воде и износе 72.000–280.000 тона. Иако се процјењује да су стварне изворне емисије микропластике много веће, 670.000–940.000 тона годишње, не завршава сва ослобођена микропластика у океану.



Сл. 9.4. Микропластика (шљокице) (www.balkangreenenergynews.com)

Fig. 9.4. Microplastics (tinsel) (www.balkangreenenergynews.com)

Велики дио микропластике, на примјер из аутомобилских гума и путева, остаје у земљишту, иако с временом може доспјети у воду или се канализационим системима или постројењима за пречишћавање отпадних вода ухвати у муљ, који се затим спаљује, депонује или примјењује за пољопривредно земљиште. Пошто су системи управљања отпадом добро успостављени широм Европе, пластични отпад којим се лоше управља не сматра се главним извором пластике у европском окружењу. Доток пластике у океан који потиче из смеђа у Европи се процјењује на 50.000–180.000 тона годишње (Jambeck 2015). Процјена глобалног испуштања микропластике и пластике у животну средину приказан је у табели 9.1.

Таб. 9.1. Процјена глобалног испуштања пластике и микропластике у животну средину (прилагођено са *Eionet Report – ETC/CE 2022*)
 Table 9.1. Estimates of annual global plastic and microplastic releases into the environment (Adapted from *Eionet Report- ETC/CE 2022*)

Извор	Врста пластичног ослобађања	Судбина	Процјена (милиона тона)	Покривеност
Глобални			5	
UNEP 2018	Лоше управљање отпадом (макропластика)	На животну средину	5,3	Глобално
	Примарна микропластика	На животну средину	3,0	Глобално
Boucher 2017	Лоше управљање отпадом и риболовном опремом (макропластика)	До ријека и океана	10,5	
	Примарна микропластика	На животну средину	3,2 (опсег 1,8–5,01)	Глобално
	Примарна микропластика	До океана	1,5 (опсег 0,8–2,5)	
Jambeck 2015	Лоше управљање отпадом	До океана	4,3–12,7	Глобално (приморске земље)
Leberthon 2016	Лоше управљање отпадом (макропластика)	До ријека и океана	1,15–2,4	Глобално
Eunomia 2016	Лоше управљање отпадом (макропластика)	До океана	12,2	
	Примарна микропластика	До океана	0,5–1,4	Глобално
Meijer 2021	Лоше управљање отпадом (макропластика)	До ријека и океана	0,8–2,7	Глобално

Текстил је познат као један од главних извора загађења микропластиком. Микропластика која потиче од текстила обично има облик влакана, због чега се често назива микровлакнима (Roos 2017). Значајан удио микровлакна из текстила је природног поријекла, као што су памук, вуна, и свила, па треба

правити разлику између вјештачких влакана, попут вискозе, лиоцела и полиестера. Вискоза се не користи само у производњи текстила, већ је широко распрострањена и присутна у филтерима за производњу цигарета и производима за личну хигијену. Доступни су ограничени докази о понашању и судбини вјештачке целулозе, али тврдње да је биоразградива у морској води су упитне (Eunomia 2018).

Рециклажа текстила и употреба рециклираних влакана у новим текстилним производима често се помињу као кључни пут за побољшање одрживости и кружности синтетичког текстила (Gillabel 2021). Постоји забринутост око ослобађања микровлакана из одјевних предмета направљених од рециклираног предива. Прање синтетичког текстила значајно доприноси ослобађању микропластике у отпадним водама, површинским водама, океанима. За Европу, гдје је већина домаћинстава прикључена на канализациони систем и третман отпадних вода, процјењује се да се 13.000 тона текстилних микровлакана или 25 грама по особи испушта у површинске воде сваке године, што чини 8% укупне испуштене примарне микропластике у воду (Eunomia and ICF 2018).

9.3. Контаминација микропластиком

Контаминација морског и слатководног окружења је резултат како директних емисија у површинске воде тако и транспорта честица кроз вјетар, отицање, отпадне воде и одлагање отпада. Тренутно је нејасно који ниво загађења микропластиком се може сматрати прихватљивим (Граф. 9.1) – разматра се широк распон нивоа концентрације од 7.990 до 1.490.000 микропластичних честица по кубном метру воде. Када се ови нивои прекораче, претпоставља се да ће се штетни ефекти појавити у функцијама и структурама еко-система, укључујући измјене нивоа популације врста, генетског диверзитета и еволуционих путева (Everaert 2020).

Водени организми поједу микропластику, што је примијећено у широком спектру, код морске фауне и многих других врста, од зоопланктона до кичмењака (Henry 2019). Док је већа вјероватноћа да ће плутајућу пластику прогутати зоопланктони и рибе, организми који живе у седименту, као што су ракови, црви и дагње, гутају седиментарну пластику. Узорковање је показало да више организама који живе на дну мора уносе микропластику која потиче од текстила, као што су влакнасти полипропилен, вискоза, полиестер и акрилне честице (Wright 2013).

Вишеструке лабораторијске студије су извијестиле да када су водени организми изложени високим нивоима микропластике, постоје значајни негативни ефекти на потрошњу хране, раст, репродукцију и опстанак за читав низ врста (Foley et al. 2018; Gerdes et al. 2018). Вјерује се да су преко морске хране људи изложени микропластици, посебно када се не уклони дигестивни тракт гдје завршава већина микропластике (OECD 2020). Чини се да су шкољке посебно склоне акумулацији микропластике и најгора процјена је да се конзумацијом порције дагњи од 225 грама прогута 900 честица микропластике од око 7 микрограма пластике (Lusher et al. 2017). Европска агенција за безбједност хране (енгл. *European Food Safety Authority*, EFSA) (EFSA 2016) процијенила је да би чак потрошња једног дијела дагњи и под претпоставкама најгорег случаја допринио мање од 0,2 одсто изложености токсичним хемикалијама као што су бисфенол А, полихлоровани бифенили (PCB) и полициклични ароматични угљоводоници (PAHs). Присуство наведених токсичних хемикалија утврђено је и у Бањој Луци, на подручју некадашње фабрике Инцел (Ilić 2024). Пер- и полифлуоракрилне супстанце (PFAS) „загађивачи који трају заувјек“ представљају изазов за истраживаче и научнике у циљу бољег разумијевања и примјена метода ремедијације и биоразградње PFAS супстанци (Grgas 2023b).

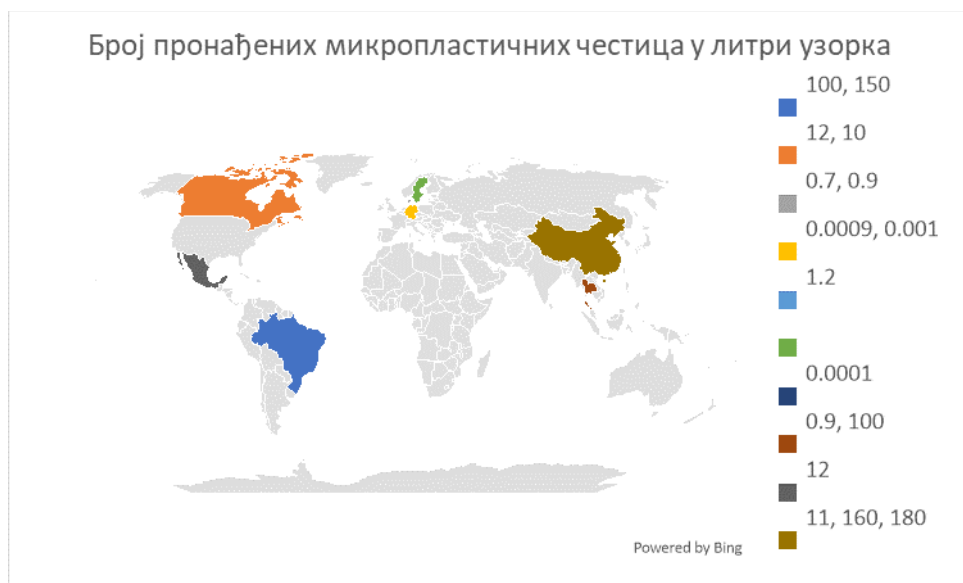
9.3.1. Микропластика у води за пиће

Поред присуства микропластике у морима, ријекама и језерима, све више се скреће пажња на присуство микропластике у води за пиће. Методологију за утврђивање присуства микропластике у води за пиће проводи Заједнички истраживачки центар (енгл. *Joint Research Centre*, JRC), који пружа независно знање и научна сазнања заснована на доказима, подржавајући политике ЕУ да позитивно утичу на друштво. Методологија коју је развио JRC подржава Директиву о води за пиће у важном домену праћења микропластике у води из славине у ЕУ. Да би тијело правилно функционисало, потребно је да се дневно унесе око један и по литар воде. Како је општеприхваћено да микропластика може бити присутна у води за пиће, остаје неизвјесно какви су њени утицаји на здравље људи, великим дијелом због лошег разумијевања њиховог присуства и дистрибуције. У таквим случајевима европско законодавство води записе и пружа нам правне алате за увођење праћења нових загађујућих материја. Да би се дефинисала методологија, научници из JRC са на основу базе научних сазнања о природи, дистрибуцији и количинама микропластике, што је објављено у извјештају „Аналитичке методе за мјерење микропластике у води за пиће“. Показало се да су нивои микропластике у води за пиће генерално нижи од неколико десетина честица

по литри, а новије студије спроведене у Европи показују ниже или више нивое (0–0,6 честица по литру). Праћење микропластике у води за пиће је кључан корак у заштити здравља људи и животне средине.

Мјерење микропластике представља велики изазов, јер се у великој мјери разликују по величини, облику, саставу и хемијском идентитету, што отежава напоре да се прецизно процијени њихово присуство (Граф. 9.2).

Најчешћи полимери у води за пиће су полиетилен-терефталат, полиестер који није ПЕТ и полипропилен. За узимање узорака потребно је најмање 1.000 литара за квантификацију микропластике. Узорци се скупљају коришћењем филтера различитих микронских величина (од 100 μ и 20 μ) да би се прикупиле чврсте материје у двије величине (JRC 2024).



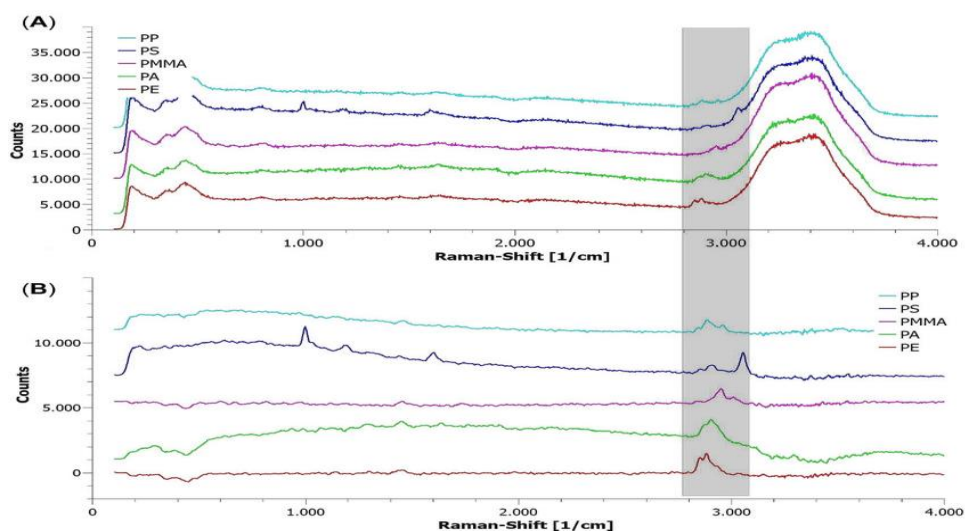
Граф. 9.1. Измјерена микропластика у Европи и шире (прилагођено са JRC 2024)
Graph 9.1. Microplastic measured in Europe and beyond (Adapted from JRC 2024)

Узорци се анализирају једном од двије могуће методе: било инфрацрвеном или Раманском микроскопијом. Ове технике омогућавају идентификацију типа полимера, његове величине и да ли је честица или влакно. Све ове информације могу у будућности бити релевантне за разумијевање природе и наше изложености микропластици (JRC 2024).

Европска комисија покреће развој законодавства потребног да се ухвати у коштац са потенцијалном пријетњом микропластике по здравље људи и животну средину. Међу иницијативама је и прерада Директиве о води за

пиће. Главни закон ЕУ о води за пиће покрива и приступ и квалитет воде намијењене за људску употребу због заштите здравља људи.

Према прерађеној Директиви о води за пиће, Комисија је овлашћена да успостави методологију за мјерење микропластике у води за пиће. Методологија коју је развио JRC уграђена је у Делегарну одлуку Комисије и усвојена 11. марта 2024. године. Комисија је успоставила прву листу за праћење која се бави супстанцама и једињењима који су забрањени у води за људску употребу. Листа за праћење указује на оријентациону вриједност сваке супстанце и једињења, а гдје је потребно, наводи се и могућа метода анализе. Резултати анализе Рамановог спектра индивидуалних микропластичних честица приказани су у графикама 9.2.



Граф. 9.2. Раманов спектар индивидуалних микропластичних честица снимљених у води (Kniggendorf et al 2019)

Graph 9.2. Raman spectra of individual microplastic particles recorded in tap water streaming (Kniggendorf et al 2019)

9.3.2. Микропластика у животној средини

9.3.2.1. Микропластика у ријекама

Узорковање микропластике у ријечном систему разликује се од узорковања у морском. Неколико фактора, укључујући хидролошке услове водног тијела (нпр. густина воде, струје, вјетар, таласи), временски и географски фактори

одређени обликом ријеке, морфологијом и метеоролошком ситуацијом, утицаће на пут микроотпада у сливу. Ове природне елементе треба узети у обзир приликом израде стратегије узорковања и праћења микропластике.

На дистрибуцију, бројност, тип микропластике у воденом систему утичу њихова физичко-хемијска својства (облик, величина, густина), различите варијабилности ријеке, као што су дужина ријеке, величина слива, густина насељености (Campanale 2022). Усљед минималне величине, тежине и релативне густине микропластике (обично се креће $0,9\text{--}1,5\text{ g/cm}^3$), она плута по површини. Узорковање је пожељно вршити по површини и гдје је могуће у воденом стубу.

Процеси као што су вјетрови, хидродинамичке промјене, деградација, седиментација, апсорпција, ресуспензија, гутање и излучивање микропластике од стране биоте, играју кључну улогу у њиховом транспорту и акумулацији, што резултира комплексном и динамичком равнотежом која доноси хоризонтално и вертикално кретање честица, као и таложење у подручјима таложења. Узорковање треба спроводити паралелно са сакупљањем водене фазе (површинске воде, водени стуб), седимената и биота, што је значајно за постизање потпуне слике присуства и дистрибуције микропластике у цијелом воденом систему и утицај на животну средину (Campanale 2022).

9.3.2.2. Микропластика у језерима

У језерима су присутне велике количине органских материја и језера су подложна еутрофикацији, усљед чега долази до накупљања органских материја, тј. формирања биофилма на честицама микропластике. Приликом утврђивања микропластике на мреже ће се хватати велика количина органских материја (алги и сл.). Да би се дошло до мјеродавних података, потребно је елиминисати органске материје из узорка (Masura 2015). Методологија за анализу присуства микропластике у морима може се примијенити и на језера.

9.3.2.3. Микровлакна (микропластика) у ваздуху

Загађење ваздуха микропластиком јавља се као посљедица широке распрострањености извора. Извори примарне микропластике укључују аерозагађење градском прашином, хабање синтетичких гума, лоше управљање депонијама, индустријске емисије, процес рециклаже пластике и инсинерација отпада (Manuaneza 2022).

Доказано је да је микропластика присутна у амбијенталном и унутрашњем ваздуху. Већи нивои су у затвореном простору и неке студије показују да је количина микровлакна, на примјер, која се издваја приликом ношења и сушења одјеће, као и коришћења текстила за домаћинства, депонованих на површинама домаћинства, била истог реда величине као она која се емитује када се текстил пере (Henry et al 2019). Када се удахне микропластика из ваздуха која носи колоније микроба, постоји ризик да се ће ови патогени и микроби инфицирати плућно крило.

9.3.2.4. Микровлакна у земљишту

Поред воденог и ваздушног окружења, микропластика је откривена у копненим еко-системима. Многи путеви воде до тога да микропластика заврши у земљишту. Микропластика која настаје хабањем гума, преноси се ваздухом, депонује на путевима и тротоарима, а затим отицањем преноси у канализацију, и даље до постројења за пречишћавање отпадних вода. Отпадни муљ користи се као ђубриво на пољима. Текстилни отпад који је затрпан, као што су маске за лице за једнократну употребу, ужад, цераде, одјећа, може се деградирати и довести до цурења микровлакна у земљиште (Henry 2019). Претпоставља се да организми ко што су кишне глисте имају способност да транспортују значајне количине микропластике са површине тла у дубље слојеве.

Микропластика може утицати на кључне параметре земљишта, што резултира смањеном микробном активношћу земљишта, сниженом запремином и повећаним капацитетом задржавања воде. Ово посебно важи за полиестарска и полиакрилна влакна текстила.

Микропластика у пољопривредним земљиштима потиче од наводњавања отпадним водама, употребе компоста, муља заосталог послје третмана отпадних вода и употребе пластичних производа за пољопривредну производњу – системи за наводњавање, кутије, фолије, амбалажа, пластични резервоари, фолије за пластенике и сл. (Galafassi 2019).

9.3.3. Уклањање микропластике

Постројења за пречишћавање отпадних вода се обично састоје од претходног третмана примарног, секундарног и евентуално терцијарног третмана. Уобичајен предтретман и примарни третман уклањају веће пластичне честице комбинацијом процеса просијавања, уклањања масноћа и пијеска, обрађивања и таложења. Операције секундарног третмана су типично

процеси активног муља, који подразумевају аерацију и дјеловање микроорганизама. Секундарни третман додатно смањује суспендоване растворене чврсте материје, а микропластика се може уклонити заробљавањем, седиментацијом или микроорганизмима. Терцијарни третмани могу се састојати од различитих система филтрације, укључујући биолошке, гравитационе, ултрафилтрационе и технологије реверзне осмозе. Користе се и напредне методе, укључујући мембранске биореакторе (Lares et al. 2018; Mintenig et al. 2017; Talvitie et al. 2017).

AGS представља обећавајућу технологију у обради отпадних вода из домаћинства и индустрије. AGS технологија има потенцијал да смањи инфраструктуру и оперативне трошкове третмана отпадних вода (Grgas 2021a, 2021b). Ефикасност задржавања микровлакана у процесу пречишћавања отпадних вода у просјеку је 72 процента за примарни третман, 88 процената за секундарни третман и 94 процента за терцијарни третман (Iyare et al. 2020). Филтрација се показала као ефикасна метода за уклањање свих потенцијалних опасности из воде, од микрочестица до штетних микроорганизама, уз примјену мембранских процеса (ултрафилтрације и реверзне осмозе).

9.3.4. Третман отпадних вода

Углавном 80 одсто отпадних вода на глобалном нивоу враћа се у ширу околину без адекватног третмана, што доприноси ситуацији у којој 2,2 милијарде људи нема сигуран приступ води за пиће и адекватним санитарним услугама (UN-Water 2017). У протекле три деценије коришћено је неколико физичких, хемијских и биолошких технологија, како појединачно, тако и у комбинацији. Сваки третман има своје предности и недостатке у погледу нивоа улагања и трошкова рада, ефикасности, изводљивости и утицаја на животну средину. Тренутно не постоји јединствена метода способна за адекватан третман углавном због сложене природе индустријских отпадних вода (Crini and Lichtfouse 2018).

Новија сазнања о бактеријској разградњи и разградњи примјеном разних гљива, као и ензима укључених у процесе трансформације (разградње) у третману отпадних вода (Гргас 2021), представљају значајан допринос у третману отпадних вода. Микроорганизми су идентификовани у различитим стаништима као што су биљке, земљиште и дрво, на примјер *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Streptomyces* и *Pseudomonas*).

Ефикасност уклањања зависи од технологије која се користи и особина микропластике, укључујући њихов облик (влакна, грануле, фрагменти, филм, пјена), величину честица, масу, хемијски састав (најчешћи полимери су: полиетилен (PE), полипропилен (PP) и полистирен (PS) поријеклом од пластичних производа и најлон (PA), полиетилен (PET) и полиетерсулфон (PES) од текстила и синтетичке одјеће и концентрације). Нове методе уклањања укључују напредну оксидацију, адсорпцију на неконвенционалне чврсте материје, биосорпцију и биомасу и нанофилтрацију (Crini and Lichtfouse 2018).

Иако конвенционална постројења за пречишћавање отпадних вода нису припремљена да у потпуности уклоне микропластику (Salvador Cesa et al. 2017), доступне су технологије за побољшање перформанси третмана отпадних вода. Укључивањем примарних, секундарних и терцијарних корака пречишћавања (мембранским процесима) у третман отпадних вода, процјењује се да се до 98 процената микропластике може уклонити из отпадних вода, иако је стварна ефикасност у Европи варира 72–98 процената.

9.4. Кружна економија

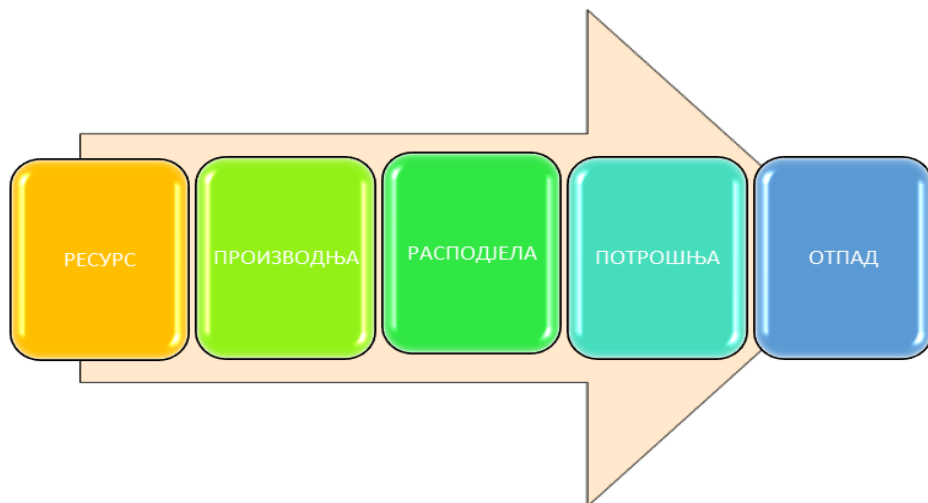
Упркос бројним иницијативама насталим током посљедњих година у потрази за рјешењем овог глобалног проблема, количина пластике која незбринута заврши у животној средини у константном је порасту (Symborg 2022).

Прелазак са модела линеарне економије (Сл. 9.5), базиране на једнократној употреби производа, и редизајнирање система који ће функционисати на принципима кружне економије (Сл. 9.6), представља приступ који би омогућио пролонгирање животног вијека производа и ресурса, повећао степен рециклаже и умањења загађена микропластиком (Filho et al. 2019).

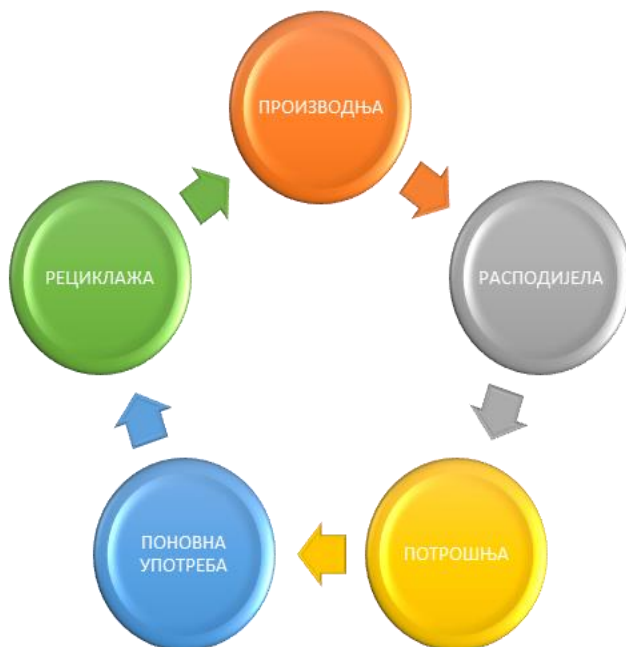
Европска комисија је у децембру 2015. године усвојила документ под називом „Затварање круга – акциони план ЕУ за кружну економију“, а у мају 2018. године пакет директива за кружну економију којима су редефинисани циљеви нове стратегије за скупљање и рециклажу комуналног отпада, посебни токови отпада, као и најнижи дозвољени проценат одлагања отпада на депонији. Ово се односи и на пластику, са циљем да се до 2030. године рециклира сва пластична амбалажа, те знатно смањи пластика за једнократну употребу и ограничи микропластика (Европска комисија 2018).

Како би подстакла прелазак европске економије са линеарне на кружну, Европска комисија је 2014. године донијела документ под називом „Према кружној економији, програм нулте стопе отпада за Европу“. У овом

документу отпад се третира као ресурс, што доприноси концепту „затварања круга“ који је суштина кружне економије.



Сл. 9.5. Линеарна економија (прилагођено са www.supplychainmovement.com)
Fig. 9.5. Linear Economics (Adapted from www.supplychainmovement.com)



Сл. 9.6. Кружна економија (прилагођено са www.supplychainmovement.com)
Fig. 9.6. Circular economy (Adapted from www.supplychainmovement.com)

Важан иницијатор промјена у дизајну производа је регулатива која има за циљ смањење утицаја пластике на животну средину кроз низ захтјева које производ мора испунити прије доспијевања на тржиште – ЕС Директива 2019/904 из јуна 2019, која имплементира и продужену одговорност произвођача или тзв. дужу пажњу („Due Diligence“) или проширену одговорност, односно одговорност сви учесника у ланцу снабдијевања одређеног производа. Проширена одговорност произвођача може бити важна за одрживу производњу пластике. То је централна мјера за европске законодавце у погледу смањења пластике за једнократну употребу (Европски савјет 2019) и сматра се кључном за осигурање да посебно јефтина и неквалитетна пластика, као што је амбалажа, буде задржана унутар ланца вриједност (Elen MacArthur Foundation 2021).

Проширена одговорност произвођача чини произвођаче амбалаже одговорним за судбину својих производа до краја животног вијека, евентуално олакшава иновације производа, који нису намијењени за једнократну употребу, или употребу пластике са мањим утицајем на животну средину, у случају да се изгуби у животној средини. Искуства са проширеном одговорношћу произвођача доказала су да то може бити важна мјера за прелазак на кружну економију, будући да произвођачима пружа снажне подстицаје да смање утицај својих производа на животну средину, обично побољшаним системом поврата, побољшаном поновном употребом и бољом рециклажом (Filho 2019). Мин и сарадници (Min 2020) процијенили су еколошку деградацију пластике на основу физичких својстава и састава и били у стању да категорички различите пластике које могу да се разграде. Биоразградива пластика би могла да буде дио рјешења, али је важно да се репродукују грешке оксидоразградиве пластике, гдје се показало да напор да се пластика учини лако разградивом изазива већу забринутост за животну средину (Schiavo 2020).

9.4.1. Смањење и спречавање контаминације микропластиком примјеном кружне економије

Прелазак на кружну економију сматра се темељем у обезбјеђивању одрживе будућности (Европска комисија 2018). Фокус је на задржавању потрошње ресурса. Овај фокус ће у великој мјери смањити притисак микропластике на животну средину, али постоје нека разматрања која су важна. Прво, будуће иновације у развоју и дизајну производа и употреби нових полимера требало би да се фокусирају на то да буду трајнији у поређењу са постојећим

производима за једнократну употребу и да су дизајнирани имајући на уму поновну употребу и потенцијалну рециклажу.

Друго, осигурано је да напори да се рециклирају производи који се састоје од макропластике не резултирају повећањем ослобађања микропластике у животну средину. Такве активности рециклаже треба да буду предмет проширене одговорности произвођача.

Треће и коначно, судбина и понашање различите пластике у животној средини морају се узети у обзир у дизајну нових материјала и производа како би се осигурало да су они, с једне стране издржљиви и да имају вриједност током цијелог животног циклуса, те су направљени за поновну употребу и накнадну рециклажу, а са друге стране да не представљају дуготрајно загађење ако се изгубе у животној средини (Syberg 2022).

9.5. Закључак

Загађење микропластиком представља озбиљан и сложен проблем. Заједничким дјеловањем влада, надлежних институција, институција Европске уније, научника, произвођача и потрошача смањило би се загађење микропластиком. Преласком са линеарне на циркулациону (кружну) економију обезбиједило би се дјеловање у свим фазама, почевши од производње до збрињавања искоришћених производа од пластике или текстила, у најбољем случају њиховог рециклирања и поновне употребе. Ово би се могло постићи унапређењем постојећих и развојем нових ефикасних и економичних процеса и технологија, те развојем нових иновативних производа од пластике и текстила који би имали дужи вијек трајања, који би се могли рециклирати и ако доспију у животну средину не би изазивали дуготрајно загађење микропластиком. Рециклажа треба да буде продужена одговорност произвођача. Повећањем свијести о значају примјене кружне економије не само када је у питању пластика (микропластика) или текстил (микроvlakна), већ и остале производне дјелатности, значајно би се допринијело смањењу загађења животне средине микропластиком. ЕУ је усвојила низ мјера и прописа како би се смањило загађење микропластиком, а спроводе се истраживања и испитивања која метода би била ефикасна за уклањање микропластике из животне средине.

Литература

- Akdogan Z, Guven B (2019) Mikroplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environ. Pollut.* 254:113011. doi:10.1016/j.envpol.2019.113011
- Bajsić EG (2017) Prerada polimera interna skripta. *Zavod za polimerno inženjerstvo i organsku kemijsku tehnologiju, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.* Доступно на: www.fkit.unizg.hr
- Barrett J (2020a) Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight. *Front. Mar. Sci.* 7:576170. doi:10.3389/fmars.2020.576170
- Barrett J, Chase Z, Zhang J, Holl M, Willis K, Williams A, Hardesty B, Wilcox C (2020b) Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight, *Front. Mar. Sci.* 7:576170. doi:10.3389/fmars.2020.576170
- Boucher J, Friot D (2017) Primary microplastics in the oceans, *International Union for the Conservation of Nature.* 1–43. doi:10.2305/IUCN.CH.2017.01.en
- Brozinčević A, Grgas D, Štefanac T, Habuda-Stanić M, Zelić B, Landeka Dragičević T (2024) Cost Reduction in the Process of Biological Denitrification by Choosing Traditional or Alternative Carbon Sources. *Energies* 17:3660. doi:10.3390/en17153660
- Campanale C, Galafassi S, Savino I (2022) Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Sci. Total Environ.* 805:150431. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.150431
- Cesa S, Turra A, Baruque-Ramos J (2017) Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: a review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Sci. Total Environ.* 598:11161129. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.04.172
- Chen G Feng, Q Wang, J, (2020) Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Sci. Total Environ.* 703:135504. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135504
- Chia R W, Lee J, Jang J, Kim H, Kwon K (2022) Soil health and microplastics: a review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *J. Soil. Sediment.* 22:2690–2705. doi:10.1007/s11368-022-03254-4 3.
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS (2011) Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Pollut. Bull. Volume* 62(12):2588-2597. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- Crini G and Lichtfous E (2018) Wastewater treatment: an overview, in: Crini G, Lichtfouse E (eds), *Green adsorbents for pollutant removal: fundamentals and design, Environmental Chemistry for a Sustainable World, Springer International Publishing, Cham.* 1–21. doi:1007/978-3-319-92111-2_1
- Directive 2019/904 of the European parliament and of the council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment. Доступно на: <https://eur-lex.europa.eu/>. Приступљено: 1.07.2024.

- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Доступно на: www.eur-lex.europa.eu. Приступљено 1.06.2024.
- Directive 2006/118/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006 on the protection of groundwater against pollution and deterioration. Document 32006L0118. Доступно на: www.eur-lex.europa.eu. Приступљено: 1.06.2024.
- EC (2020a) A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final. Доступно на: www.eur-lex.europa.eu. Приступљено: 24.07.2024.
- EC (2020b) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions — A new circular economy action plan: for a cleaner and more competitive Europe (COM(2020) 98 final). Приступљено: 3.07.2024.
- ECHA (2021) Microplastics, European Chemicals Agency. Доступно на: <https://echa.europa.eu>. Приступљено: 20.06.2024.
- EFSA (2016) Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA J. 14(6):04501. doi:10.2903/j.efsa.2016.4501.
- Eunomia (2016) Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by products - Interim Report“, Report for DG Environment, European Commission. 62:1596–1605. Доступно на: www.onlinelibrary.wiley.com. Приступљено: 24.07.2024.
- Eunomia and ICF (2018) Measuring the impacts of microplastics. Доступно на: www.eunomia.co.uk. Приступљено: 4.07.2024.
- Everaert G, De Rijcke M, Lonzeville B, Janssen C, Backhaus T, Mees J, Sebille E, Koelmans A, Catarino A, Vandegheuchte M (2020) Risks of floating microplastic in the global ocean. Environ. Pollut. 267:115499. doi:10.1016/j.envpol.2020.115499
- Filho W, Saari U, Fedoruk M, Iital A, Moora H, Klõga M, Voronova, V (2019) An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe. J. Clean. Prod. 214:550-558. doi:10.1016/j.jclepro.2018.12.256
- Foley C, Feiner Z, Malinich T, Höök T (2018) A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. Sci. Total Environ. 550-559. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.046
- Galafassi S, Nizzetto L, Volta P (2019) Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water. Sci. Total Environ. 693:133499. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.07.305
- Gerdes Z, Hermann M, Ogonowski Martin, Gorokhova E (2018) A serial dilution method for assessment of microplastic toxicity in suspension. bioRxiv. 401331. doi:10.1101/401331

- Gillabel J, Manshoven S, Grossi F, Mortensen L, Coscieme L (2021) ETC/WMGE - European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy Business Models in a Circular Economy. Доступно на: www.wmge.eionet.europa.eu. Приступљено 24.06.2024.
- Grgas D, Marić N, Ilić P, Habuda-Stanić M, Štefanec T, Landeka Dragičević T (2024) Water pollution and human health. March 2024. Conference: WATER FOR ALL 2024 At: Plitvice Lakes, Croatia
- Grgas D, Štefanac T, Barešić M, Toromanović M, Ibrahimpašić J, Vukušić Pavičić, T, Habuda-Stanić M, Herceg Z, Landeka Dragičević T (2023a) Co-composting of Sewage Sludge, Green Waste, and Food Waste. *J. Sustain. Dev. Energy Water Environ.* 11:1100415. doi:10.13044/j.sdewes.d10.0415
- Grgas D, Petrina A, Štefanac T, Bešlo D, Landeka Dragičević T (2023b) A review: Per- and polyfluoroalkyl substances – biological degradation. *Toxics* 11:446. doi:10.3390/toxics11050446
- Grgas D, Galant M, Štefanac T, Ladavac A, Brozinčević A, Štrkalj A, Landeka Dragičević T (2021a) Aerobni granulirani mulj u obradi otpadnih voda: mehanizam granulacije i svojstva aerobnih granula. *Croat. J. Food Technol. Biotechnol. Nutr.* 16(1–2):20–27. doi:10.31895/hcptbn.16.1-2.3
- Grgas D, Štefanac T, Galant M, Bronzičević A, Štrkalj A, Landeka Dragičević T (2021b) Biološka denitrifikacija. *Croat. J. Food Technol. Biotechnol. Nutr.* 16(1-2):28–34. doi:10.31895/hcptbn.16.1-2.4
- Grgas D, Rukavina M, Bešlo D, Štefanac T, Crnek V, Šikić T, Habuda-Stanić M, Landeka Dragičević T (2023) The bacterial degradation of lignin – A review. *Water* 15:1272. doi:10.3390/w15071272
- Henry B, Laitala K, Klepp I (2019) Microfibres from apparel and home textiles: prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Sci. Total Environ.* 652:483–494. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.10.166
- Iyare P, Ouki S, Bond T (2020) Microplastics removal in wastewater treatment plants: a critical review. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 6(10):2664–267. doi:10.1039/D0EW00397B.
- Ilić P, Mrazovac Kurilić S, Mushtaq Z, Rashid A, Marić N, Landeka Dragičević T, Grgas D, Stojanović Bjelić Lj, Nešković Markic D, Malić N, Farooqi ZUR, Jat Baloch MY, Mehmood T, Ullah Z, Riaz S (2024) Integrated Remediation Strategies for Urban and Industrial Pollution: Insights and Applications in the Incel Project. September 2024. Conference: The fourth international conference on sustainable environment and technologies "Let's create a sustainable community" At: University "Union - Nikola Tesla", Belgrade, Serbia
- Jambeck J, Geyer R, Wilcox C, Siegler T, Perryman M, Andrady Anthony, Narayan R, Law K (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347(6223):768–771. doi:10.1126/science.1260
- Kniggendorf A-K, Wetzel C, Roth B (2019) Microplastics Detection in Streaming Tap Water with Raman Spectroscopy. *Sensors.* 19(8):1839 doi:10.3390/s19081839

- Lusher A, McHugh M, Thompson R (2013) Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Mar. Pollut. Bull.* 67(1–2):94–99. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.11.028
- Manyaneza J, Jia Q, Qaraah F, Hossain M, Wu C, Zhen H, Xiu G (2022) A review of atmospheric microplastics pollution: In-depth sighting of sources, analytical methods, physiognomies, transport and risks. *Sci. Total Environ.* 822:153339. doi:10.1016/j.scitotenv.2022.153339
- Masura J, Baker E, Duan G, Courtney A, Carlie H (2015) Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment : recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. Доступно на: www.repository.library.noaa.gov/view/noaa/10296. Приступљено: 20.06.2024.
- Meijer L, van Emmerik T, Ent R, Schmidt C, Lebreton L (2021) More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Sci. Adv.* 7:eaz5803. doi:10.1126/sciadv.eaz5803
- Min K, Cuiffi J, Mathers R (2020) Ranking environmental degradation trends of plastic marine debris based on physical properties and molecular structure. *Nat. Commun.* 11:727. doi:10.1038/s41467-020-14538-z
- Mintenig S, Int-Veen I, Löder M, Primpke S, Gerdtz G (2017) Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Res.* 108:365–372. doi:10.1016/j.watres.2016.11.015
- New methodology to measure microplastics in EU’s drinking water, JRC. Доступно на: www.joint-research-centre.ec.europa.eu, Приступљено 21.03.2024.
- Olsson A, Petterson M, Jönson G (2004) Packaging demands in the food service industry. *Food Serv. Technol.* 4:97-105. doi:10.1111/j.1471-5740.2004.00095.x
- Othman A, Hasan A, Muhamad M, Ismail N, Abdullah S, Hasan H (2021) Microbial degradation of microplastics by enzymatic processes: a review. *Environ. Chem. Lett.* 19:3057–3073. doi:10.1007/s10311-021-01197-9
- Plastics Europe (2020) *Plastics - the facts (2020)* An analysis of European plastics production, demand and waste data. Доступно на; www.plasticseurope.org. Приступљено 24.07.2024.
- Roos S, Arturin O, Hanning A C (2017) Microplastics shedding from polyester fabrics, *Mistra Future Fashion Report*. Доступно на: www.mistrafuturefashion.com. Приступљено: 25.06.2024.
- Schiavo S, Oliviero M, Chiavarini S, Manzo S (2020) Adverse effects of oxo-degradable plastic leachates in freshwater environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27:8586–8595. doi:10.1007/s11356-019-07466-z
- Syberg K, Neilsen M, Clausen L, Calster G, Wezel A, Rochmanm C, Koelmans A, Cronin R, Pahl S, Hansen S (2022) Regulation of plastic from a circular economy perspective. *Curr. Opin. Green Sustain.* 29:100462. doi:10.1016/j.cogsc.2021.100462

- Talvitie J, Mikola A, Koistinen A, Setälä O (2017) Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Res.* 123:401–407. doi:10.1016/j.watres.2017.07.005
- Textile Exchange (2020) Preferred fiber & materials. Market report 2020 Доступно на: www.textileexchange.org. Приступљено: 23.07.2024.
- UN environment program Single-Use Plastics: A Roadmap for Sustainability, UNEP (2018) Доступно на: www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability. Приступљено: 26.07.2024.
- UNEP (2018) Mapping of global plastics value chain and plastics losses to the environment: with a particular focus on marine environment, United Nations Environment Programme. Доступно на: www.unep.org. Приступљено: 01.04.2024.
- UN-Water (2017) The United Nations world water development report: Wastewater: an untapped resource Доступно на: www.unep.org, Приступљено: 02.04.2024.
- Velis A, Lerpiniere D, Tsakona M(2017) Prevent marine plastic litter — now! International Solid Waste Association. Доступно на: www.ategrus.org/docuteca/informe/iswa-prevent-marine-plastic-litter-now. Приступљено: 19.06.2024.
- WHO (2019) Microplastics in drinking-water, World Health Organization, Geneva Доступно на: www.who.int/publications/i/item/9789241516198. Приступљено: 1.07.2024.
- Wright S, Thompson R, Galloway T (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178:483–492. doi:10.1016/j.envpol.2013.02.031
- Zhang S, Wang J, Liu X, Qu F, Wan X, Sun Y, Li Y, Wang X (2018) Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects. *TrAC, Trends Anal. Chem.* 111: 62–72. doi:10.1016/j.trac.2018.12.002
- EEA 2021 — European Environment Agency. Доступно на: www.eea.europa.eu/publications. Приступљено: 17.03.2024.

Microplastics in the Environment and the Circular Economy

Nataša Marić, Dijana Grgas

Summary

The use of plastic items and synthetic textile fibers in everyday life is the cause of plastic waste and microplastics (microfibers) in the environment, which is a consequence of the application of a linear economy (material flow). The transition from a linear to a circular economy is considered a cornerstone in ensuring a more sustainable future for the consumption of plastics and textiles, with a focus on keeping materials in the value chain for as long as possible and reducing the pressure of microplastics on the environment. To address this problem, efforts are needed in innovation in design, extended producer responsibility, usage, recycling, and better waste management. In 2024, the EU adopted a series of measures and regulations to reduce microplastics in the environment. Comprehensive measures are needed to prevent and reduce microplastics in the environment, from innovation in technology, design, and production of products to their use. It is necessary to improve waste management, develop sustainable alternatives to plastic, and work on innovation and product design to protect the environment and human health.

Keywords: Microplastics, EU Regulations, Circular Economy