

Analiza i mogućnosti korištenja termičke obrade otpada u gradu Zagrebu

Kosijer Gorički, Dora

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:633452>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
URBANO ŠUMARSTVO, ZAŠTITA PRIRODE I OKOLIŠA

DORA KOSIJER GORIČKI

ANALIZA I MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TERMIČKE
OBRADJE OTPADA U GRADU ZAGREBU

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

**ANALIZA I MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA TERMIČKE
OBRADNE OTPADA U GRADU ZAGREBU**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij:	Urbano šumarstvo, zaštita prirode i okoliša
Predmet:	Gospodarenje otpadom
Ispitno povjerenstvo:	1. (mentor) prof. dr. sc. Damir Barčić 2. (član) prof. dr. sc. Željko Španjol 3. (član) izv. prof. dr. sc. Roman Rosavec
Student:	Dora Kosijer Gorički
JMBAG:	0178097794
Datum odobrenja teme:	26.04.2024.
Datum predaje rada:	11.09.2024.
Datum obrane rada:	20.09.2024.

ZAGREB, rujna, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Analiza i mogućnosti korištenja termičke obrade otpada u gradu Zagrebu
Autor:	Dora Kosijer Gorički
Adresa autora:	Vinogradska cesta 108
Mjesto izradbe:	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave:	Diplomski rad
Mentor:	prof. dr. sc. Damir Barčić
Izradu rada pomogao:	prof. dr. sc. Damir Barčić
Godina objave:	2024.
Opseg:	50 str., 13 slika, 13 grafova, 9 tablica i 71 navoda literature
Ključne riječi:	Otpad, energetska obnova otpada, kružno gospodarstvo
Sažetak:	<p>Samim svojim postojanjem čovjek stvara otpad, a tehnološkim napretkom i rastom populacije njegova količina nastaviti će biti sve veća. Dosadašnja praksa većine zemalja pa tako i Hrvatske je odlaganje otpada na odlagališta što je prema redu prvenstva gospodarenja otpadom najmanje poželjnija metoda zbrinjavanja. Komunalni otpad jedna je od najsloženijih vrsta otpada za zbrinjavanje zbog različitih vrsta, velikim dijelom oporabivih, materijala prisutnih u njegovom sastavu. Načini zbrinjavanja otpada u velikim urbanim sredinama zahtijevaju učinkovita i za okoliš najprihvatljivija rješenja. Iz toga razloga mnoge zemlje Europske unije koriste neku od metoda WtE (Waste to Energy), odnosno, dobivanja toplinske i električne energije iz otpada u kombinaciji sa ponovnom upotrebom, reciklažom i oporabom. Energane na otpad postrojenja su za termičku obradu otpada te predstavljaju najzastupljeniji način zbrinjavanja otpada, no također imaju velik broj protivnika zbog potencijalnih negativnih utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje. Mehaničko-biološka obrada otpada predstavlja dobru alternativu termičkoj obradi te treba biti obavezni korak u zbrinjavanju otpada, no uvijek postoji dio otpada koji se ne može reciklirati ni oporabiti. U tim slučajevima energane služe kao sredstvo rješavanja neoporabivih ostataka i dodatno smanjuju količine otpada koje se odlaže na odlagališta.</p>

BASIC DOCUMENTATION CARD

Title:	Analysis and possibilities of using thermal treatment of waste in the city of Zagreb
Author:	Dora Kosijer Gorički
Adress of Author:	Vinogradska cesta 108
Thesis performed at:	Faculty of Forestry and Wood Technology, University of Zagreb
Publication Type:	Master's thesis
Supervisor:	prof. dr. sc. Damir Barčić
Preparation Assistant:	prof. dr. sc. Damir Barčić
Publication year:	2024.
Volume:	50 pages, 13 figures, 13 graphs, 9 tables and 71 references
Key words:	Waste, energy recovery from waste, circular economy
Abstract:	<p>With it's mere existence man creates waste, and with technological progress and population growth, its amount will continue to increase. The current practice of most countries, including Croatia, is the disposal of waste in landfills, which is the least preferred disposal method according to the waste management order of priority.. Municipal waste is one of the most complex types of waste to dispose of due to the different types, mostly recoverable, materials present in its composition. Methods of waste disposal in large urban areas require efficient and environmentally friendly solutions. For this reason, many countries of the European Union use one of the WtE (Waste to Energy) methods, that is, obtaining thermal and electrical energy from waste in combination with reuse, recycling and recovery. Waste-to-energy plants are facilities for the thermal treatment of waste and represent the most common way of disposing of waste, but they also have a large number of opponents due to potential negative impacts on the environment and human health. Mechanical-biological waste treatment is a good alternative to thermal treatment and should be a mandatory step in waste management, but there is always a part of waste that cannot be recycled or recovered. In these cases, energy plants serve as a means of dealing with unrecoverable waste and additionally reduce the amount of waste that is disposed of in landfills.</p>



**IZJAVA
O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI**

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 2.2.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u njegovoj izradi nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.“

Zagreb, 17. rujna 2024. godine

vlastoručni potpis

Dora Kosijer Gorički

SADRŽAJ

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA.....	I
BASIC DOCUMENTATION CARD.....	II
SADRŽAJ.....	IV
POPIS SLIKA.....	V
POPIS GRAFOVA.....	VI
POPIS TABLICA.....	VII
PREDGOVOR ILI ZAHVALA.....	VIII
1. UVOD.....	1
1.1. Općenito o otpadu.....	1
1.2. Gospodarenje otpadom.....	2
1.3. Sprečavanje nastanka otpada.....	4
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA.....	6
2.1. Oporaba.....	6
2.2. Recikliranje.....	6
2.3. Obrada otpada.....	7
2.4. Odlaganje.....	8
3. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	9
4. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA.....	10
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM.....	11
5.1. Pristupi gospodarenja otpadom alternativni termičkoj otpada.....	11
5.1.1. Baliranje.....	11
5.1.2. Mehaničko-biološka obrada otpada.....	12
5.2. Termička obrada otpada.....	13
5.2.1. Spaljivanje/izgaranje.....	16
5.2.2. Pirroliza.....	18
5.2.3. Rasplinjavanje.....	19
5.3. Stanje otpada u Europi.....	22
5.4. Stanje otpada u Hrvatskoj.....	30
5.5. Stanje otpada u Zagrebu.....	38
5.6. Prijedlog kratkoročnih i dugoročnih rješenja za Grad Zagreb.....	46
5.6.1. Kratkoročna rješenja.....	46
5.6.2. Dugoročna rješenja.....	46
6. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA.....	51

POPIS SLIKA

<i>Slika 1. Red prvenstva gospodarenja otpadom</i>	3
<i>Slika 2. Trgovina bez ambalaže kao primjer sprječavanja nastanka otpada u maloprodaji</i>	5
<i>Slika 3. Balirani otpad na ulazu u grad Varaždin</i>	11
<i>Slika 4. MBO i BMO procesi</i>	13
<i>Slika 5. Usporedba produkata izgaranja, pirolize i rasplinjavanja</i>	15
<i>Slika 6. Shematski prikaz energane na otpad</i>	16
<i>Slika 7. Princip reakcije pirolize</i>	19
<i>Slika 8. Primjer plazma rasplinjavanja</i>	21
<i>Slika 9. Postrojenje Dáva 1</i>	27
<i>Slika 10. Postrojenje za reciklažu u Högbjörpu</i>	28
<i>Slika 11. MVA Spittelau u centru Beča</i>	29
<i>Slika 12. Izgled odlagališta Prudinec - Jakuševac nakon prvog odrona 2023. godine</i>	43
<i>Slika 13. Vozila uništena drugim odronom na odlagalištu Prudinec - Jakuševac 2023. godine</i>	43

POPIS GRAFOVA

<i>Graf 1. Obrada otpada u Europskoj Uniji, 2004-2020.</i>	23
<i>Graf 2. Proizvodnja otpada po gospodarskim djelatnostima i kućanstvima, EU, 2020.</i>	23
<i>Graf 3. Obrada otpada prema vrsti uporabe i zbrinjavanja otpada, 2020.</i>	24
<i>Graf 4. Proizveden komunalni otpad, 2006 i 2021.</i>	25
<i>Graf 5. Obrada komunalnog otpada, EU. 1995 i 2021.</i>	26
<i>Graf 6. Godišnje količine nastalog komunalnog otpada po stanovniku u RH, 1995.-2022. godina.</i>	33
<i>Graf 7. Količina pojedinih vrsta otpada u odvojeno sakupljenom komunalnom otpadu 2022. godine u tonama.</i>	34
<i>Graf 8. Količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2015 do 2022. godine.</i>	34
<i>Graf 9. Udio komunalnog otpada RH u postupcima obrade od 2010. do 2022. godine.</i>	35
<i>Graf 10. Udio odlaganja komunalnog otpada u razdoblju 2010. do 2022. godine u odnosu na propisani cilj za 2035. godinu.</i>	36
<i>Graf 11. Količina komunalnog otpada u Gradu Zagrebu za razdoblje od 2018. do 2022. godine.</i>	39
<i>Graf 12. Količine nastalog i odloženog biorazgradivog komunalnog otpada za razdoblje 2018.-2022. godine.</i>	41
<i>Graf 13. Količina otpada upućena na odlaganje u razdoblju 2018.-2022. godina.</i>	42

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Obrada komunalnog otpada, EU. 1995 i 2021.</i>	26
<i>Tablica 2. Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2010. do 2022. godine.</i>	33
<i>Tablica 3. Popis planiranih CGO-a i status njihove izvedbe.</i>	37
<i>Tablica 4. Količina i udio miješanog komunalnog otpada i ostalih vrsta komunalnog otpada u sakupljenom komunalnom otpadu</i>	39
<i>Tablica 5. Količine pojedinih vrsta odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u 2022. godini.</i>	40
<i>Tablica 6. Gospodarenje KO sa iskazanim stopama odlaganja i uporabe komunalnog otpada sakupljenog u okviru javne usluge za razdoblje 2018.-2022. godine.....</i>	40
<i>Tablica 7. Procijenjena stope uporabe s uključenim dodatno utvrđenim količinama za razdoblje 2018.-2022. godine.</i>	41
<i>Tablica 8. Tipični troškovi gradnje energane na otpad.....</i>	45
<i>Tablica 9. Tipični troškovi izgradnje veće energane na otpad.</i>	45

ZAHVALA

Zahvaljujem se svim profesorima i djelatnicima Fakulteta šumarstva i drvne tehnologije na susretljivosti, pomoći i prenesenom znanju tijekom studija.

Posebno se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Damiru Barčiću na razumijevanju, strpljenju, svoj pruženoj pomoći, uputama i savjetima prilikom izrade ovog diplomskog rada.

1. UVOD

1.1. OPĆENITO O OTPADU

Sukladno Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) otpad se definira kao svaku tvar ili predmet određen kategorijama otpada, koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Samim time on također ne predstavlja smeće, već posjeduje veliku vrijednost koja se samim odlaganjem na odlagališta bez prethodne obrade gubi. Iz otpada se mogu dobiti materijali i energija, čime se štedi na troškovima. Prikupljanje otpada mora se obavljati vozilom koje je opremljeno s opremom koja onemogućava rasipanje, prolijevanje, odnosno ispuštanje otpada te širenje prašine i neugodnih mirisa. Sav prikupljeni otpad potrebno je zbrinuti, što podrazumijeva svaki postupak koji nije uporaba otpada, uključujući i postupak koji kao sekundarnu posljedicu ima obnovu tvari ili energije. Podjela otpada vrlo je složena no dijeli se prvenstveno prema mjestu nastanka i prema svojstvima.^{15, 49, 52, 64}

Prema svojstvima otpad se dijeli na:

1. *inertni otpad – otpad koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama, nije topiv, nije zapaljiv, na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv, s tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta ili na povećanje dozvoljenih emisija u okoliš*
2. *opasni otpad - otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava, odnosno svaki otpad koji sadrži tvari koje imaju neko od sljedećih svojstava: eksplozivnost, reaktivnost, zapaljivost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, infektivnost, kancerogenost, mutagenost, teratogenost, ekotoksičnost, svojstvo oksidiranja, svojstvo nagrizanja i svojstvo otpuštanja otrovnih plinova kemijskom reakcijom ili biološkom razgradnjom*
3. *neopasni otpad - otpad koji nije opasni otpad*

Prema mjestu nastanka otpad dijeli se na:

1. *proizvodni otpad - otpad koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, a po sastavu i svojstvima se razlikuje od komunalnog otpada. Proizvodnim otpadom se ne smatraju ostaci iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača*
2. *komunalni otpad – miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz kućanstava, te miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz drugih izvora, ako je taj otpad sličan po prirodi i sastavu otpadu iz kućanstva*

Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) komunalni otpad uključuje *papir i karton, staklo, metal, plastiku, biootpad, drvo, tekstil, ambalažu, otpadnu električnu i elektroničku opremu, otpadne baterije i akumulatore te glomazni otpad, uključujući madrace i namještaj*. Postoji također i opasni komunalni otpad koji uobičajeno nastaje u kućanstvu te opasni otpad koji je po svojstvima, sastavu i količini usporediv s opasnim otpadom koji uobičajeno nastaje u kućanstvu pri čemu se opasnim komunalnim otpadom smatra sve dok se nalazi kod proizvođača tog otpada.

1.2. GOSPODARENJE OTPADOM

Za uspješno provođenje zaštite prirode i okoliša, smanjivanje emisije stakleničkih plinova te ublažavanje i, s nadom, smanjivanja/eliminiranja posljedica klimatskih promjena vrlo je važno riješiti globalni problem otpada što se može postići gospodarenje otpadom u svim fazama njegovog nastanka.

Kao članica Europske Unije (u daljnjem tekstu EU) Hrvatska se obavezala prihvatiti i provoditi mjere i ciljeve zadane od strane EU koji bi omogućili da EU do 2050. bude klimatski neutralna i time da primjer ostatku svijeta.

Direktiva EU (2018/851) o otpadu gospodarenje otpadom definira kao „*skupljanje, prijevoz, uporaba (uključujući razvrstavanje) i zbrinjavanje otpada, uključujući nadzor nad tim postupcima i naknadno održavanje lokacija zbrinjavanja, a obuhvaća i radnje koje poduzimaju trgovac ili posrednik;*”. Gospodarenje otpadom ne smije uzrokovati štetan utjecaj na okoliš ni utjecati na zdravlje ljudi, a posebno je bitno da:

1. *ne uzrokuje rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti*
2. *ne uzrokuje neugodu zbog buke i neugodnih mirisa*
3. *ne uzrokuje štetan utjecaj na krajolik ili mjesta od posebnog interesa i*
4. *ne uzrokuje nastajanje eksplozije ili požara*

Načela gospodarenja otpadom

Članak 7.

Gospodarenje otpadom temelji se na uvažavanju načela zaštite okoliša propisanih propisom kojim se uređuje zaštita okoliša i pravnom stečevinom Europske unije, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša te znanstvenih spoznaja, najbolje svjetske prakse i pravila struke, a osobito na sljedećim načelima:

1. *»načelo onečišćivač plaća« – proizvođač otpada odnosno posjednik otpada snosi troškove mjera gospodarenja otpadom, te je financijski odgovoran za provedbu sanacijskih mjera zbog štete koju je prouzročio ili bi je mogao prouzročiti otpad*
2. *»načelo blizine« – obrada otpada mora se obavljati u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš*
3. *»načelo samodostatnosti« – gospodarenje otpadom će se obavljati na samodostatan način omogućavajući neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a uzimajući pri tom u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za posebne kategorije otpada*
4. *»načelo sljedivosti« – utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača tog proizvoda kao i posjed tog otpada uključujući i obradu.*

Red prvenstva gospodarenja otpadom (slika 1):

- 1. sprječavanje nastanka otpada*
- 2. priprema za ponovnu uporabu*
- 3. recikliranje*
- 4. ostali postupci uporabe npr. energetska uporaba*
- 5. zbrinjavanje*



Slika 1. Red prvenstva gospodarenja otpadom (Izvor: <https://www.haop.hr>)

Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način da se prednost daje varijanti koja ima najbolji ukupni ishod za okoliš čak i ako odstupa od reda prvenstva za određeni tok ukoliko je takvo odstupanje opravdano rezultatima analize životnog ciklusa ukupnih učinaka stvaranja i gospodarenja tom vrstom otpada. U obzir se moraju uzeti opća načela zaštite okoliša i resursa, načela održivosti, ekonomske održivosti i izvedivosti, predostrožnosti te ukupni učinci na okoliš, ljudsko zdravlje, društvo i gospodarstvo. ⁶⁴ Sprječavanje nastanka otpada i smanjivanje njegove količine i utjecaja na okoliš treba biti prioritet, a već nastao otpad potrebno je obraditi na način koji će imati najmanje rizik za ljudsko zdravlje i okoliš kao što su ponovna uporaba i korištenje materijalnih ili energetske svojstava otpada dok je odlaganje otpada na odlagališta najmanje poželjna opcija s najvećim i dokazanim negativnim utjecajem na okoliš. ³²

Cilj gospodarenja otpada je stvoriti održivo gospodarenje materijalima, kružno gospodarenje kojim se učinkovito i racionalno koriste prirodni resursi te povećava energetska učinkovitost korištenjem energije iz obnovljivih izvora. No kako bi se očuvali resursi i postiglo doista

kružno gospodarstvo potrebno je provoditi mjere održive proizvodnje i potrošnje tokom cijelog životnog vijeka proizvoda čime bi se uz značajne ušteda za potrošače u EU istodobno smanjile ukupne godišnje emisije stakleničkih plinova. Države članice obavezane su osigurati potrebne mjere kojima su posjednici otpada obaviješteni o mjerama za sprečavanje nastanka otpada, centrima za ponovnu uporabu i pripremu za ponovnu uporabu, sustavima za povrat i skupljanje otpada te sprečavanju odbacivanja smeća.¹¹

U Hrvatskoj se provodi odvojeno sakupljanje otpada prema njegovoj vrsti i svojstvima kako bi se olakšala obrada i sačuvala vrijedna svojstva otpada. *Sakupljanje otpada je prikupljanje otpada, uključujući prethodno razvrstavanje otpada i skladištenje otpada u svrhu prijevoza na obradu.*⁶⁴

U ovom radu fokus je na miješanom komunalnom otpadu, a gospodarenjem komunalnim otpadom u Hrvatskoj potiče se proizvođače otpada i posjednike otpada na odvojeno prikupljanje čime se smanjuje količina miješanog komunalnog otpada i udio biootpada u proizvedenom miješanom komunalnom otpadu, osigurava se odvojeno sakupljanje i recikliranje čime se smanjuje količina otpada koji se zbrinjava odlaganjem. Sakupljanje komunalnog otpada javna je usluga koja uključuje prikupljanje miješanog komunalnog otpada, biootpada, reciklabilnog komunalnog otpada i glomaznog otpada jednom godišnje te na lokaciji obračunskog mjesta korisnika usluge.⁴⁴

Gospodarenje komunalnim otpadom predstavlja izazov zbog njegova vrlo složenog i mješovitog sastava, utjecaja na okoliš i zdravlje ljudi, kao i neposredne blizine građana stvorenom otpadu i vrlo velike javne vidljivosti. Zemlje koje imaju razvijene sustave gospodarenja komunalnim otpadom postižu bolje rezultate u cjelokupnom gospodarenju otpadom. Stoga je potrebno implemenirati *složen sustav koji obuhvaća učinkovit program skupljanja otpada i sustav razvrstavanja, prikladno praćenje tokova otpada, aktivno uključivanje građana i poduzeća, infrastrukturu prilagođenu specifičnom sastavu otpada i razrađen sustav financiranja.*¹¹

1.3. SPREČAVANJE NASTANKA OTPADA

Prevenција ili sprečavanje nastanka otpada najučinkovitija, najizravnija i najpoželjnija¹⁵ je mjera poboljšanja iskoristivosti resursa kroz¹¹ ponovno korištenje proizvoda ili produženje životnog ciklusa proizvoda⁹ i smanjenja utjecaja otpada na okoliš.¹¹ Ona obuhvaća sve mjere koje se poduzimaju prije nego određena tvar, materija ili predmet postane otpad.⁹ Neke od mjera su *poticanje i podržavanje održivih modela proizvodnje i potrošnje, poticanje dizajna, proizvodnje i uporabe proizvoda koji su učinkoviti u iskorištavanju resursa, trajni, mogu se popravljati, ponovno upotrebljavati i nadograđivati, smanjuje nastanak otpada u postupcima povezanim s industrijskom proizvodnjom i smanjuje nastanak otpada od hrane u primarnoj proizvodnji, u preradi i proizvodnji, u maloprodaji (slika 2) i ostaloj distribuciji hrane, u restoranima i na mjestima na kojima se poslužuje hrana te u kućanstvima.*¹¹

Sprječavanje nastanka otpada

Članak 14.

Sprječavanje nastanka otpada su mjere poduzete prije nego je tvar, materijal ili proizvod postao otpad, a kojima se smanjuju:

- 1. količine otpada uključujući ponovnu uporabu proizvoda ili produženje životnog vijeka proizvoda*
- 2. štetan učinak otpada na okoliš i zdravlje ljudi ili*
- 3. sadržaj opasnih tvari u materijalima i proizvodima*⁶⁴

Vrlo je važno da Hrvatska kao država članica EU poduzme odgovarajuće mjere za sprečavanje nastanka otpada, usput prateći napredak njihove provedbe.¹¹

Sama prevencija počinje od proizvođača i potrošača što zahtjeva značajne promjene životnog stila i navika potrošača te samih karakteristika proizvoda stavljenih na tržište. Edukacija svih dobnih grupa počevši već od vrtićkog uzrasta najbitnija je mjera kojom se može razviti ekološka svijest građanstva,⁹ a razvojem i održavanjem informativnih kampanja putem reklama, letaka i priručnika¹¹ kao i provođenjem kontinuirane komunikacije s javnošću najbolje će se razbiti nepovjerenje građana te podići razina osviještenosti.⁹

Sprečavanje se može provoditi izravnim (uvođenje kaucija i eko poreza) i neizravnim metodama (razvoj tržišta recikliranih materijala, uvođenje izravnog ponovnog korištenja otpada, poticanje kompostiranja u kućanstvima te uvođenje novih proizvoda od ili s većim udjelom recikliranih materijala i jačanje tog tržišta).⁹



Slika 2. Trgovina bez ambalaže kao primjer sprječavanja nastanka otpada u maloprodaji (Izvor: <https://www.dw.com/bs/mogu-li-trgovine-bez-plastike/a-65751562>)

2. DOSADAŠNJE ISTRAŽIVANJA

2.1. OPORABA

Pod oporabom otpada računa se *svaki postupak čiji je glavni rezultat uporaba otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale ili se priprema kako bi ispunio tu svrhu, u postrojenju ili u širem gospodarskom smislu*, dok ponovna uporaba označava *svaki postupak kojim se omogućava ponovno korištenje proizvoda ili dijelova proizvoda, koji nije otpad, u istu svrhu u koju je izvorno načinjen*.⁶⁴ Razlikuje se i materijalna uporaba koja označava *svaki postupak uporabe, isključujući energetske uporabu i preradu u materijale koji će se uporabljivati kao gorivo ili druga sredstva za proizvodnju energije; što uključuje i pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje i nasipavanje*.¹¹

Oporaba je druga najpoželjnija mjera upravljanja otpadom kojom se čuva okoliš, štede se sirovine i energija te potiče otvaranje novih radnih mjesta. Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.- 2022. godine (NN 3/17, 1/22) planirao je uspostavu centara za ponovnu uporabu kao mjeru sprječavanja nastanka otpada kojom se potiče razmjena i ponovna uporaba istrošenih predmeta kroz postupke provjere, popravka i čišćenja. Jedan takav centar 2017. godine osnovala je tvrtka Gradsko komunalno poduzeće PRE-KOM d.o.o. iz Preloga. U centru se prikupljaju i razvrstavaju odjeća, obuća, namještaj, posuđe, knjige, igračke i drugi predmeti koji se zatim popravljaju i restauriraju i nakon toga prodaju.⁴⁷

2.2. RECIKLIRANJE

Recikliranje je svaki postupak uporabe, uključujući ponovnu preradu organskog materijala, kojim se otpadni materijali prerađuju u proizvode, materijale ili tvari za izvornu ili drugu svrhu osim uporabe otpada u energetske svrhe, odnosno prerade u materijal koji se koristi kao gorivo ili materijal za nasipavanje.⁶⁴

Za razliku od uporabe, recikliranje se temelji na izdvajanju materijala iz otpada i njegovom ponovnom korištenju, čime se ostvaruje kruženje materijala u smjeru proizvod - upotrijebljeni proizvod (otpad) - sekundarna sirovina - proizvod.¹⁵

Prostori namijenjeni prikupljanju, odvojenom i privremenom skladištenju reciklabilnog komunalnog otpada, manjih količina opasnog komunalnog otpada i drugih vrsta otpada su reciklažna dvorišta.⁶⁴

Recikliranje kao i uporaba štedi i doprinosi očuvanju neobnovljivih izvora sirovine i energije čime se pozitivno utječe na očuvanje okoliša i stvaranje novih radnih mjesta u postrojenjima za preradu otpada.^{9, 15}

Prema Direktivi 2018/851 ciljeve utvrđene Direktivom 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća za pripremu za ponovnu uporabu i recikliranje otpada treba postrožiti kako bi se ostvarila nastojanja Unije da prijeđe na kružno gospodarstvo.

2.3. OBRADA OTPADA

*Obrada otpada je postupak uporabe ili zbrinjavanja, a uključuje i pripremu prije uporabe ili zbrinjavanja. Prethodna obrada otpada prije odlaganja je postupak kojim se u fizikalnom, termičkom, kemijskom ili biološkom procesu, uključujući razvrstavanje, mijenjaju svojstva otpada s ciljem smanjivanja količine ili opasnih svojstava te poboljšava rukovanje ili poboljšava iskoristivost otpada.*⁶⁴

Zasniva se na fizikalnoj, kemijskoj, termičkoj mehaničkoj i biološkoj obradi materijala kako bi se ponovno proizveo materijal ili energija, a primjenjuje se samo na onu količinu otpada koju nije moguće smanjiti, ponovno upotrijebiti ili reciklirati.¹⁵ Cilj obrade otpada je smanjivanje količine otpada za konačno odlaganje i smanjivanje negativnog utjecaja neobrađenog otpada na okoliš.⁹

Fizikalno-kemijska obrada podrazumijeva fizikalnu obradu otpada (koristeći njegove fizikalne karakteristike za razdvajanje ili koncentriranje unutar struje otpada) i kemijsku obradu (mijenjanjem kemijske strukture otpada čime se dobivaju manje opasni materijali nego što je to bio početni otpad)⁹ s ciljem mijenjanja njegovih bioloških svojstava.³⁸ Postupci fizikalne obrade su odvajanje po težini, fazna izmjena, otapanje i obrada bazirana na veličini, adsorptivnosti i ionskim karakteristikama,⁹ taloženje, prosijavanje, centrifugiranje, ispiranje, flotacija, magnetska separacije, isparavanje i destilacija¹⁵ dok se u najčešće korištene postupke kemijske obrade ubrajaju neutralizacija, oksidacija/redukcija te kemijska oksidacija,⁹ hidroliza, flokulacija i dr.¹⁵ Rezultat obrade su gorivi peleti oslobođeni negorivih tvari te imaju niži udio pepela i manji sadržaj vlage. Energija u peletima je koncentriranija (15 MJ/kg) nego u rasutom komunalnom otpadu (7 MJ/kg), pa su pogodni za korištenje u postrojenjima za proizvodnju energije.³⁸

Termička obrada otpada podrazumijeva sve postupke obrade otpada, gdje primjenom povišenih temperatura po posebno propisanim uvjetima dolazi do promjene fizikalnih i kemijskih svojstava otpada te promjene njihove strukture.⁹ Postoji više vrsta termičkih postupaka koji će biti opisani u sljedećem poglavlju, no najčešće korištena metoda termičke obrade je spaljivanje/izgaranje, sa ili bez rekuperacije energije.³⁸ Kod termičke obrade je potrebno razlikovati postrojenja za spaljivanje, gdje se otpad oporablja sa ili bez uporabe topline koja nastaje, te postrojenja za suspaljivanje čiji je glavni cilj proizvoditi energiju ili dobivanje materijalnih proizvoda, a otpad koristi kao dopunsko ili redovno gorivo.⁹

Mehanička obrada otpada služi za odvajanje pojedinih komponenti otpada iz ukupno prikupljenog otpada, pri čemu se mijenja stanje usitnjenosti smjese. Odnosi na postupke usitnjavanja i peletizacije, drobljenja i mljevenja, prosijavanja te druge metode mehaničke separacije zaprimljenog otpadnog materijala kojima se korisne frakcije učinkovito odvajaju od nekorisnih frakcija otpada. Ciljevi mehaničke obrade otpada su priprema otpada za postupak biološke obrade, uklanjanje neprikladnih komponenti iz ulaznog/početnog neobrađenog otpada,

povećavanje količine obnovljivih sirovina izdvojenih iz otpada kao što su staklo, metal, plastika, papir te prerađivanje konačnih produkta.^{38,52}

Biološka obrada otpada temelji se na razgradnji organskih komponenti otpada djelovanjem mikroorganizama čime se mijenjaju kemijska, fizikalna i biološka svojstva otpada. Razlikuju se anaerobna razgradnja, odnosno anaerobna fermentacija ili digestija (bez prisustva zraka) i aerobna razgradnja (s prisutnošću kisika) koja uključuje biosušenje te kompostiranje, pri čemu različiti tipovi mikroorganizama razgrađuju organske tvari.^{9, 38}

Postoji još jedan vrlo popularan oblik postupka obrade, mehaničko-biološka obrada (MBO). Koncept se razvio kao posljedica težnje da se smanji količina biorazgradivog otpada u komunalnom otpadu koji je do tada odlagan na odlagalištima, a sustavom automatskog odvajanja omogućava se uporaba korisnih sekundarnih sirovina iz otpada. Obuhvaća mehaničku i biološku obradu pri čemu se određene frakcije odvajaju mehaničkim putem, dok druge obrađuje biološkim procesima. Obzirom na redoslijed razlikuju se MBO procesi u kojima se otpad najprije obrađuje u mehaničkom pa tek onda u biološkom procesu i BMO procesi u kojima se otpad najprije obrađuje u biološkom pa tek onda u mehaničkom procesu.³⁶

2.4. ODLAGANJE

Odlaganje otpada najmanje je poželjna opcija gospodarenja otpadom, koja je nažalost u Hrvatskoj i dalje najzastupljenija. Prema definiciji iz Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) odlagalište otpada je *građevina namijenjena odlaganju otpada na površinu ili pod zemlju odnosno podzemno odlagalište uključujući:*

- *interno odlagalište otpada na kojem proizvođač odlaže svoj otpad na samom mjestu proizvodnje*
- *odlagalište otpada ili njegov dio koji se može koristiti za privremeno skladištenje otpada (npr. za razdoblje duže od jedne godine) i*
- *iskorištene površinske kopove (eksploatacijska polja) ili njihove iskorištene dijelove nastale rudarskom eksploatacijom i/ili istraživanjima*⁶⁴

Ukoliko nisu pravilno izvedena te se ne održavaju na propisan način, odlagališta imaju potencijal biti jedan od najvećih emitera stakleničkih plinova i imati enorman utjecaj i negativne posljedice na okoliš i zdravlje ljudi. Veliki su rizik za tlo, površinske i podzemne vode, a zbog emisija metana imaju i povećanu mogućnost od izbijanja požara i eksplozija. Kako bi se navedeno spriječilo, odlagališta moraju biti izvedena na način kako bi se spriječilo dugoročno onečišćenje okoliša te negativno utjecalo na ljudsko zdravlje.⁹

3. CILJ ISTRAŽIVANJA

Gospodarenje otpadom, pogotovo komunalnim otpadom, svjetski je problem kojem se mora pristupiti na odgovoran način. Europska Unija zadala je određene ciljeve koje sve zemlje članice trebaju ispuniti do 2025., 2035. i 2050. godine. Republika Hrvatska kao zemlja članica zakonski je obavezana pridržavati se tih ciljeva te ukoliko ne budu ispunjeni plaćati će novčane kazne sve god se ti ciljevi ne ispune.

U svijetu su razvijene različite metode i tehnologije postupanja sa otpadom za maksimalno iskorištavanje svih recikabilnih i oporabljivih materijala iz nastalog otpada te da količine otpada koji ostane za odlaganje ili zbrinjavanje na drugi način budu što manje.

Grad Zagreb ima velik problem s količinama otpada koji stvara te i dalje najveći dio otpada odlaže na odlagalište. Mnoge zemlje članice Europske Unije istom problemu pristupile su korištenjem termičke obrade otpada. Cilj ovoga rada je prikazati trenutno stanje gospodarenja otpadom u Hrvatskoj i Gradu Zagrebu, opisati najčešće korištene metode termičke obrade otpada te dati prijedloge kratkoročnih i dugoročnih rješenja gospodarenja otpadom na primjeru Grada Zagreba.

4. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

U radu su korištene metode analize, sinteze, komparacije i dedukcije.

Korišteni su podaci s internetskih stranica Narodnih Novina, Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR), Eurostata, Euro-lexa, Europske okolišne agencije te mnogih drugih. Također je pregledan je i korišten velik broj znanstvenih radova i članaka, kao i novinskih članaka.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA S RASPRAVOM

5.1. PRISTUPI GOSPODARENJA OTPADOM ALTERNATIVNI TERMIČKOJ OBRADI OTPADA

5.1.1. BALIRANJE

Baliranje je jedna od mehaničkih obrada otpada koja smanjuje njegov volumen za $2/3$, što olakšava postupanje samim otpadom. Pri korištenju za gospodarenje miješanim komunalnim otpadom iz otpada je potrebno prvo odvojiti biorazgradivu frakciju, a zatim staklo i metal koji mogu oštetiti i ili/probušiti balu te otpad koji se može reciklirati kao što su papir i plastika. Nakon odvajanja otpad se drobi, a prije nego što otpad uđe u drobilicu sitne metalne frakcije izdvajaju se pomoću magneta. Drobljeni otpad se usitnjava i preša postupnim tlačenjem i smanjenjem volumena, nakon čega se plastičnom mrežom (ekološki prihvatljiva jer se može reciklirati ili spaliti bez štetnih produkata spaljivanja) fiksira oblik bale te se seli na umotavanje u višeslojnu nepropusnu foliju koja sprječava kontakt s okolišem.⁶²

Prednosti su već navedeno smanjivanje volumena, ušteda prostora pri skladištenju, čuvanje energetske vrijednosti otpada i niži troškovi prijevoza jer je transport rjeđi. Biološka razgradnja također je vrlo usporena, no nije zaustavljena. Pravilnim skladištenjem nema neugodnih mirisa ni isparavanja toksičnih para u atmosferu.⁶²

Potrebno je naglasiti kako je baliranje samo međukorak i privremeno rješenje koji može pomoći u daljnjem gospodarenju otpadom, ono nije krajnji način zbrinjavanja otpada. Ono služi samo kao priprema za daljnju obradu otpada, koja već na početku mora biti krajnje razrađena. Dugotrajno odlaganje bala dovodi do propadanja otpada zatvorenog u njima, koji stvara opasne posljedice po okoliš i ljudsko zdravlje.⁶² Takvih primjera ima i u Hrvatskoj, najpoznatije od kojih je grad Varaždin gdje je zbog nerazrađenog sustava daljnjeg gospodarenja otpadom i prebacivanja odgovornosti tek ove, 2024. godine, započeto saniranje odlagališta s balama nakon 18 godina što je balirani otpad stajao na samom ulazu u grad (slika 3).⁶¹



Slika 3. Balirani otpad na ulazu u grad Varaždin (Izvor: <https://dnevnik.hr/vijesti/hrvatska/na-ulazu-u-barokni-grad-bale-smeca-grad-ima-18-mjeseci-da-ih-se-rijesi---816572.html>)

5.1.2. MEHANIČKO-BIOLOŠKA OBRADA OTPADA (MBO)

Već navedena MBO metoda obrade otpada vrlo je popularna, ekološki prihvatljiva i isplativa alternativa dobivanja energije iz otpada u EU.⁹ Prednosti MBO-a su što smanjuje potrebu za prostorom odlagališta, smanjuje slijeganje odlagališta i unutarnju temperaturu odlagališta, izdvajajući biorazgradivi otpad. Posebno je korisna u pogledu komunalnog otpada jer se biološka komponenta izdvaja i iskorištava za proizvodnju komposta i bioplina. Mehanički izdvojeni materijali mogu se reciklirati i oporabiti, a neoporabljiv dio koristiti kao alternativni izvor goriva (gorivo iz otpada, GIO) koji se može upotrijebiti u termoelektranama i cementarama. Ciljevi MBO-a su maksimalno izdvajanje obnovljivih sirovina (staklo, metal, plastika, papir, i dr.), proizvodnja krutog goriva iz otpada i visoko kvalitetnog krutog goriva definiranih svojstava, proizvodnja komposta, proizvodnja bioplina za proizvodnju toplinske i/ili električne energije i proizvodnja bio-stabiliziranog materijala za odlaganje.³⁸

Već pri samom ulazu miješanog otpada na traku sortirnice potrebno je imati ručno odvajanje gdje radnici ciljano uklanjaju određene materijale kako bi smanjili količinu otpada koji se dalje obrađuje i otpada koji ide na posebnu obradu. U početnoj fazi mehaničke obrade na sitima različitih veličina frakcije se razdvajaju te odlaze na sortiranje ili natrag u proces na daljnje razdvajanje. Staklo, plastika i metal odvajaju se za ponovno korištenje te ih se može prešati ili balirati, a inertni dio otpada, kamena, pepela i šljake može se koristiti kao nasipni materijal ili odlazi na odlaganje ukoliko ne sadrži teške metale ili ostala onečišćenja.²⁹

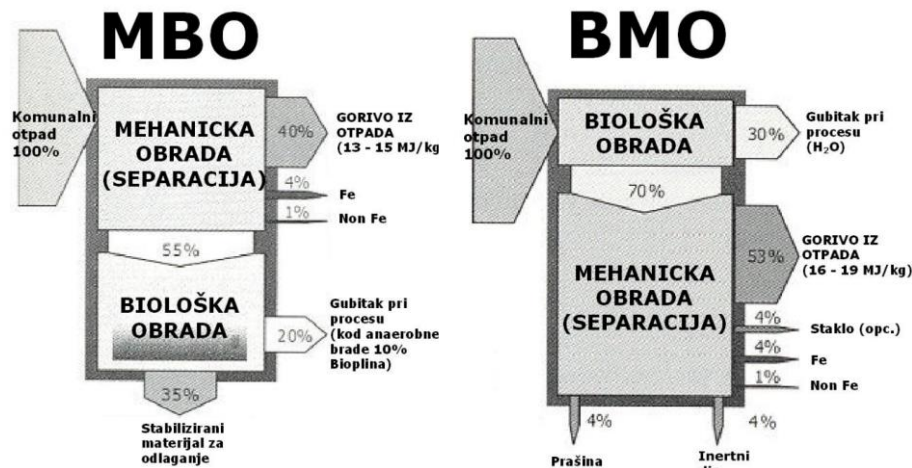
Nakon izdvajanja materijala pogodnih za ponovno korištenje iz komunalnog otpada, otpad podliježe mehaničkoj pripremi prije biološke obrade. Razlikuju se aerobni MBO sustavi koji nakon aerobne obrade kao glavni produkt dobivaju bio-stabilizirani materijal, odnosno kompost i anaerobni sustavi, koji su češće korišteni.

Ukoliko se u aerobnom sustavu koristi prvo mehanička obrada, a zatim biološka taj sustav naziva se MBO te kao izlazne produkte ima gorivo iz otpada niže kvalitete zbog većeg udjela vlažnosti i bioplin iz biološke obrade. Ako biološka obrada prethodi mehaničkoj, sustav se naziva BMO te se otpad prvo suši i dobiva se kompost, no zbog manjeg udjela vode gorivo iz otpada nakon mehaničke obrade više je kvalitete. Slika 4 prikazuje MBO i BMO procese.

Gorivo iz otpada sastoji se od organskog dijela otpada kao što su papir, karton i drvo, te od tekstila i sitne plastike. Koristi se u različitim postrojenjima, od cementnih peći do toplana i termoelektrana. Doprinosi smanjivanju količina otpada koje se odlažu na odlagalištima, smanjenju udjela korištenja fosilnih goriva, emisija ugljičnog dioksida, troškova energije te otvara mogućnosti za razvoj lokalnog gospodarstva.⁶

U anaerobnim sustavima biorazgradivi dio otpada prolazi proces anaerobne digestije pomoću rada mikroorganizama čiji je glavni produkt bioplin. Bioplin se uglavnom sastoji od 50-70% metana (CH₄), 30-50% ugljikovog dioksida (CO₂) i ostalih plinova u tragovima. Koristi se za proizvodnju električne i toplinske energije u plinskim postrojenjima ili za zadovoljavanje lokalnih potreba za plinom, no mora biti prethodno pročišćen posebnim procesima. Bioplin se može nadograditi u biometan koji se koristi kao gorivo za vozila. Prosječno razdoblje iskorištavanja bioplina je oko 5 godina, nakon čega je organska tvar iz otpada u potpunosti

razgrađena. Korištenjem bioplina proces ugljika zatvoren je u relativno kratkom vremenu od jedne do nekoliko godina te se znatno smanjuje emisija stakleničkih plinova njegovim korištenjem za proizvodnju energije.¹⁵



Slika 4. MBO i BMO procesi (Izvor: Levanić, M. (2016))

5.2. TERMIČKA OBRADA OTPADA

Kao što je već navedeno, termičkom obradom iskorištava se energetska vrijednost otpada, koja služi za proizvodnju toplinske i/ili električne energije. Energane isključivo na toplinu ili energiju nisu ni ekološki ni ekonomski prihvatljive stoga se najčešće koriste kogeneracijska postrojenja u kojima se istovremeno dobiva oboje.³⁸

Prije termičke obrade komunalnog otpada iz otpada je prvo potrebno izdvojiti sve anorganske tvari koje teže gore, odnosno čije su točke taljenja vrlo visoke, kao što su metal i staklo, dok iz organskog otpada treba izvući maksimalni udio vlage.³⁴

Postupci termičke obrade uključuju najpopularnije spaljivanje/izgaranje, pirolizu i rasplinjavanje sa ili bez plazme (slika 5), no postoje i termička depolimerizacija, hidriranje, sušenje, dezinfekcija i drugi postupci, kao i kombinacije među njima.³⁸

Cilj obrade je smanjiti volumen otpada pri čemu se izdvajaju i/ili uništavaju potencijalno opasne tvari iz otpada.³⁴ Za učinkovito zbrinjavanje otpada s minimalnim negativnim utjecajem na okoliš spalionice/energane moraju biti u skladu s najvišim standardima koje postavlja EU, od samog izgleda i postrojenja unutar zgrade do mjera osiguravanja smanjenja emisija u okoliš i kvalitete ostataka spaljivanja.¹⁵

Danas je cilj EU razviti tehnologiju izgaranja koja minimizira emisije plinova u atmosferu i dovodi do postizanja neutralnosti, tj "nulte emisije plinova". Kako bi to bilo ostvarivo najveći dio energane čini postrojenje za pročišćavanje dimnih plinova. Nakon pročišćavanja dimnih

plinova ostaju kruti, tekući ili muljeviti ostaci koji obično sadrže 2-5% početne mase otpada na mokroj bazi.¹⁶

*Postrojenja za termičku obradu otpada vrlo su složena, u svakoj pojedinoj fazi odvijaju se procesi koji pridonose tome da se otpad razgradi na neopasne komponente, te se pritom smanjuje volumen otpada, štetnost na okoliš te kao krajnji produkt procesa nastaje energija.*¹⁶

Kruti ostaci su pepeo s dna koji nastaje, odnosno ostaje nakon termičke obrade, leteći pepeo te ostaci čišćenja dimnih plinova. Pepeo s dna također se naziva i šljaka, a moguće da je odložiti bez dodatne obrade, no najčešće se koristi kao materijal u građevinskoj industriji te se prije korištenja trebaju izdvojiti metali. Pepeo sadrži teške metale čija koncentracija nakon termičke obrade može biti povećana. Leteći pepeo potrebno je dodatno obraditi i stabilizirati nakon čega ga je potrebno odložiti na odlagalište ili odlagalište opasnog otpada.¹⁶

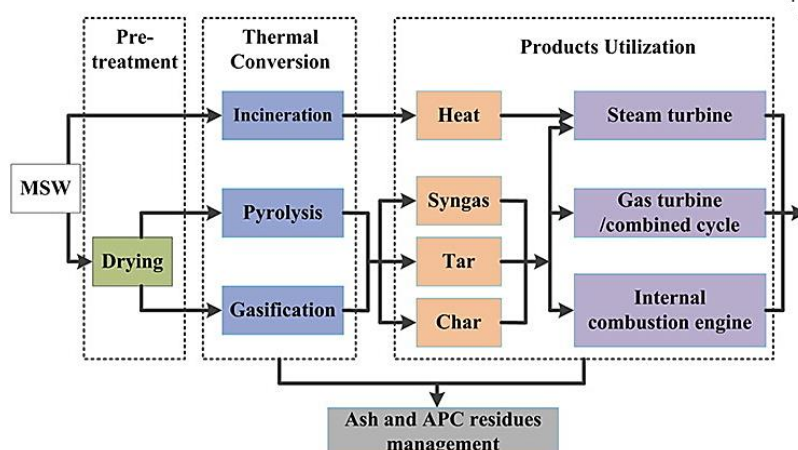
Prema Magenaneli i sur (2020) 50% otpada koji se spaljuje u WtE postrojenjima (Waste-to-Energy, energane na otpad) u Europi potječe iz biomase, a 87% današnjih postrojenja u Europi koristi tehnologiju pokretne rešetke, za spaljivanje velikih količina mokrog miješanog otpada, ponajprije jer ne zahtijeva značajnu prethodnu obradu poput usitnjavanja i smanjenja veličine. No troškovi održavanja mogu biti veći. U svome radu navedeni autori navode kako bi se energija od otpada trebala koristiti za valorizaciju energije prisutne u onim frakcijama otpada koji se ne mogu reciklirati. Stoga su razvili pouzdan i fleksibilan model koji može reproducirati dinamičko ponašanje komore za izgaranje i kotla u WtE postrojenjima, uzimajući u obzir fluktuacije u svojstvima otpada i operativnim postavkama postrojenja. Rezultati do kojih su došli pokazuju kako povećanje vlažnosti otpada s 25% na 35% rezultira povećanjem vremena reakcije proizvodnje pare od 21 minute, što potvrđuje kako svojstva otpada u velikoj mjeri utječu na vrijeme odziva.

Bisinella i sur. (2021) zaključuju da uvođenje sustava hvatanja i skladištenja ugljika (CCS) ukazuje na značajna poboljšanja utjecaja na klimatske promjene bez značajnih kompromisa u drugim kategorijama utjecaja. Svojim LCA modelom ukazuju na velike uštede u učincima spaljivanja otpada na klimatske promjene, CCS-om kao dopunom postojećim postrojenjima za spaljivanje komunalnog otpada. MEA tehnologiju (monoetanolamin) navode kao jedinu dokazana primjena za hvatanje CO₂ iz dimnih plinova. Uklanjanje CO₂ iz MEA i njeno vraćanje za recirkulaciju zahtijeva značajnu količinu pare, što dovodi do pada proizvodnje električne energije 250-325 kWh/toni otpada te samim time energetske gubicima, dok varijacije u povratu topline ovise o prisutnosti kondenzacije dimnih plinova. Navode kako uz pretpostavku o 85% učinkovitosti hvatanja ugljika i sastavu tipičnog otpada primljenog u energanu, CCS poboljšava utjecaj energane na klimatske promjene za 700 kg CO₂/toni mokrog otpada. Zaključuju kako bi izmjena postojećih energana komunalnog otpada sa sustavima za hvatanje i skladištenje ugljika doprinijela značajnim poboljšanjima u utjecaju na klimatske promjene.

Prema Wienchol i sur. (2020.) suvremene energane na otpad moraju se uz pridržavanja propisa o zaštiti okoliša suočiti i izazovima dobivanja povjerenje i prihvaćanja javnosti. Primjer toga je kombinirano postrojenje u Kopenhagenu koje ima prostor za rekreaciju, zid za penjanje, vidikovac i skijašku stazu. Kako bi ispunile ekološke zahtjeve postrojenja trebaju biti planirana i projektirana u skladu sa smjernicama dokumenta “Najbolje dostupne tehnike (BAT) za spaljivanje otpada”. *Kako bi se osiguralo potpuno izgaranje otpada, Europski parlament je uveo Direktivu, koja zahtijeva da sva postrojenja drže plinove spaljivanja ili suspaljivanja najmanje 2 sekunde na temperaturi od najmanje 850°C, dok je proces spaljivanja opasnog otpada sa sadržajem većim od 1% halogeniranih organskih tvari izraženih kao klor mora se pojaviti na 1100°C najmanje 2 sekunde. Kako bi se zajamčili odgovarajući uvjeti, postrojenje treba biti opremljeno pomoćnim plamenicima.*

Emisije dioksina velik su argument protivnika energana na otpad. Osamedestih godina prošlog stoljeća u dimnim plinovima detektirani su dioksini, neki od kojih iznimno toksični, što je dovelo do spoznaje da su produkt svakog sagorijevanja. Nakon toga provedena su mnogobrojna istraživanja postrojenja za termičku obradu otpada, dok je istraživanjem u Italiji utvrđeno da dimni plinovi iz postrojenja za termičku obradu otpada imaju vrlo mali utjecaj na lokalnu kakvoću zraka u smislu godišnje i prosječne koncentracije po satu. Još od kraja prošloga stoljeća u Europi su usvojena stroga ograničenja emisije dioksina i plinovite emisije štetnih tvar. Moderna postrojenja za termičku obradu otpada podliježu strogim ograničenjima emisija i stalnom nadzoru sukladno Direktivi 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća o industrijskim emisijama, čime su emisije dioksina iz modernih energana na otpad 10 % niže od graničnih emisija. ^{48, 58}

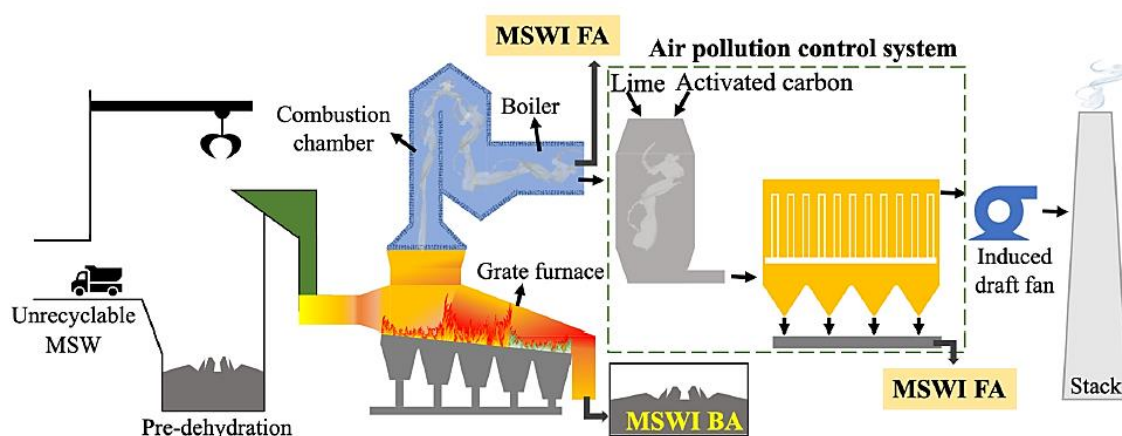
Waste-to-Energy Technologies



Slika 5. Usporedba produkata izgaranja, pirolize i rasplinjavanja. (Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718301888>)

5.2.1. SPALJIVANJE/ IZGARANJE

Najčešće korištena i najstarija tehnologija termičke obrade otpada je spaljivanje, odnosno izgaranje. To je proces degradacije tvari uz posebno definiranu količinu kisika u svrhu potpune oksidacije kisika. Maksimalne temperature u procesu su obično iznad 1000 °C. Procesom se gotovo cijela kemijska energija sadržana u otpadu koji predstavlja gorivo za energanu pretvara u toplinsku energiju. Današnje energane trebaju imati pretvorbu topline u električnu energiju kako bi rad energane bio optimalnije ekološki i ekonomski ¹⁵ opravdan, te su to najčešće kogeneracijska postrojenja/energane s izgaranjem uz korištenje energije. ¹⁶ Toplina dimnih plinova iskorištava se za proizvodnju pare za pogon turbina i za proizvodnju električne energije i toplinske energije. Otpad (gorivo) u potpunosti oksidira u ugljikov dioksid i vodenu paru, ostavljajući samo mali dio ugljika u pepelu. U dimnim plinovima ne ostaje nepretvorena kemijska energija, dok u pepelu ostaje vrlo mali udio nepretvorene kemijske energije. ¹⁵ Osnovne vrste izgaranja su izgaranje na rešetki, izgaranje u fluidiziranom sloju, te izgaranje u rotacijskoj peći. Spaljivanjem je moguće obraditi otpad iz raznih izvora pa se koristi za obradu komunalnog otpada (obrađenog i neobrađenog) (slika 6), neopasnog industrijskog otpada i ambalaže, opasnog otpada te muljeva i infektivnog otpada. ¹⁶



Slika 6. Shematski prikaz energane na otpad (Izvor: Zhang Y. (2021). Treatment of municipal solid waste incineration fly ash: State-of-the-art technologies and future perspectives)

Prosječna ogrjevna vrijednost otpada iznosi 10MJ/kg, no velik utjecaj imaju nacionalni sustavi odvojenog prikupljanja otpada. Izdvajanje velikog djela plastične mase uvelike smanjuje ogrjevna vrijednost otpada. ¹⁶

Glavne prednosti izgaranja su trajno smanjivanje količine obrađenog otpada za 2/3, dobivanje energije iz proizvoda koje više ne trebamo i djelomična kompenzacija troškova te manji utjecaj na okoliš u odnosu na odlaganje otpada na odlagališta bez prethodne obrade. ¹⁶

Visoki troškovi investicija i emisije štetnih tvari u atmosferu dimnim plinovima najveći su nedostaci ove tehnologije.³⁴ Izgaranje je ujedno i najmanje poželjna metoda termičke obrade upravo u pogledu utjecaja na okoliš, stoga se sve više znanja ulaže u sustave za pročišćavanje dimnih plinova i čestica te se vrše češće kontrole emisija plinova u atmosferu. U nekim zemljama (Danska, Švedska) spaljivanje izravno utječe na stopu recikliranja.¹⁶

Chen i sur. (2022) raspravljaju o primjeni recikliranja ostataka dobivenog izgaranjem komunalnog otpada (MSWI) u građevinskim materijalima. U radu se navodi kako neke europske zemlje koriste gotovo 50% ili više pepela u izgradnji cesta ili kao sirovinu za proizvodnju građevinskog materijala. Ostaci spaljivanja uz štetne i otrovne tvari sadrže i vrijedne komponente kao što su SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , MgO , koje su važne komponente građevinskih materijala. Nakon obrade ostaci su obično korišteni kao dodatni materijal, pružajući bolju izvedbu pripremljenih proizvoda u skladu s relevantnim standardima. Sam proces takve pripreme građevinskih materijala proizvodi malo otpada što daje niže vrijednosti u odnosu granične vrijednosti relevantnih standarda utjecaja na okoliš. Kako bi se ostaci koristili u velikom opsegu potrebno je učiniti više pokušaja da se ostaci izgaranja komunalnog otpada koriste kao primarna sirovina, a ne kao aditivi. Navode kako unatoč pozitivnim rezultatima treba obratiti pozornost na dugotrajno ponašanje ispiranja i mehanizam ispiranja kontaminata.

Bruno i sur. (2021) istražili su energetske, ekološke i ekonomske isplativost obrade pepela s dna. Ekološku procjenu valorizacije pepela s dna činile su energetska bilanca i emisije stakleničkih plinova, u usporedbi s vađenjem i proizvodnjom građevinskih agregata, stakla i metala iz sirovina. Rezultat energetske bilance bila je ušteda energije zbog uporabe sekundarnih sirovina, a procjenom emisija stakleničkih plinova pokazalo se kako uporaba sekundarnih sirovina iz pepela s dna ima puno manji utjecaj na okoliš od rudarenja i prerade prirodnih resursa. Ekonomska isplativost bila je potaknuta recikliranjem željeza i bakra i izbjegavanjem naknada za odlaganje vrijednih materijala. Radom potvrđuju strateški značaj optimizacije uporabe materijala iz MSWI pepela s dna te smatraju kako bi pepeo s dna mogao imati važnu ulogu u ispunjavanju europskih politika za kružno gospodarstvo.

Najčešći načini iskorištavanja pepela s dna su izgradnja odlagališta, izgradnja cesta, betonski agregat i cementni klinker. Postoji dugogodišnje iskustvo za primjenu u cestogradnji. U proizvodnji cementnog klinkera pepeo s dna zamjenjuje prirodni, iskopani materijal, ali još uvijek zahtijeva loženje u rotacijskoj peći.

Ashaf i sur. (2019) istražili su mogućnost proizvodnje eko cementa od pepela s dna, letećeg pepela i APC vapna pri temperaturi sinteze od $1100\text{ }^\circ\text{C}$ sa sposobnošću postizanja strukturne čvrstoće vezanja nakon aktivacije s ugljikovim dioksidom. Prema njihovim istraživanjima kemijskog sastava ostatka nakon spaljivanja komunalnog otpada, vapno dobiveno tretiranjem

onečišćenog zraka prije ispuštanja kroz dimnjak može služiti kao izvor kalcija, a pepeo s dna kao izvor silicija. Aktivacija primjenom karbonizacije osim poboljšavanja čvrstoće također veže opasne materijale unutar produkta što može doprinijeti načelu cementne stabilizacije otpada. Beton napravljen od eko cementa mogao bi se aktivirati ugljikovim dioksidom iz emisijskih dimnjaka, čime smanjuje njegovu emisiju u atmosferu. U usporedbi s običnim betonom proizvodi od karbonatnog betona mogu imati bolju trajnost, stabilnost i čvrstoću. Rad naglašava očuvanje energije, resursa i okoliša korištenjem ostataka spaljivanja komunalnog otpada, smanjivanjem emisije ugljika od sekvestracije CO₂ aktivacijom eko-cementa putem karbonizacije te pretvaranjem otpada u proizvode s dodatnom vrijednošću. Zaključuju kako bi se umjesto u cementarama eko cement mogao proizvoditi u samim spalionicama čime bi proces spaljivanja otpada bio zatvoreni krug bez ostataka. No upućuju kako su potrebna još dodatna istraživanja zbog varijacija u sastavu otpada prema godišnjim dobima te istraživanja trajnosti eko-betona, uključujući potpunu procjenu utjecaja na okoliš.

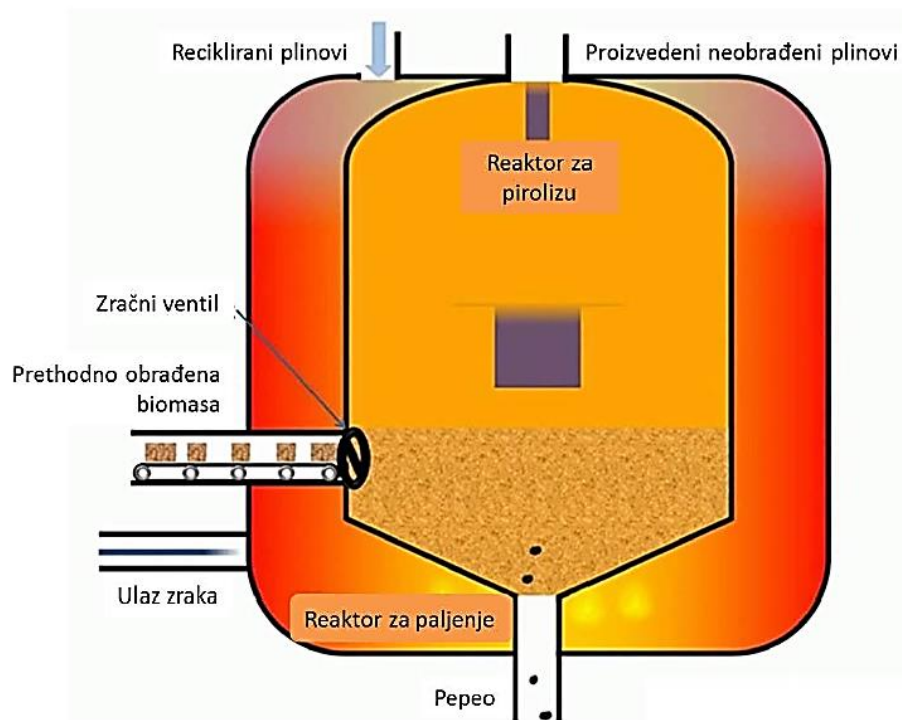
5.2.2. PIROLIZA

Piroliza je termičko-kemijski proces degradacije organskog sadržaja bez prisustva kisika (osim kisika prisutnog u gorivu) pri povišenim temperaturama. Proces je ireverzibilan, a rezultira stvaranjem sintetskog plina³⁴ (glavne tvari su ugljikov monoksid, vodik, metan te viši ugljikovodici),¹⁶ pare koja se kondenzacijom može pretvoriti u tekućinu, i krutim ostacima koji sadrže ugljen i pepeo bogat ugljikom koji se može koristiti za grijanje. Piroliza je prvi kemijski proces koji se odvija pri gorenju. Odvija se na temperaturama od 300 do 800°C što je relativno nisko naspram izgaranja i rasplinjavanja³⁵ što rezultira s manje isplinenog ugljika i drugih onečišćivača kao što su teški metali i prekursori za stvaranje dioksina. Piroliza, kao i rasplinjavanje stvara uvjete u kojima se ciljani otpad pretvara u plin uz smanjenje volumena otpadnih plinova za pročišćavanje. Dobiveni pirolitički plin se spaljuje, a kruta faza može se¹⁶ spaliti ili prvo rasplinuti, a zatim slijedi spaljivanje nastalih plinova. Neto ogrijevna moć³⁴ sintetskog plina dobivenog pirolizom veća je od onog dobivenog rasplinjavanjem. No manje kemijske energija goriva pretvara se u toplinsku energiju nego pri rasplinjavanju. Dimne plinove moguće je uvesti u generator para¹⁶ za grijanje ili pokretanje turbine spojene s električnim generatorom.³⁴ Princip reakcije pirolize prikazan je na slici 7.

Moguće primjene pirolize su uz već navedeno pretvaranje biomase u sintetički plin također i u¹⁶ kemijskoj industriji, za izradu PVC-a pretvaranjem etilen diklorida u vinil klorid, za pretvaranje drva u ugljen, aktivni ugljen, metanol i druge kemikalije te u postupcima kuhanja (pečenje, prženje, roštiljanje i karameliziranje).³⁵ Za razliku od izgaranja primjenjuje se za manje kapacitete te se može koristiti za oporabu kemijske vrijednosti otpada.¹⁵ Obično se koristi u kombinaciji s nekom od metoda izgaranja otpada (npr. izgaranje u rotacijskim pećima) i rasplinjavanjem kao dodatni segment za kvalitetnije zbrinjavanje (manja temperatura rada,

stvara manje otpadnih tvari te pridonosi smanjenju volumena) i potpuno iskorištavanje energetske vrijednosti.¹⁶

Dimni plinovi iz pirolize zahtijevaju manje čišćenja zbog smanjenja volumena dimnih plinova, a onečišćivači koji nisu isplinjeni zadržani su u krutim ostacima koji zahtijevaju ekološki prihvatljivo zbrinjavanje. U krutom ostatku može biti do 40% ugljika što je značajan udio ulazne energije. Zbog toga je iskorištavanje energije iz krutih ostataka važno za energetske učinkovitost.¹⁵



Slika 7. Princip reakcije pirolize (Izvor: Đurđević D.(2015))

5.2.3. RASPLINJAVANJE

Rasplinjavanje je u mnogim zemljama još nova tehnologija i nije previše zastupljeno no predstavlja vrlo siguran način rješavanja problema otpada dobivanjem energije po niskoj cijeni i iz različitih vrsta sirovina.³⁵ Predstavlja termokemijski postupak degradacije tvari u prisustvu kisika. Razlikuju se dvije vrste rasplinjavanja, termičko s djelomičnim izgaranjem na temperaturama iznad 750°C (bez plazme) i rasplinjavanje plazmom na temperaturama iznad 1.600°C.³⁸ Kao sredstvo za rasplinjavanje koristi se kisik, zrak, vodena para ili ugljikov dioksid, koji se dovodi u reaktor s gorivom bogatim ugljikom³⁴ gdje služi kao izvor kisika i/ili kao plin za uklanjanje produkata reakcije s mjesta reakcije. Pri nedovoljnoj količini kisika za proces

rasplinjavanja gorivo oksidira u potpunosti. Kao produkti nastaju sintetski plin čiji su glavni sastojci vodik, ugljikov monoksid i metan te kruti ostatak negorivog materijala s malom količinom ugljika.³⁸

Nastao sintetski plin pogodan je za izgaranje u plinskim motorima i plinskim turbinama gdje proizvodi električnu energiju, za korištenje u postrojenjima za kogeneraciju gdje se koristi kao zamjena fosilnim gorivima u ložištima te kao sirovina za sintezu različitih tekućih ugljikovodika u proizvodnji kemikalija i tekućih goriva.^{15, 35, 38}

Da bi se sintetski plin upotrijebio kao gorivo za dobivanje električne i toplinske energija, ulazna goriva tvar treba biti što više homogena što zahtjeva predobradu komunalnog otpada. Sintetski plin sadrži jednu trećinu prirodnog plina koji se lako skladišti, prenosi i ubrizgava u mrežu cijevi za prirodni plin. Kruti ostatak, odnosno šljaka zbog visoke temperature procesa biva vitrificirana te se koristi se u izgradnji cesta.^{34, 35}

Količine i izlazni produkti razlikuju se ovisno o primijenjenoj tehnologiji te tipu i kvaliteti ulazne sirovine, a za dodatnu obradu krute faze komunalnog otpada rasplinjavanje se može primijeniti i nakon procesa pirolize.³⁴

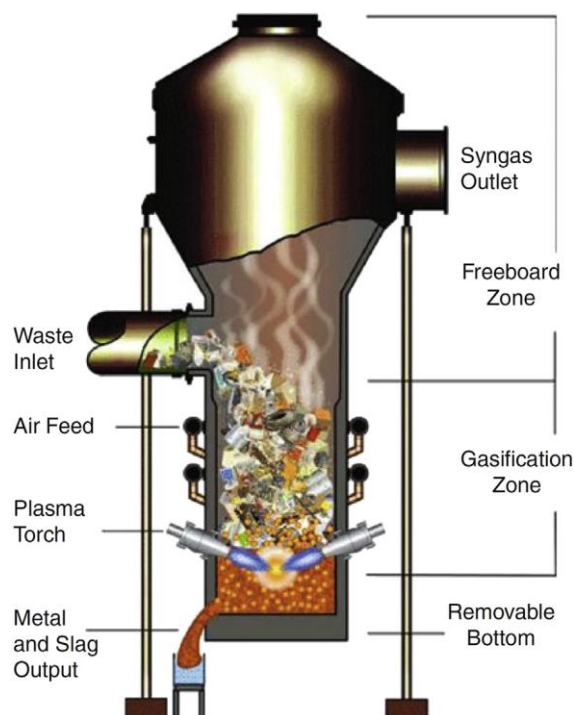
Rasplinjavanje plazmom (slika 8) karakterizira temperatura procesa od 5.000 do 15.000 °C koja dovodi do potpunog razlaganja organskih i taljenja anorganskih komponenti otpada. Plazma može biti korištena za rasplinjavanje organske komponente ili za pročišćavanje nastalog plina nakon spaljivanja.³⁴ Na tako visokim temperaturama sav otpad uključujući metale, otrovne materijale i silicij se topi u sastavne elemente, u obliku neotrovne smole. Plastika, organski i sintetski spojevi, otrovni plinovi razgrađuju se na svoje osnovne atome ugljika, vodik, kisik i ostalih elementa koji se brzo rekombiniraju, stvaraju vodik i ugljikov monoksid čime se dobiva sintetički plin. Svi metali dobiveni rasplinjavanjem sigurni su za vraćanje u metalurgijsku industriju. Najvažnija karakteristika rasplinjavanja plazmom je da nema nastajanja³⁵ štetnih plinova dioksina i furana jer se razgradnja organskih molekula događa u plinovitoj fazi što u potpunosti eliminira štetne emisije. Anorganske tvari se nakon taljenja vitrificiraju te koriste kao građevinski materijal ili se odlažu na za to predviđena mjesta.³⁴ Rasplinjavanjem plazmom dobiva se čisto goriva, nema stvaranja neugodnih mirisa i štetnih pepela.³⁵

Predstavlja najodrživiju tehnologiju dobivanja energije iz otpada za obradu miješanog komunalnog otpada koji sadrži više anorganske sastavnice jer uz velike količine topline i energije proizvodi i više sekundarnih goriva. Unatoč višim troškovima čišćenja plina nego pri spaljivanja otpada rasplinjavanje je obećavajuća metoda gospodarenja otpadom.³⁵

Prednosti rasplinjavanja koje navode Kaur i sur. (2021) su sljedeće:

- a. Zbog visoke temperature odvijanja procesa koja rastavlja veze do najosnovnijih elemenata može se koristiti bilo koja vrsta otpada

- b. Rasplinjavanje plazmom odvija se u potpuno zatvorenom sustavu stoga se pepeo, prašina, ostaci i otrovni plinovi ne oslobađaju se u vanjski prostor okruženje. Dobiveni metali vraćaju se u metaluršku industriju, dobivena šljaka koristi se u cestovnoj i cementnoj industriji. Neotrovni plinovi skladište se u plinskim bocama i mogu se koristiti kao gorivo i za proizvodnju električne energije
- c. Zbog zatvorenog kruga provođenja procesa rasplinjavanjem plazmom može se postići potpuno i ireverzibilno propadanje opasnih i otrovnih spojeva, kao i bakterija i smrtonosnih virusa koji štete ljudskom zdravlju
- d. Omjer smanjenja količine otpada nakon plazma rasplinjavanja je 300:1, što je mnogo značajnije smanjenje od spaljivanja čiji je omjer 5:1 zbog nastajanja velike količine pepela
- e. Rasplinjavanjem plazmom može obraditi 10–500 tona otpada
- f. Budući da elektronički otpad nije biorazgradiv može da se stabilizirati samo rasplinjavanjem plazmom
- g. U usporedbi sa električnom energijom koja se dobiva procesom izgaranja, električna energija proizvedena procesom rasplinjavanja mnogo je jeftinija i učinkovitija.



Slika 8. Primjer plazma rasplinjavanja. (Izvor: Perkins G., 2020. Production of electricity and chemicals using gasification of municipal solid wastes)

5.3. STANJE OTPADA U EUROPI

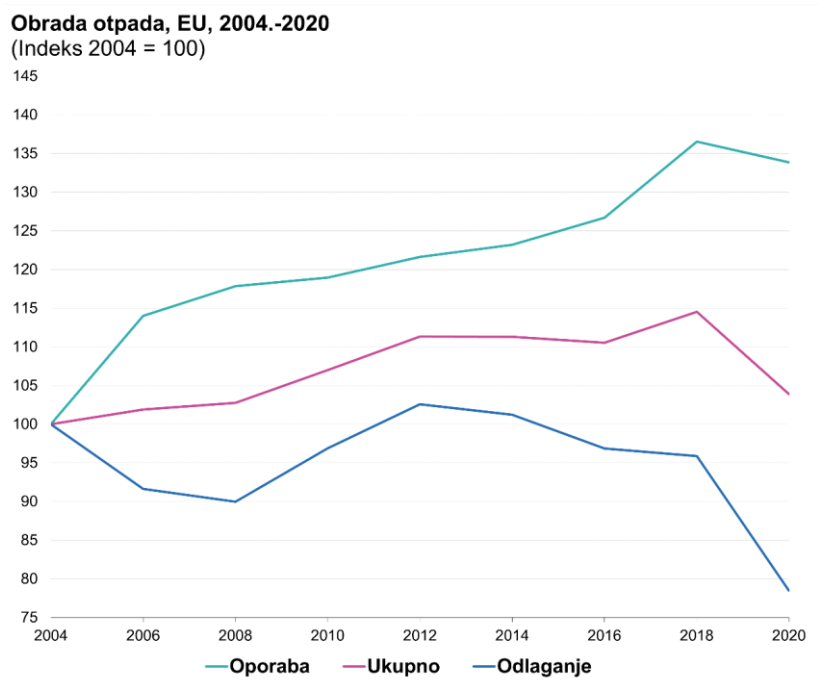
Europski standardi zaštite okoliša među najvišima su u svijetu. Potiče se zeleno i kružno gospodarstvo, zaštita prirode te očuvanje zdravlja i kakvoće života stanovnika EU-a. Načela na kojima se temelji politika zaštite okoliša su načela preventivnog djelovanja i uklanjanja onečišćenja na samom izvoru, načela opreznosti i načela „onečišćivač plaća“.⁴ Europskim zelenim planom želi se smanjiti emisija stakleničkih plinova za najmanje 55 % do 2030. u usporedbi s razinama iz 1990., u cilju postizanja klimatske neutralnosti do 2050. To se planira postići proizvodnjom čišće energije zahvaljujući tehnološkim istraživanjima i inovacijama kao i ulaganjima u obnovljene, energetske učinkovite zgrade.²² Zakonom EU-a o gospodarenju otpadom Direktivom o izmjeni (EU) 2018/851 cilj je smanjiti nastanak otpada od hrane po glavi stanovnika za 50 % do 2030. godine na maloprodajnoj i potrošačkoj razini i u proizvodnim i opskrbnim lancima. *Također se postavljaju novi ciljevi za recikliranje komunalnog otpada: do 2025. godine najmanje 55 % mase komunalnog otpada morat će se reciklirati. Taj će se cilj povećati na 60 % do 2030. i 65 % do 2035. godine.*

U cilju zaštite okoliša i zdravlja ljudi te pomoći prijelaza EU-a na kružno gospodarstvo, postavljeni su ciljevi poboljšanja gospodarenja otpadom, poticanja inovacija u recikliranju te ograničavanju odlaganja otpada. *Direktivom (EU) 2018/850 uvode se ograničenja za odlaganje od 2030. za sav otpad koji je pogodan za recikliranje ili za druge postupke materijalne i energetske uporabe te se nastoji ograničiti udio odloženog komunalnog otpada na 10 % do 2035.*

Unatoč tome Europa i dalje stvara previše otpada, a premalo reciklira. Iz godine u godinu stvara se sve više otpada iz proizvodnje, građevinarstva, elektronike, tekstila, otpada od hrane i dr. Upravo iz tog razloga inzistira se na uspostavi kružnog gospodarstva, sprječavanjem stvaranja otpada i poboljšanjem gospodarenja otpadom te zadržavanjem vrijednih resursa u gospodarstvu. Kao što je navedeno u poglavlju gospodarenja otpadom, EU teži na redu prvenstva gospodarenja otpadom, prvenstveno sprječavanjem stvaranja otpada i držanjem proizvoda u uporabi što je duže moguće te su postavljeni stroge standarde za njihovo odgovorno zbrinjavanje nakon što postanu neoporabljivi.²⁴

Iako nedovoljno naspram količine proizvedenog otpada, uočava se napredak prema sve većem recikliranju i manjem odlaganju otpada (graf 1). Ambicije Europe za kružnim gospodarstvom zahtijevaju pravovremenu opskrbu proizvođača recikliranim sirovinama dobre kvalitete. Prema izvješću EEA „Istraživanje europskih tržišta sekundarnih sirovina” od najčešćih materijala za recikliranje, samo aluminijski, papir i staklo imaju dobro funkcionirajuća sekundarna tržišta, dok drvo i tekstil među izazovima imaju nedostatak standardizacije i konkurencija s novim materijalima.²³

Količina otpada koja se godišnje proizvede po europskom građaninu iznosi 4,8-5 tona. Od toga se samo 38% otpada reciklira, oko 49% komunalnog otpada se reciklira, dok u nekim zemljama čak preko 60% komunalnog otpada završava na odlagalištima.^{24, 28}



Graf 1. Obrada otpada u Europskoj Uniji, 2004-2020. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=hr)

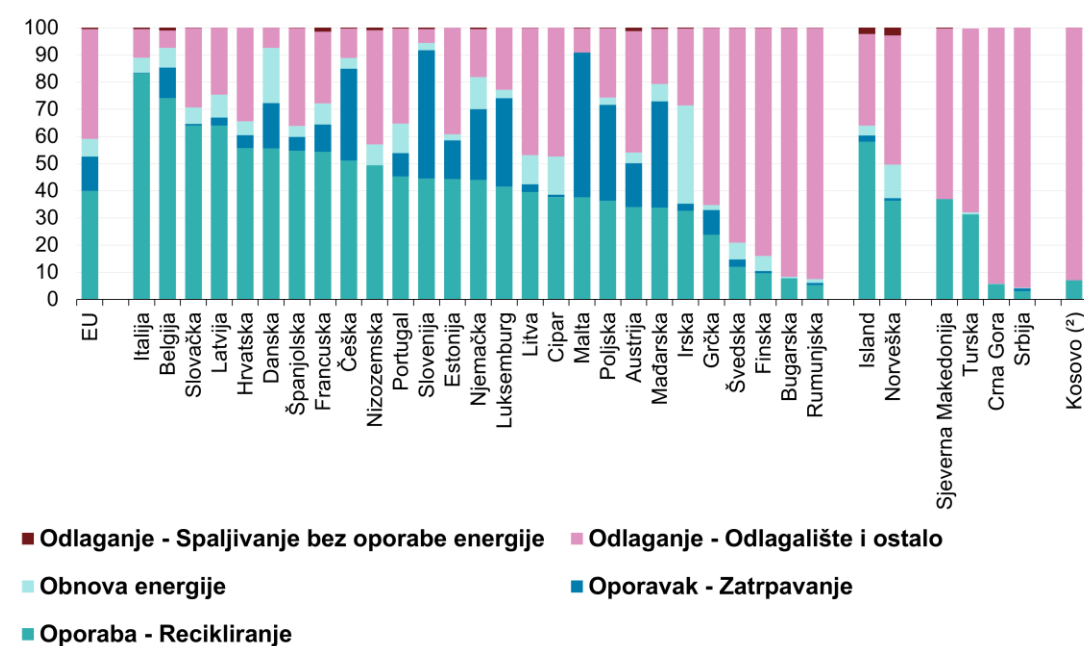


Graf 2. Proizvodnja otpada po gospodarskim djelatnostima i kućanstvima, EU, 2020. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=hr)

Prema podacima Eurostata (graf 2), 2020. godine najviše se otpada proizvelo građevinskim radovima (37,5%), zatim vađenjem ruda i kamena (23,4%), kroz obradu otpada i voda (10,6%), a komunalnog otpada je proizvedeno 9,4%. Također uzeti u obzir na pandemiju 2020. godine koja je onemogućila pravilan i kvalitetan rad svim sektorima gospodarstva.²⁸

Prema vrsti uporabe i zbrinjavanja otpada (graf 3) u 2020. godini EU je najveći dio otpada odložila na odlagalištima (40,4%), uporabila i reciklirala 39,9%, 12,7% se zatrpao, a samo 6,5% je iskorišten za dobivanje energije. Vidi se veliki nesrazmjer među načinima odlaganja, gdje zemlje južne Europe još uvijek baziraju gospodarenje na odlagalištima. Najveće količine odložile su Srbija, Crna Gora, Rumunjska, Bugarska, Kosovo, no vrlo blizu njihovih vrijednosti su i Finska i Švedska što ukazuje na moguću nepravilnost u podacima. Italija, Belgija, Latvija, Island i Slovačka prednjače u recikliranju dok Malta, Slovenija, Mađarska i Češka velik ili najveći dio zatrpavaju.²⁸

Obrada otpada prema vrsti uporabe i zbrinjavanja, 2020
(% ukupnog tretmana)

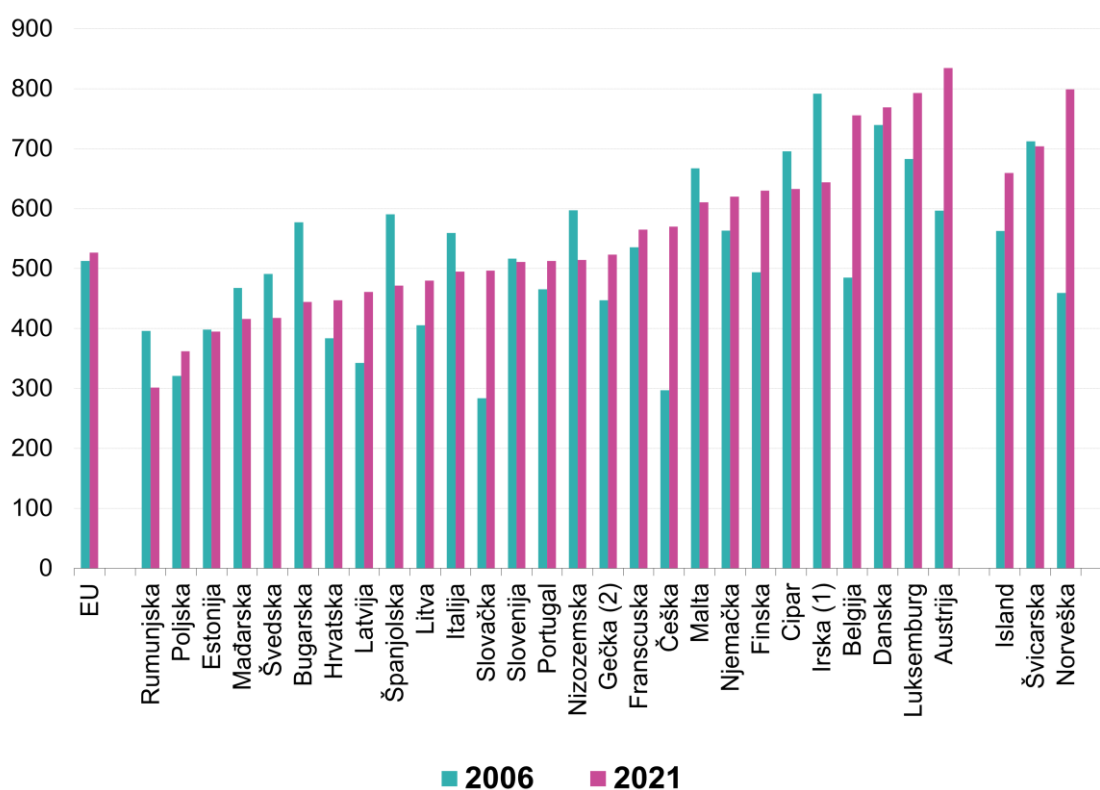


Graf 3. Obrada otpada prema vrsti uporabe i zbrinjavanja otpada, 2020. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=hr)

Komunalni otpad

Prema podacima Eurostata količina komunalnog otpada po stanovniku ostala je relativno ista, dapače, povisila se s 513 na 527 kg. Iz grafikona 4 se može očitati kako je 12 zemalja 2021. godine uspješno smanjilo količinu proizvedenog komunalnog otpada naspram 2006. godine, posebno Irska, Bugarska i Španjolska. Većina zemalja zabilježila porast količine proizvedenog komunalnog otpada u 2021., od kojih su vodeće Norveška, Češka, Belgija, Austrija i Slovačka. 2022. količina po stanovniku je ponovno bila 513 kg, a 48% otpada se recikliralo i kompostiralo.²⁷

Proizveden komunalni otpad, 2006 i 2021 (kg po stanovniku)

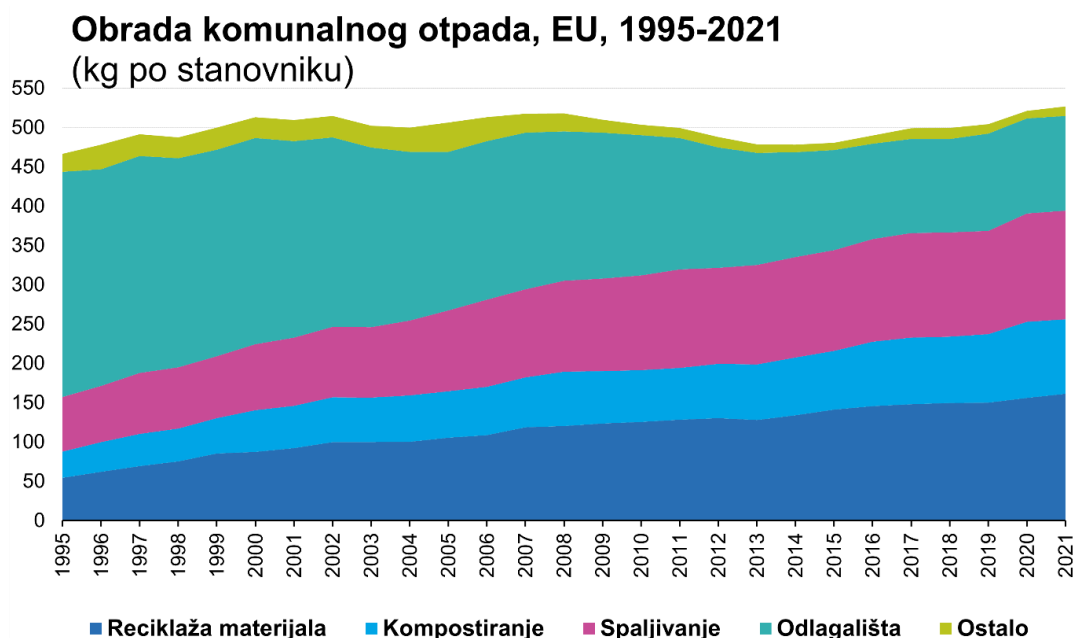


Graf 4. Proizveden komunalni otpad, 2006 i 2021. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=hr)

Za razdoblje 1995. do 2021. zabilježeno je dvostruko manje odlaganja otpada na odlagališta, skoro trostruko više materijala se reciklira i oporablja, dvostruko povećanje je i u termičkoj obradi spaljivanjem, a trend porasta zabilježen je i za kompostiranje, koje se trostruko veće (tablica 1 i grafikon 5). Ostali načini zbrinjavanja otpada su se smanjili.²⁷

	1995. (mil. tona)	2021. (mil. tona)	Razlika 1995. i 2021. u %
Odlagališta	286	121	-57,69
Spaljivanje	70	138	97,14
Reciklaža materijala	54	161	198,1
Kompostiranje	33	95	187,9
Ostalo	23	12	-47,83

Tablica 1. Obrada komunalnog otpada, EU. 1995 i 2021. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)



Graf 5. Obrada komunalnog otpada, EU. 1995 i 2021. (Izvor: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics)

Iako se više od 90% otpada proizvedenog u EU obrađuje u zemlji, značajne količine još uvijek se izvoze u druge zemlje, uglavnom radi recikliranja. Željezo i čelik najistaknutiji su materijali koji se uvoze i izvoze iz EU. 55% željeznog i obojenog metalnog otpada izvozi se u Tursku, a 15% papirnato otpada u Indiju. Postoje naznake da se u mnogim slučajevima otpadom izvezenim izvan EU-a ne upravlja optimalno, što potencijalno stvara još više onečišćenja.²⁷

Prakse gospodarenja otpadom

Dok u zemljama sjeverno-zapadne Europe odlaganje otpada gotovo da ne postoji isto se ne može reći i za jug Europe. Švedska, Njemačka, Belgija, Finska i Danska odlažu manje od 1% komunalnog otpada, gdje uz reciklažu i oporabu energane na otpad igraju važnu ulogu u gospodarenju otpadom.⁴

Kao najbolji primjer „društva recikliranja“, Švedska, sa populacijom od 9,6 milijuna stanovnika reciklira oko 1,5 milijardi boca i limenki (2013. godina) i stvara oko 418 kg otpada po stanovniku, što je ispod prosjeka EU.⁴ Čak 99,3% cjelokupnog kućnog otpada se reciklira ili oporabi kao energija. Otpad obrađuje integriranim sustavima i različitim metoda obrade, ovisno o prirodi otpada kako bi se omogućilo korištenje otpada kao resursa. Za sav otpad koji se ne može reciklirati ni na koji drugi način koristi se spaljivanje. Visokim standardima zaštite osiguravaju da to bude ekološki sigurna i učinkovita metoda za oporabu energije iz otpada, kojom se osigurava i daljinsko grijanje i električnu energiju. Kao resurs koriste se sortirani otpad i ostatci od drvne industrije.⁵⁹

Švedska, kao zemlja Nordijske regije u kojoj je veći dio godine hladno ima potrebu za visokofunkcionalnim sustavom grijanja i električne energije, zbog čega koristi preostali otpad kao gorivo za energane koje proizvode toplinu i električnu energiju. Prema Švedskoj udruzi za gospodarenje otpadom, kapacitet energana na otpad je otprilike 21% veći od količine zaostalog otpada koji se danas proizvodi u Švedskoj. Iz toga razloga svake godine uveze više od 2,5 milijuna tona otpada, uglavnom iz Norveške i Ujedinjenog Kraljevstva.⁵¹

Postrojenje Dåva 1 (slika 9) jedno je od energetske najučinkovitijih i ekološki najprihvatljivijih postrojenja na svijetu, a kao glavno gorivo koristi otpad. Švedsko postrojenje proizvodi električnu energiju, centralno grijanje i daljinsko hlađenje iz sortiranog otpada i ostataka iz drvne industrije.⁵⁹



Slika 9. Postrojenje Dåva 1. (Izvor: <https://www.umeaenergi.se/varme/miljo/dava-1-och-2>)

Postrojenje za reciklažu u Högbytorpu (slika 10), Švedskoj, sastoji se od dvije zgrade bioplinsko postrojenje i kogeneracijsko postrojenje. Bioplinsko postrojenje koje razgrađuje ostatke hrane i drugi organski materijal iz kojih nastaje bioplina, biognojivo i kompost. U kogeneracijskom postrojenju energija se obnavlja iz otpada spaljivanjem, za proizvodnju lokalne električne energije i daljinskog grijanja, gotovo sav metal koji ostane nakon izgaranja može izvući i ponovno upotrijebiti. Tvari štetne za zdravlje nakon spaljivanja odlažu na siguran način i smanjuju daljnje širenje u društvu.⁵⁹



Slika 10. Postrojenje za reciklažu u Högbytorpu (Izvor: <https://www.ncc.se/vara-projekt/kretsloppsanlaggning-upplands-bro/>)

Belgija je jedna od zemalja koja je još 1998. godine zabranila odlaganje na odlagalištima i spaljivanje određenih vrsta otpada, uvela visoke poreze na odlaganje otpada i spaljivanje te uspješno provodi načelo „onečišćivač plaća“. To je omogućilo da reciklira oko 60% komunalnog otpada, dok 40% energetski obrađuje u električnu i toplinsku energiju. Energane interno koriste dio energije, no energijom također opskrbljuju nacionalnu mrežu električne struje i grijanja, koja obuhvaća industrije, bolnice i kućanstva. Približno 350.000 kućanstava bude opskrbljeno električnom energijom. Nakon termičke obrade 20% otpada ostane u obliku pepela s dna koji se većinom reciklira i koristi pri gradnji prometnica.⁷

Najpoznatija bečka energana na otpad, MVA Spittelau (slika 11) godišnje prerađuje 260.000 tona otpada, čime kao drugi najveći proizvođač toplinske energije za mrežu daljinskog grijanja grada Beča grijanjem na ekološki prihvatljivi način opskrbljuje 60.000 kućanstava, a strujom oko 50.000 kućanstava. U pogonu je od 1971. godine, raspolaže najmodernijom tehnologijom čišćenja dimnih plinova na svijetu, a godišnji prosjek emisija CO₂ je gotovo 90% ispod graničnih vrijednosti. Smještena je u samom centru grada i zbog svoj vanjskog izgleda turistička je atrakcija koju posjeti oko 10.000 posjetitelja godišnje.^{18, 56}



Slika 11. MVA Spittelau u centru Beča (Izvor: <https://plastics-themag.com/The-Spittelau-incinerator:-symbiosis-of-technology-ecology-and-art>)

Neke od zemalja EU, kao Švedska i Danska, stagniraju u recikliranju otpada unatoč navedenim niskim postocima odlaganja otpada. Razlog tome su upravo energane na otpad, zbog čega Danska sada stavlja izvan pogona 30% od svojih 26 energana na otpad.⁵⁰

Najstariji nizozemski grad, Nijmegen, primjer je kako snažno uključivanje građana ima visoku učinkovitost u provođenju gospodarenja otpadom. Nijmegenova dugoročna predanost postizanju ambicioznih ciljeva recikliranja uspjeli su smanjiti proizvodnju otpada iz godine u godinu. Svake godine provode kampanje za podizanjem javne svijesti, a 2013. godine kampanja usmjerena na organski otpad omogućila je građanima posjet lokalnom postrojenju za spaljivanje i fermentaciju gdje su uživo vidjeli procese koji stoje iza pretvorbe sirovog otpada u kompost i bioplin te uz novo razumijevanje dobili i kompost.²⁰

Mišljenje javnosti

2024. godine provedena je anketa o stavovima Europljana prema okolišu. 78% Europljana slaže se da okolišni problemi imaju izravan utjecaj na njihov život i zdravlje te na prvo mjesto kao najučinkovitiji način za borbu s njima stavljaju kružnu ekonomiju sa recikliranjem otpada, oporabom i recikliranjem proizvoda. 66% bi smanjilo količinu otpada koju proizvode pravilnim recikliranjem, a 52% korištenjem višekratne ambalaže. Plastični i kemijski otpad podjednako su odabrani kao najproblematičnija vrsta otpada.²⁵

5.4. STANJE U REPUBLICI HRVATSKOJ

U Republici Hrvatskoj gospodarenje otpadom propisano i uređeno je sa više dokumenata, najvažniji od kojih su Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23), Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05), Zakon o potvrđivanju (ratifikaciji) konvencije o nadzoru prekograničnog prometa opasnog otpada i njegovu odlaganju (NN 3/94) i aktualni Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023.-2028. godine (NN 84/23).⁴⁵

Vlada Republike Hrvatske i Ministarstvo nadležno za zaštitu okoliša propisuju mjere gospodarenja otpadom, Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost provodi mjere na državnoj razini, dok su izvršna tijela jedinica područne (regionalne) samouprave (u daljnjem tekstu JRS) i jedinica lokalne samouprave (u daljnjem tekstu JLS) na svom području dužni osigurati uvjete i provedbu propisanih mjera gospodarenja otpadom.⁶⁴

Izvršno tijelo jedinice lokalne samouprave odnosno Grada Zagreba dužno je na svom području osigurati obavljanje javne usluge sakupljanja komunalnog otpada na kvalitetan, postojan i ekonomski učinkovit način, izbjegavajući neopravdano visoke troškove, u skladu s načelima održivog razvoja, zaštite okoliša, osiguravajući pri tom javnost rada kako bi se osiguralo odvojeno sakupljanje miješanog komunalnog otpada iz kućanstava i drugih izvora, biootpada iz kućanstava, reciklabilnog komunalnog otpada, opasnog komunalnog otpada i glomaznog otpada iz kućanstava.⁶⁴

Izvršno tijelo jedinice lokalne samouprave odnosno Grada Zagreba osigurava odvojeno prikupljanje otpadnog papira i kartona, stakla, metala, plastike, biootpada, drva, tekstila, ambalaže, električne i elektroničke opreme, baterija i akumulatora i glomaznog otpada, uključujući otpadne madrace i namještaj na način da osigura funkcioniranje jednog ili više reciklažnih dvorišta odnosno mobilne jedinice na svom području te uslugu prijevoza glomaznog komunalnog otpada na zahtjev korisnika usluge.⁶⁴

Informiranje i edukacija javnosti od velike su važnosti za uspješno provođenje kružnog gospodarenja otpadom. Članak 114. Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) navodi sljedeće:

(1) Jedinica lokalne samouprave odnosno Grad Zagreb dužna je o svom trošku, na odgovarajući način osigurati godišnje provedbu informativnih aktivnosti u svezi gospodarenja otpadom na svojem području, a osobito najmanje jednu javnu tribinu, te informativne publikacije o gospodarenju otpadom.

(2) Jedinica lokalne samouprave odnosno Grad Zagreb dužna je u sklopu mrežne stranice uspostaviti i ažurno održavati mrežne stranice sa svim bitnim informacijama o gospodarenju otpadom na svojem području.

(3) Izvršno tijelo jedinice lokalne samouprave odnosno Grada Zagreba dužno je do 31. ožujka tekuće godine dostaviti godišnje izvješće o provedbi izobrazno-informativnih aktivnosti za prethodnu godinu Ministarstvu putem mrežne aplikacije.

Iako najstariji zapisi o sustavu određenog odlaganja otpada i kazne za nepoštivanje odredbi u Hrvatskoj datiraju iz 13. stoljeća, aktivnije zbrinjavanje otpada započinje 1950-ih godina, a od 1995. godine počinje stvarno rješavanje problema otpada.⁵³

U Ministarstvu prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja 1995. godine formirana je Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša. Povjerenica joj je opća politika zaštite okoliša te je postala dio Ministarstva. 2002. godine osnovana je Agencija za zaštitu okoliša (AZO), a 01. siječnja 2004. godine osnovan je Fond za zaštitu okoliša. Za ovo razdoblje karakterističan je NIMET efekt (eng. Not In My Election time – ne u mom izbornom mandatu) koji predstavlja problem pri izboru lokacije odlagališta. Prvi podaci o otpadu i odlagalištima nastaju 1995. godine izradom studije „Pregled postojećeg stanja u postupanju s komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj“ kojom je jedan od najvećih ekoloških problema u Republici Hrvatskoj proglašen upravo otpad. Većina zakonodavstva o otpadu uglavnom sukladnih s direktivama Europske unije donesena nakon studije te se izrađuju projekti odlagališta.⁵³ Najzastupljeniji način postupanja s komunalnim otpadom za to razdoblje je odlaganje s 97%. Do 2003. zabilježeno je odlaganje otpada na 281 odlagalište, od kojih je 60 bilo većih, i oko 3.000 divljih odlagališta, čiji se broj stalno mijenjao. Samo 10% svih odlagališta bilo je legalno i zadovoljavalo važeće zakonske propise.⁵⁴

Cjelokupno gospodarenje otpadom postaje fokus tek 2005. godine. Otvaranjem pregovora o pristupu Europskoj uniji, od 2006. do 2008. godine svi zakonski i podzakonski akti koji se odnose na gospodarenje otpadom usklađeni su s Direktivama EU. Prvo su bile donesene Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 178/04) i Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2007. – 2015. godine (NN 85/07, 126/10, 31/11, 46/15), a nakon njih Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17, 14/19, 98/19), Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2017. – 2022. godine, Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) te aktualni Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2023. – 2028. godine (NN 84/23) i mnogi novi pravilnici, zakoni, direktive i izmjene.⁵⁵

Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) tehnološki procesi gospodarenja otpadom su *određene funkcionalno-tehnološke cjeline gospodarenja otpadom kojima se opisuje materijalni tok otpada, a uključuju prikupljanje, prihvata, skladištenje, prethodno razvrstavanje i razvrstavanje, miješanje otpada, pakiranje, popravak, čišćenje, provjera budućeg proizvoda i drugi procesi u sklopu postupka uporabe i zbrinjavanja otpada.*

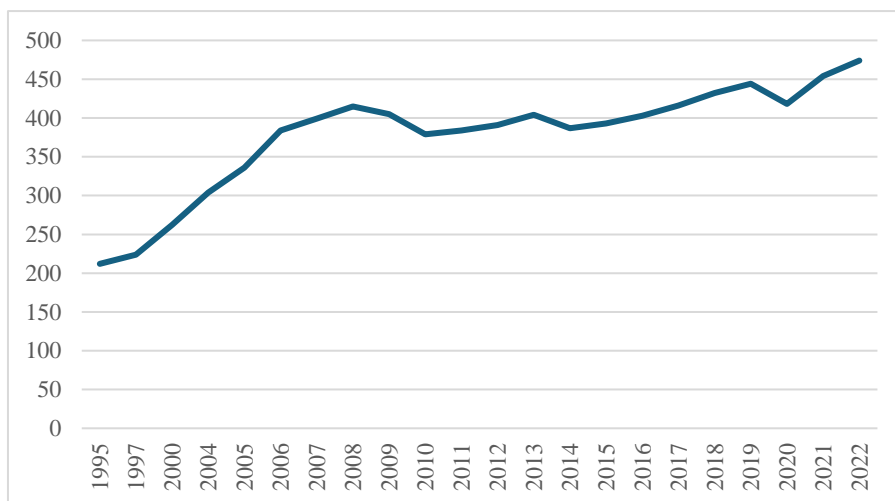
Za učinkovito provođenje gospodarenja otpadom potrebne su odgovarajuće građevine i uređaji za gospodarenja otpadom. Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) građevinu za gospodarenje otpadom definira kao *građevinu za sakupljanje otpada uključujući skladište*

otpada, pretovarnu stanicu i reciklažno dvorište, građevina za obradu otpada, uključujući odlagalište otpada, centar za gospodarenje otpadom i reciklažno dvorište za građevni otpad.

Iz Plana gospodarenja za 2023.- 2028. godinu (NN 84/23) preuzeti su sljedeći podaci. Prema evidenciji 2022. godine, Republika Hrvatska raspolaže sa 415 reciklažnih dvorišta, u 2021. sa 14 kompostana te 6 kompostana u izgradnji sufinanciranih sredstvima EU te 35 bioplinska postrojenja za anaerobnu biološku obradu. Postojeći kapaciteti postrojenja za sortiranje odvojeno prikupljenog otpada u 2021. godini iznose 211.800 tona/godina na razini cijele RH. Postojeći kapaciteti drobilica i postrojenja za oporabu građevnog otpada u 2021. godini iznose 5.662.222 tona/godina na razini cijele RH. U listopadu 2022. godine bilo je evidentirano ukupno 42 postrojenja za materijalnu oporabu plastike, pri čemu sedam od njih koriste otpad od plastike za proizvodnju proizvoda od plastike, dok ostala proizvode granulat koji se predaje dalje proizvođačima proizvoda od plastike. U listopadu 2022. evidentirano je 11 postrojenja za recikliranje stakla od kojih 10 postrojenja drobe otpadno staklo dok samo jedno postrojenje proizvodi nove staklene proizvode od otpadnog stakla. Recikliranjem papira bave se dvije tvrtke. Do kolovoza 2022. četiri tvrtke posjedovale su dozvolu za energetske oporabu postupkom R1. Tijekom 2022. otpad se odlagao na 88 odlagališta, od kojih je 8 isključivo za proizvodni otpad.

Prema najnovijem izvješću o komunalnom otpadu za 2022. godinu Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja (u daljnjem tekstu MINGOR), godišnja količina komunalnog otpada po stanovniku iznosila je 474 kg (grafikon 6), najveća za promatrano razdoblje od 1995. do 2022. godine. Nastao komunalni otpad u 2022. godini iznosio je 1.844.382 t, što je 4% više u odnosu na 2021. godinu i ujedno najveća vrijednost u navedenom promatranom razdoblju. Organiziranim sakupljanjem komunalnog otpada obuhvaćeno je 99,5% stanovništva.

Stopa odvojeno sakupljenog komunalnog otpada što uključuje sve vrste komunalnog otpada osim miješanog komunalnog otpada, iznosila je 46 % odnosno 844.387 t. Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2010 do 2022. godine prikazane su u tablici 2. Stopa kontinuirano raste od 2015. godine kada je bila 391.075 t, što bilježi porast od preko 200% u 2022. godini. Udio miješanog komunalnog otpada u sakupljenom otpadu iznosio je 54 % odnosno 999.995 t. Stopa odvojenog sakupljenog komunalnog otpada u posljednje dvije godine imaju sporiju dinamiku porasta uslijed značajnog udjela prisutnih nečistoća. Nečistoće se posebno bilježe u biootpadu što rezultira njegovom kategorizacijom kao miješani komunalni otpad.



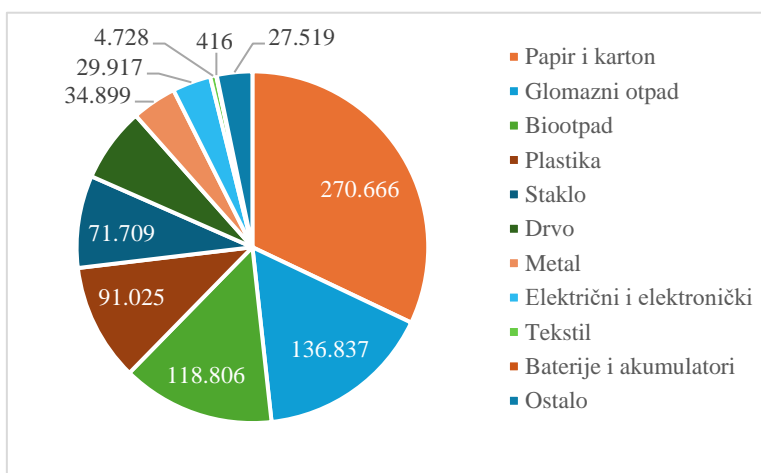
Graf 6. Godišnje količine nastalog komunalnog otpada po stanovniku u RH, 1995.-2022. godina.
(Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

Godina	Odvojeno sakupljeni komunalni otpad (t)
2010.	227.651
2011.	268.053
2012.	382.078
2013.	421.182
2014.	396.594
2015.	391.075
2016.	428.466
2017.	488.209
2018.	553.791
2019.	670.769
2020.	694.159
2021.	761.683
2022.	844.387

Tablica 2. Količine odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2010. do 2022. godine. (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

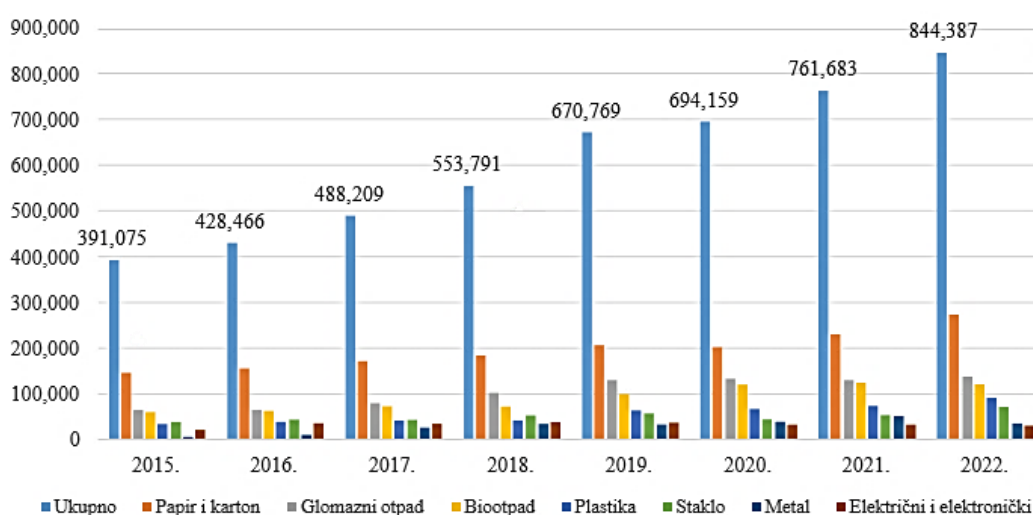
Broj JLS s odvojenim sakupljanjem porastao je sa 519 na 528 u odnosu na prethodnu godinu, a stope odvojenog sakupljanja povećala se 3%. Bilježi se porast broja JLS koje provode odvojeno sakupljanje biootpada iz komunalnog otpada sa 215 na 239.

2022. godine odvojeno je sakupljeno 118.806 t biootpada iz komunalnog otpada odnosno 24 % procijenjene ukupne količine (489.404 t) što je pad za jedan postotni bod u odnosu na 2021. godinu.



Graf 7. Količina pojedinih vrsta otpada u odvojeno sakupljenom komunalnom otpadu 2022. godine u tonama. (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

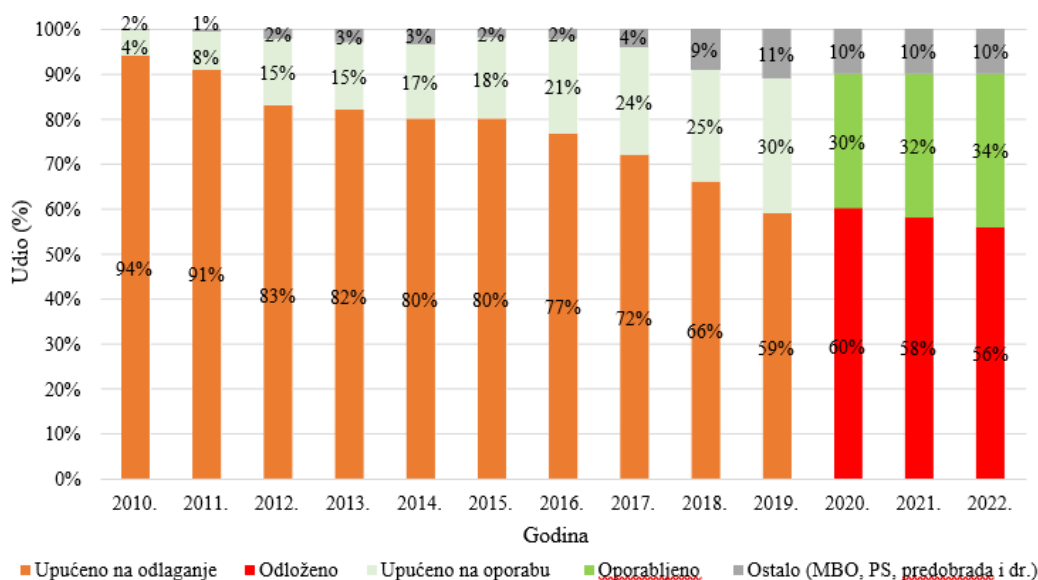
U ukupnim količinama odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u 2022. godini najviše je bilo otpada od papira i kartona (32 %), glomaznog otpada (16 %) i biootpada (14 %), točna količina prikazana je u grafu 7. Na grafu 8 prikazana je količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2015 do 2022. godine. Trend iz godine u godinu raste.



Graf 8 . Količina odvojeno sakupljenog komunalnog otpada od 2015 do 2022. godine. (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

Ulaganja u otvaranja i opremanja novih reciklažnih dvorišta u 2022. godini rezultirala su porastom broja aktivnih reciklažnih dvorišta sa 201 na 236.

Oporabljeno je 634.018 t komunalnog otpada (34%), a reciklirano 630.882 t (34%) koje uključuju i kompostiranje i anaerobnu digestiju. Time stope uporabe i recikliranja obje iznose 34% u 2022. godini čime cilj od 50% još nije dosegnut. Stope uporabe i recikliranja komunalnog otpada koji potječe od sakupljanja u okviru javne usluge na nacionalnoj razini iznose 17 % svaka. Graf 9 prikazuje udio komunalnog otpada u postupcima obrade od 2010. do 2022. godine. Može se uočiti porast stope uporabe koja je porasla za 30 postotna boda, sa 4% na 34%, a paralelno dolazi do smanjenja količina komunalnog otpada upućenih na odlaganje s 94 % na 59 %.



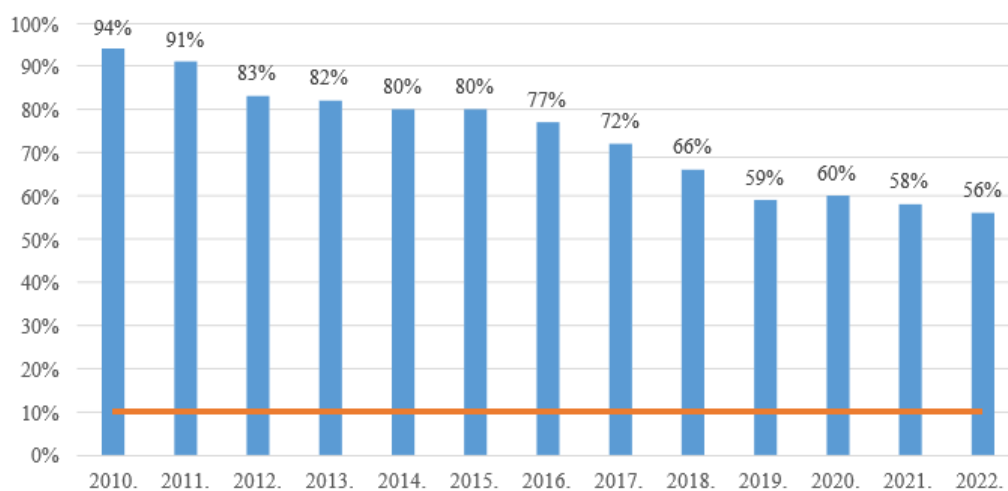
Graf 9. Udio komunalnog otpada RH u postupcima obrade od 2010. do 2022. godine. (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

Kompostirano je ukupno 80.977 t što je povećanje od 13 % u odnosu na prethodnu godinu, no šesnaest bioplinskih postrojenja anaerobnom digestijom obradilo je 12.291 t komunalnog otpada, 24 % manje u usporedbi s prethodnom godinom zbog već spomenutog velikog udjela nečistoća u komunalnom otpadu.

Na obradu u postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada (MBO postrojenja) upućeno je 9% komunalnog otpada gdje je obrađen nekim od postupaka predobrade (miješanje, prepakiranje), privremeno uskladišten ili pripada dijelu procijenjenih količina za neobuhvaćeni dio stanovništva kojima se nije moglo utvrditi postupanje.

Od 2005. do 2022. godine evidentirano je i pratilo se 317 lokacija službenih odlagališta, od čega je na 306 lokacija postojala mogućnost odlaganja komunalnog otpada. U 2022. godini otpad se odlagao na 80 odlagališta. Status saniranih odlagališta ukupno 38 odlagališta, 13 je prijavilo pripremu sanacije, 29 odlagališta sanacija je bila u tijeku.

U 2022. godini na odlagališta je odloženo 56 % ukupno nastalog komunalnog otpada, odnosno 1.024.808 t, što je za 2% manje od prethodne 2021. godine, no i dalje vrlo udaljeno od cilja smanjenja na 10% do 2035. godine. Graf 10 prikazuje udio odlaganja komunalnog otpada u razdoblju 2010 do 2022. godine u odnosu na propisani cilj za 2035. godinu.



Graf 10. Udio odlaganja komunalnog otpada u razdoblju 2010. do 2022. godine u odnosu na propisani cilj za 2035. godinu. (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

Od 1.024.808 t odloženih u 2022. godini. 3.137 t bilo je upućeno na odlaganje u Bosnu i Hercegovinu, a 68.111 t činile su već navedene nečistoće i neciljani materijali izdvojeni prije samog postupka recikliranja te su bili upućeni na odlaganje.

Cilj smanjenja odlaganja biorazgradivog komunalnog otpada propisan člankom 55. Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) nije dostignut. Odloženo je 577.287 t biorazgradivog komunalnog otpada što je za 312.626 t više od propisanog cilja od 264.661 t (35% mase biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini).

Za Republiku Hrvatsku centri za gospodarenje otpadom i obrada opasnog otpada postupkom spaljivanja i odlaganja od posebnog su interesa. Za uspostavu cjelovitog sustava gospodarenja u Hrvatskoj je predviđena izgradnja jedanaest (tablica 3) centara za gospodarenje otpadom (u daljnjem tekstu CGO).⁴⁷ Prema definiciji ZGO-a, *centri za gospodarenje otpadom su postrojenja više međusobno funkcionalno i/ili tehnološki povezanih građevina i postrojenja za*

obradu komunalnog otpada gdje se količina neiskoristivog otpada koji ostaje na kraju procesa obrade svodi na minimum inertnog otpada pogodnog za odlaganje.

Tehnologija obrade otpada u CGO-u, sadržaj, namjena pretovarnih stanica, tok svih vrsta otpada unutar županije/regije, rasprostranjenost, obuhvat i mogući utjecaji na ljude i okoliš definiraju se studijama izvedivosti i Planovima gospodarenja otpadom.⁶⁴

CGO obično sadrži postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada (MBO postrojenja), postrojenje za obradu otpadnih voda, pretovarne stanice, odlagališta za ostatni otpad te drugu opremu i zgrade potrebne za rad.⁶⁴

U financiranju izgradnje i nabave opreme za CGO-om sudjeluju Europska unija i Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost sa 90%, dok preostalih 10% financira JLS ili JRS.³¹

Naziv	Status CGO-a
CGO Marišćina	Izgrađen, u funkciji
CGO Kaštijun	Izgrađen, u funkciji
CGO Bikarac	Izgrađen, u funkciji
CGO Biljane Donje	U izgradnji, probni rad početak rada planiran u 2023.
CGO Piškornica	U izgradnji, probni rad planiran za 2026.
CGO Babina Gora	U izgradnji, probni rad planiran za 2028.
CGO Lečevica	U izgradnji, probni rad planiran za 2026.
CGO Lučino razdolje	Odobren, u fazi ugovaranja radova
CGO Orlovnjak	Priprema dokumentacije za prijavu na EU sufinanciranje
CGO Šagulje	Priprema dokumentacije za prijavu na EU sufinanciranje
CGO Zagreb / Zagrebačka županija	Priprema dokumentacije za prijavu na EU sufinanciranje

Tablica 3. Popis planiranih CGO-a i status njihove izvedbe. (Izvor: Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine (NN 84/23))

5.5. STANJE U ZAGREBU

Na razini Grada Zagreba osim već navedenih europskih i nacionalnih dokumenata koji propisuju gospodarenje i zbrinjavanja otpada utječu i aktualni Plana gospodarenja otpadom Grada Zagreba za razdoblje od 2018.-2023. godine (Službeni glasnik Grada Zagreba«, br. 13/18), Plan razvoja Grada Zagreba za razdoblje 2021. – 2027. godine i dokumenti prostornog uređenja Grada Zagreba.⁴⁵

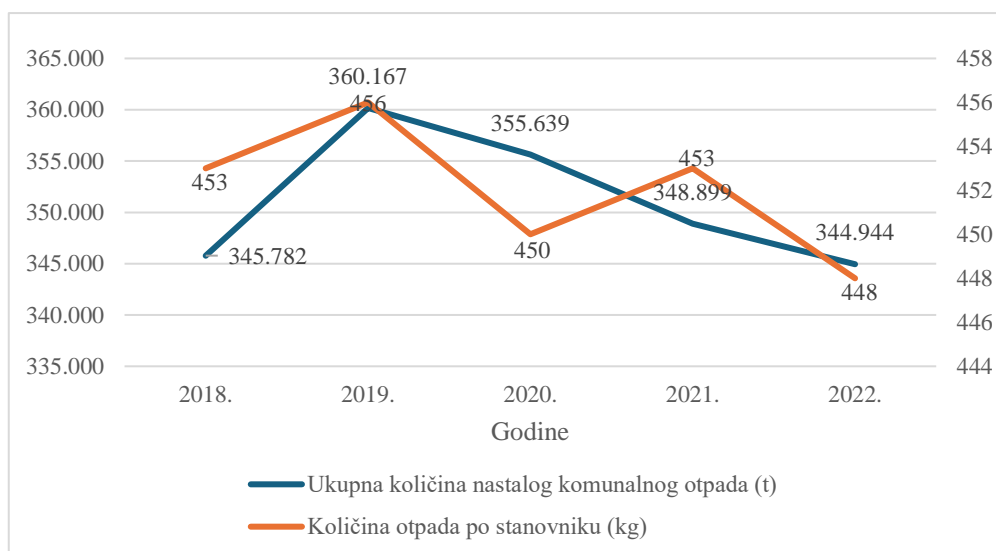
Kao jedinica lokalne samouprave Grad Zagreb odgovoran je za osiguravanje javne usluge prikupljanja komunalnog otpada, provedbu mjera sprječavanja odbacivanja otpada u okoliš, uklanjanje u okoliš odbačenog otpada, uspostavu reciklažnih dvorišta, provedbu izobrazbo-informativnih aktivnosti i sve druge mjere i radnje propisane Zakonom o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23) i Planom gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2023. – 2028. godine (NN 84/23). Nadležan je i osiguravati kapacitete za obradu miješanog komunalnog otpada i otpada koji preostaje nakon obrade miješanog komunalnog otpada.⁶⁹

Sakupljanjem komunalnog otpada obuhvaćeno je 100% stanovništva. Grad Zagreb ima jedno aktivno odlagalište komunalnog otpada, Prudinec-Jakuševac, a Centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba (CUPOVZ) odlagalište je mulja te je u pripremi njegova sanacija.³⁹

U Gradu Zagrebu odvojeno se sakuplja kućni otpad, papir, plastika, staklo, biootpad, metal, tekstil i glomazni otpad. Postoje zeleni otoci na 100 lokacija na području Grada Zagreba, gdje se u oko 6.000 spremnika prikupljaju otpadni papir, plastična i metalna ambalaža, staklo, a na nekima i biootpad. Odvoz otpada prikupljenog „od vrata do vrata“ za komunalni kućni i biootpada vrši se jednom tjedno, a odvoz papira te plastične i metalne ambalaže vrši se jednom u dva tjedna, naizmjenice.

Grad Zagreb bilježi kontinuirano smanjenje ukupnih količina komunalnog otpada, prikazano za razdoblje od 2018. do 2022. godine na grafu 11. Količina otpada po stanovniku ne bilježi isto kontinuirano smanjenje, koje varira iz godine u godinu, oko prosječno 453 kg.³⁹

Tablica 4. prikazuje količinu i udio miješanog komunalnog otpada (MKO) i ostalih vrsta komunalnog otpada u sakupljenom komunalnom otpadu. Iako je količina nastalog komunalnog otpada (KO) viša u 2019. i 2020. godini to se može pripisati globalnoj pandemiji. Ne bilježi se kontinuirani trend smanjenja udjela miješanog komunalnog otpada u sakupljenom KO, no vrijednosti iz 2021. i 2022. jesu manje od vrijednosti iz 2018. godine. Udio ostalih vrsta u sakupljenom KO je dvostruko veći u 2022. nego u 2018. godini.



Graf 11. Količina komunalnog otpada u Gradu Zagrebu za razdoblje od 2018. do 2022. godine (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Godina	Ukupno nastali KO (t)	Sakupljeni MKO (t)	Udio MKO u sakupljenom KO (%)	Ostale vrste KO (t)	Udio ostalih vrsta u sakupljenom KO (%)
2018.	266.251	216.631	81%	233.207	17%
2019.	282.661	200.924	71%	81.738	29%
2020.	283.293	172.225	61 %	111.068	39 %
2021.	253.524	173.904	69 %	79.620	31%
2022.	257.596	167.548	65%	90.048	35%

Tablica 4. Količina i udio miješanog komunalnog otpada i ostalih vrsta komunalnog otpada u sakupljenom komunalnom otpadu (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Uvođenjem više vrsta spremnika za odvajanje otpada količine pojedinih vrsta odvojeno sakupljenog komunalnog otpada također su u porastu, posebice plastika i staklo. Glomaznog otpada se u 2022. odbacilo skoro dvostruko manje nego 2018. godine, a količina odvojeno sakupljenog biootpada povisila se s 1,583 u 2018. godini na 17,209 tona u 2022. godini (tablica 5).

Godina	Papir i karton (t)	Plastika (t)	Staklo (t)	Metal (t)	Glomazni otpad (t)	Tekstil (t)	Biootpad (t)
2018.	10.072	3.540	2.305	220	22.150	864	1.583
2019.	14.681	6.270	2.499	514	16.442	1.183	6.842
2020.	18.570	11.924	3.343	610	22.076	960	26.686
2021.	16.692	12.986	2.967	452	12.367	829	24.380
2022.	16.733	15.507	3.333	399	11.231	987	17.209

Tablica 5. Količine pojedinih vrsta odvojeno sakupljenog komunalnog otpada u 2022. godini (Izvor: Izvještaj o komunalnom otpadu za 2022. godinu)

Gospodarenje komunalnim otpadom sa iskazanim stopama odlaganja i uporabe komunalnog otpada sakupljenog u okviru javne usluge za razdoblje 2018. do 2022. godine prikazano je na u tablici 6. Može se uočiti kako je stopa odloženog komunalnog otpada 2022. godine niža u odnosu na 2018. godinu, dok je stopa uporabe viša nego 2018. Najniža vrijednost odlaganja za odabrano razdoblje bila je 2020., iste godine kad je i uporaba bila najviša, 36%, što označava pad uporabe za 12 postotna boda u 2022. godini kada bilježi stopu od 24%. Procijenjena količina uporabe s dodatno utvrđenim količinama za isto razdoblje (tablica 7) ukazuje na isto.

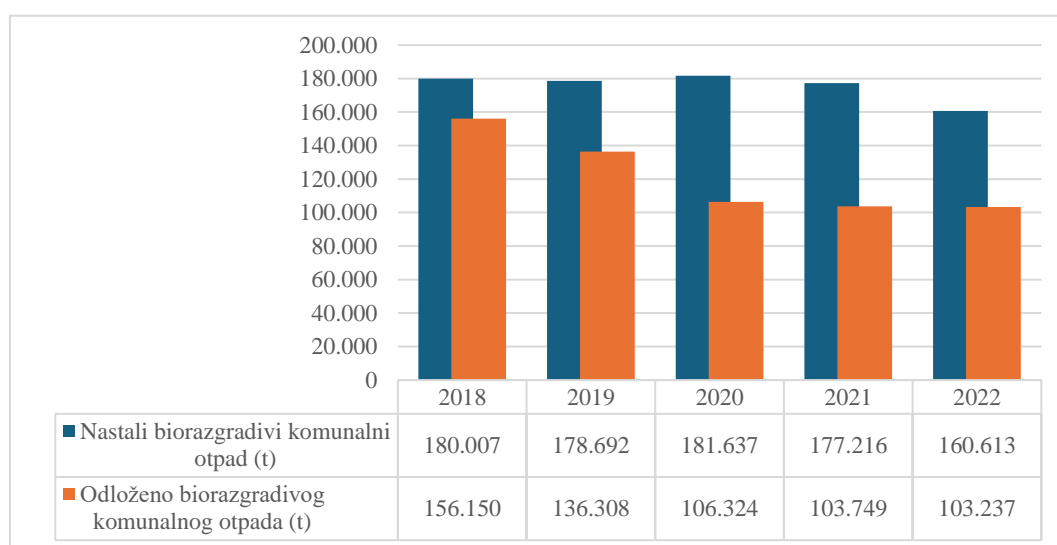
Godina	Ukupno sakupljeno u okviru javne usluge (t)	Odloženo (t)	Odloženo (%)	Oporabljeno (t)	Oporabljeno (%)	Ostalo (t)
2018	266.251	216.631	81,4%	49.543	18,6%	76
2019	258.465	200.924	77,7%	57.485	22,2%	57
2020	267.217	172.225	64 %	94.905	36 %	88
2021	253.524	184.364	73%	69.085	27 %	75
2022	231.453	175.450	76%	55.920	24%	83

Tablica 6. Gospodarenje KO sa iskazanim stopama odlaganja i uporabe komunalnog otpada sakupljenog u okviru javne usluge za razdoblje 2018.-2022. godine (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Godina	Ukupna količina nastalog komunalnog otpada (t)	Ukupna količina oporabljenog komunalnog otpada s dodatno utvrđenim količinama (t)	Stopa uporabe
2018	357.591	123.702	34,6%
2019	360.167	139.974	38,9%
2020	355.639	170.734	48 %
2021	348.899	142.498	41 %
2022	344.944	141.084	41%

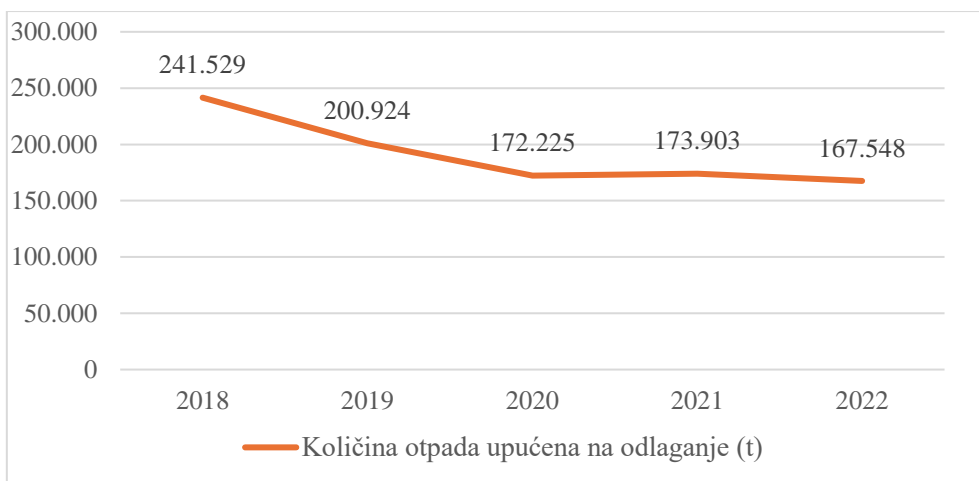
Tablica 7. Procijenjena stope uporabe s uključenim dodatno utvrđenim količinama za razdoblje 2018.-2022. godine (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Količina nastalog, pa time i odloženog biorazgradivog komunalnog otpada kontinuirano se smanjuje, što ukazuje na uspješnost sustava odvojenog sakupljanja otpada (graf 12).



Graf 12. Količine nastalog i odloženog biorazgradivog komunalnog otpada za razdoblje 2018.-2022. godine (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Za odabrano razdoblje 2018.-2022. godina bilježi se napredak u smanjenju količina otpada koje se odlažu na odlagališta, prikazano u grafu 13. Vrijednosti se smanjuju iz godine u godinu, ukoliko se izuzme 2021. godina.



Graf 13. Količina otpada upućena na odlaganje u razdoblju 2018.-2022. godina (Izvor: Izvješća o komunalnom otpadu 2018. - 2022. godinu)

Odlagalište Jakuševac

Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac kao što je već navedeno, jedino je službeno odlagalište za miješani komunalni otpad u Gradu Zagrebu. Nalazi se svega 5 km od centra Zagreba, na udaljenosti 400 m od naselja Jakuševac. Prostire se na 80 ha, a zbog neprimjereno odlaganih velikih količina otpada tokom desetljeća odlagalište je bilo zanemarivano te predstavljalo stvarnu prijetnju štetnim utjecajem na podzemne vode, tlo, zrak, okoliš i ljudsko zdravlje.⁴² Prva sanacija završena je krajem 2003. godine kada su izgrađene četiri plohe za odlaganje otpada te je zatvaranje odlagališta bilo planirano za kraj 2018. godine, nakon izgradnje Centra za gospodarenje otpadom.⁴⁰ CGO nije izgrađen te je odlagalište nastavilo s radom, uslijed čega je druga sanacija bila završena 2019. godine. Saniranje odlagališta uključivalo je postupke sprječavanja onečišćenja okoliša i osiguranja sigurnog odlaganja otpada. Prema analizi kapaciteta odlagališta otpada građevinski radovi će se nastaviti sve dok se ne popune sve plohe. Nakon popunjavanja ploha napraviti će se završni prekrivni sloj i izvesti svi zdenci za otplinjavanje. Prema procjenama stručnjaka, predviđa se da će se kapaciteti popuniti do 2029. godine. Zagrebački holding d.o.o. - Podružnica Čistoća od listopada 2021. godine upravlja djelatnostima odlaganja otpada na odlagalištu.⁴⁶

Mišljenje javnosti

Od neugodnih mirisa, odrona do požara, o problemima oko odlagališta Prudinec/Jakuševac zadnjih godina sve se češće raspravlja. 2023. godine dogodila su se dva velika odrona otpada. Prvi odron posljedica je urušavanja dijela deponija, pritom čega su se oslobodili neugodni mirisi i plinovi (slika 12).⁶⁶ Svega par tjedana nakon dogodio se drugi odron, koji je ozlijedio radnike, uništio par vozila i dio kompostane (slika 13).⁴¹ U lipnju 2024. godine izbio je požar

na platou Servisno-operativnog centra pored odlagališta Jakuševac, nepunih godinu dana nakon požara u kolovozu 2023. godine na istoj lokaciji. Pri oba požara zapalio se glomazni neopasni otpad.¹



Slika 12. Izgled odlagališta Prudinec - Jakuševac nakon prvog odrona 2023. godine (Izvor: <https://www.zagreb.info/vijesti/golemi-odron-smeca-na-jakusevcu-zagrepcani-se-zale-na-smrad-ostvemu-se-oglasili-iz-grada/567563/>)



Slika 13. Vozila uništena drugim odronom na odlagalištu Prudinec - Jakuševac 2023. godine (Izvor: <https://www.zagreb.info/vijesti/drama-na-jakusevcu-novi-odron-smeca-ozlijedene-tri-osobe/574028/>)

Velik problem prelasku na kružno gospodarenje otpadom u Gradu Zagrebu predstavlja nedovoljno kontroliran sustav odvajanja otpada i manjak moralne odgovornosti dijela građanstva pri odvajanju otpada. U svim vrstama odvojeno sakupljenog komunalnog otpada pronalaze se neželjeni materijali i nečistoće, koje za sobom vuku posljedice jer se onemogućava daljnja uporaba i recikliranje takvog otpada koji se na kraju računa i odlaže kao miješani komunalni otpad. Time se količine otpada koji se odlaže na odlagalištu Prudinec/Jakuševac ne smanjuju željenom brzinom. Sve to dovodi do vrlo snažne negativne reakcije građana koji zahtijevaju zatvaranje odlagališta Prudinec/Jakuševac.

U Gradu Zagrebu planira se izgradnja već navedenog CGO-a Resnik. Njegovom izgradnjom postrojenje će biti opremljeno postrojenje za obradu miješanog otpada (MBO) te sortirnicom i kompostanom, a obrađivati će se miješani komunalni otpad te u kućanstvima odvojeni biootpad i suhi reciklanti (papir, plastika i metal). Okvirni rok planiranog puštanja u rad je 2028. godina, a postrojenje bi trebalo raditi barem 30 godina. U sklopu CGO-a također je planirana izgradnja i energane na otpad, što izaziva već dugogodišnje nezadovoljstvo brojnih udruga i građana.¹⁹

Još 1990. godine Grad Zagreb odustao je od izgradnje energane na otpad te se od tada otpor prema termičkoj energetskej uporabi povećava. Najviše se diskusije vodi oko emisija štetnih i stakleničkih plinova. Mnogi stručnjaci navode kako energane na otpad smanjuju emisiju stakleničkih plinova, zakonskom obavezom korištenja najnovijih tehnologija osiguravaju maksimalno pročišćavanje dimnih para i smanjenje emisija CO₂ u atmosferu, ukazuju korist od energana na otpad u kružnom gospodarenju kao i činjenicu da se prema direktivi EU energetska uporaba mora provoditi da se spriječi gubitak dobivene energije.^{19,56,57} Aktivističke udruge s druge strane ukazuju na činjenicu da se spaljivanjem u atmosferu ispuštaju velike količine ugljikova dioksida što negativno utječe na klimu. Argumentiraju da bi energanom grad postao ovisan o količinama otpada potrebnima za rad energane te o uvozu otpada iz drugih županija i zemalja.¹² Udruge smatraju kako treba tražiti dugotrajna, održiva i lokalna rješenja koja maksimalno smanjuju otpad, ponovno ga koriste i recikliraju, a neregulirani ostatak koriste u industriji i građevinarstvu.¹³

Problem infektivnog medicinskog otpada u Gradu Zagrebu planirao se riješiti izgradnjom spalionice infektivnog otpada u sklopu bolničkog kompleksa KBC Rebro. To je također izazvalo oštre kritike i prosvjede udruga i dijela građanstva. Grad Zagreb u srpnju 2024. godine predstavlja izmjene i dopuna Generalnog urbanističkog plana (GUP-a), među kojima je jedna od najznačajnijih isključenje spaljivanja otpada, čime se zaustavila izgradnja spalionice u sklopu KBC-a Rebro, kao i ostalih postrojenja termičke obrade otpada.¹³ Unatoč tome, energana na otpad u sklopu CGO Resnik i dalje bi mogla biti izgrađena jer je mogućnost postrojenja za termičku obradu definirana u Prostornom planu Grada Zagreba, izvan zone GUP-a.³³

Troškovi izgradnje energane na otpad

Jedna od stvari koje najviše idu u prilog protiv izgradnje energane su visoki troškovi gradnje i održavanja. Novoselec (2019) navodi kako bi ukupna investicija gradnje energana na otpad kapaciteta 150000 t/god iznosila 77.779,000 €. Kapacitetima bi zadovoljila sve potrebe Grada Zagreba izgarajući više od polovice ukupnog komunalnog otpada proizvedenog na godišnjoj razini. Godišnji troškovi održavanja bi iznosili 2.333,097 € uz godišnje prihode od prodaje toplinske energije 4.058,328 €, električne energije 5.298,717 € i dobivene naknade za preuzimanje otpada u iznosu od 150.000,000 €. Tablica 8 prikazuje tipične troškove izgradnje energane na otpad.

Vrsta troška	Cijena troška (€)	Postotak od ukupnog troška
Sustav za izgaranje i kotao	31.119,600	40%
Sustav vode i pare	7.779,900	10%
Pročišćivanje dimnog plina	11.669,850	15%
Gradnja i civilni radovi	19.449,750	25%
Ostalo (dozvole, spajanje na električni mrežu, itd.)	7.779,900	10%
UKUPNO:	77.779,000	100%

Tablica 8. Tipični troškovi gradnje energane na otpad (Izvor: Novoselec, F. (2019))

Energana na otpad većeg kapaciteta od 290.000 t/god izgarala bi sav ukupni komunalni otpadi proizvedeni na godišnjoj razini u Gradu Zagrebu te bi imala dodatnog slobodnog kapaciteta za dio otpada koji bi se tad trebao dopremiti iz drugog, obližnje, dijela Republike Hrvatske. Ukupna investicija gradnje energane iznosila bi 156.069,400 €. Godišnji troškovi održavanja iznosili bi 4.682,082 € uz godišnje prihode od prodaje toplinske energije 4.058,328 €, električne energije 5.298,717 € i dobivene naknade za preuzimanje otpada u iznosu od 29.000,000 €. Tipični troškovi gradnje takve veće energane prikazani su u tablici 9.⁴³

Vrsta troška	Cijena troška (€)	Postotak od ukupnog troška
Sustav za izgaranje i kotao	62.427,760	40%
Sustav vode i pare	15.606,940	10%
Pročišćivanje dimnog plina	23.410,410	15%
Gradnja i civilni radovi	39.017,350	25%
Ostalo (dozvole, spajanje na električni mrežu, itd.)	15.606,940	10%
UKUPNO:	156.069,400	100%

Tablica 9. Tipični troškovi izgradnje veće energane na otpad (Izvor: Novoselec, F. (2019))

5.6. PRIJEDLOG KRATKOROČKIH I DUGOROČNIH RJEŠENJA

5.6.1. KRATKOROČNA RJEŠENJA

Zagrebački problem otpada ne može se riješiti preko noći, no ukoliko svi građani ulože trud u mijenjanje svojih navika mnogo se može postići. Kratkoročnih rješenja nema, osim ako se ne uzima u obzir nastavljanje odlaganja na Jakuševcu, koje je trenutno i jedina opcija Gradu Zagrebu do izgradnje CGO-a.

5.6.2. DUGOROČNA RJEŠENJA

O gospodarenju otpadom treba razmišljati dugoročno, prakticirajući dugoročna rješenja vodeći se redom prvenstva. Time se, nakon prevencije nastanka otpada, treba bazirati na ponovnu uporabu, reciklažu i oporabu otpada. Tomu bi značajno koristila uspostava MBO postrojenja s energanom na otpad.

MBO postrojenjima oporabile bi se i reciklirale dodatne količine sirovina iz komunalnog otpada koje dosadašnjom praksom završavaju na odlagalištima te bi se znatno smanjio volumen otpada koji se odlaže. To je posebno bitno zbog činjenice da se posljednje dvije godine dosta odvojeno sakupljenog i komunalnog otpada nije moglo reciklirati ni oporabiti zbog značajnih količina nečistoća i nepoželjnih materijala u otpadu, nego je takav otpad bilo potrebno odlagati na odlagalište Prudinec-Jakuševac.³⁹ Od takvih nerekiclabilnih i neoporabivih materijala može se dobiti gorivo iz otpada čime se postiže višestruka korist. Bitno je naglasiti kako Hrvatska ima jednu od najkvalitetnijih, svjetski prepoznatijih tvrtki vodeću u eko industriji u svijetu, Tehnix Eko Industrija, koja može opremiti MBO postrojenje visokokvalitetnom opremom prema svim europskim standardima. Njihova oprema i tehnologije u gospodarenju otpadom koriste se diljem Europe, a u Hrvatskoj su već izgradili sortirnice u Bjelovaru, Prelogu, Varaždinu, Metković, Ogulinu, Krku, Novalji te Cresu.⁵⁵ Republika Hrvatska ima vlastite kapacitete za oporabu i recikliranje papira, kartona, stakla i metala dok za plastiku i ostale materijale postoji parcijalni interes za recikliranje. Kompost ili bioplin dobiven biološkom obradom mogao bi služiti za opskrbu dijela stanovnika u blizini postrojenja, dok bi se gorivo iz otpada dobiveno mehaničkom obradom moglo koristiti za četiri cementare u Republici Hrvatskoj.⁴⁷ Iako bi iziskivalo veće troškove, GIO bi bilo najbolje balirati ili prešati kako bi se broj transporta do cementara bio što rjeđe, smanjujući time trošenje cesta i emisiju CO₂. Ukupni maksimalni kapacitet cementara u Republici Hrvatskoj za spaljivanje GIO procjenjuje se na oko 170.000 tona/ godišnje. Problem s time leži u činjenici da će se uspostavom svih CGO-a to tržište vrlo brzo zasititi, stoga samo MBO postrojenje ne može biti dugoročno rješenje ukoliko se ne osigura drugi kupac GIO-a, bilo unutar ili izvan granica Republike Hrvatske.²⁹

Rješenje tome problemu mogle bi biti energane na otpad, koje su kontroverzna tema. Razvijene zemlje Europe godinama ih grade i koriste te su tako riješile veliki dio problema s odlaganjem

otpada. Istraživanjima u novije vrijeme smatra se da energane proizvode količine CO₂ koje su u suprotnosti s težnjom EU-a za postizanjem CO₂ neutralnog kontinenta do 2050. Usljed toga sufinanciranja u gradnji energana su prekinuta, što dovodi do problema ekonomsko slabije zemlje u Europi.⁶⁸ Činjenica da energane, ovisno o metodi spaljivanja otpada, ispuštaju CO₂ ne mijenja činjenicu da su razvijene zemlje godinama gradile velik broj energana koje su im pomogle da „stanu na noge“ s otpadom i da ih tek u posljednjih nekoliko godina postupno zatvaraju te da bi ista praksa bila od velike pomoći Gradu Zagrebu. Ukoliko Hrvatska i/ili Grad Zagreb samostalno ulazi u financiranje izgradnje suvremene energane, bez privatnih ulaganja, time bi se moglo relativno lako riješiti problem odlaganja otpada. Privatizacijom energane Grad bi bio obavezan 20 do 30 godina proizvoditi ili uvoziti određene količine otpada kako bi zadovoljio potrebe energane, no državnim i gradskim financiranjem, ona bi bila gradsko vlasništvo te bi mogućnost njenog zatvaranja bila moguća odmah po ostvarenju ciljeva grada za odlaganje.²¹ Najbolji i najbliži primjer Zagrebu je RCERO Celje u Sloveniji, regionalni centar gospodarenja otpadom u kojem se prema hijerarhiji gospodarenja otpadom maksimalno iz otpada oporabi i reciklira, MBO metodom stvara se GIO i kompost, a samo otpad koji se ne može oporabiti spaljuje se u kogeneracijskom postrojenju za proizvodnju električne i toplinske energije. Time smanjuju količine odloženog otpada za čak 65% i ujedno pokrivaju značajan dio energetske potrebe grada Celja.¹⁷ Uspostavom ovakvog sistema u Zagrebu lokalno stanovništvo u neposrednoj blizini energane imalo bi na taj način dodatnu korist od energane, u obliku povoljnije energije, rente ili materijalne odštete, kao što je slučaj s odlagalištima otpada.³⁰

Austrija već preko 25 godina termički obrađuje otpad u energanama na otpad te je u početku također bilo skepticizma i protivljenja, no nakon realizacije određenih projekata i usvajanjem novih tehnologija danas se gradnji novih postrojenja ne protive ni nevladine organizacije a ni lokalno građanstvo. Ne može se sav otpad reciklirati te je njegovo zbrinjavanje na ovakav način najviše ekološki prihvatljivo, a prekretnica u izgradnji energana bila je zabrana odlaganja neobrađenog otpada. Beč može poslužiti kao dobar primjer gdje su sve javne energane spojene u bečku mrežu daljinskog grijanja čime se potpuno iskorištava energija akumulirana u otpadu uz stupanj iskoristivosti veći od 65 %.⁵⁶

Najnovija bečka energana na otpad MVA Pfaffenau sa godišnjim kapacitetom od 250.000 tona čvrstog neopasnog nerekiclabilnog komunalnog otpada, proizvodnjom 65 GWh električne energije i 410 GWh toplinske energije osigurava grijanje za oko 50.000 kućanstava i opskrbu električnom energijom 25.000 bečkih kućanstava. Sadrži uređaj za pročišćavanje dimnih plinova koji se sastoji iz četiri stupnja, čime su plinovite emisije dva do deset puta niže od zakonom propisanih najviših vrijednosti. Otvorena je za posjetitelje te redovito informira građane Beča, što je praksa koju bi energana u Zagrebu također trebala imati, za educiranje građana i podizanje svijesti o prednostima ovakve obrade otpada.⁵⁶

U isto vrijeme energana na otpad bi mogla biti vrlo korisno rješenje ako se koristi metoda rasplinjavanja plazmom, ujedno ekološki najprihvatljivija metoda spaljivanja koja ne stvara CO₂

kao produkt. Time bi osim za komunalni otpad, energana zbog visokih temperatura pri kojima radi mogla služiti i za spaljivanje medicinskog i opasnog otpada. Dio tih vrsta otpada obrađuje se u Hrvatskoj, no većina se izvozi u susjedne zemlje gdje se energentski oporabljuje ili odlaže na odlagališta nakon obrade. Medicinski i opasni otpad će uvijek nastajati u određenim količinama, te će uvijek biti potrebno sigurno tretiranje i odlaganje takvog otpada. Izgradnjom energane na rasplinjavanje plazmom koja bi bila u državnom ili gradskom vlasništvu Grad Zagreb bi, uz energetske korištenje komunalnog otpada koji se ne može oporabiti ni reciklirati, također bi se mogao tretirati opasni i medicinski otpad, na ekološki sigurniji način ujedno štedeći novac izbjegavajući troškove izvoza i plaćanja zbrinjavanja otpada drugim državama. Izgradnja ovakve energane trebala bi biti prema najvišim standardima zaštite i obavezama prema Direktivi EU, što osigurava sigurnost u standard zaštite zraka, okoliša i ljudskoga zdravlja u neposrednoj blizini same energane. Kao članica EU Hrvatska je zakonom obavezana držati se zadanih standarda što bi trebalo dati sigurnosti i povjerenja građanima u sigurnost rada energane.

Najvažniji segment dugotrajnog rješenja otpada treba biti kontinuirano educiranje stanovništva o prevenciji i smanjivanju nastajanja otpada, kao i pravilnim načinima odvajanja nastalog otpada po svim dobnim kategorijama i u svim segmentima života. Iz već navedenih podataka o povećanoj količini nečistoća i neželjenog materijala u odvojeno sakupljenom i komunalnom otpadu u posljednje dvije godine očito je kako dosadašnji način informiranja i educiranja nije dovoljno dobar. Činjenica je i da dio građanstva ne želi mijenjati svoje navike i izlaziti iz svoje komfor zone unatoč pristupu informacijama, čime se ujedno upropaštava trud svih onih koji otpadom pravilno gospodare. Iz tog razloga potrebno je uvođenje boljeg sustava kontrole i novčanih kazni, koje su se u drugim Europskim zemljama pokazale kao učinkovit način rješavanja tog problema. Posebnu pažnju treba obratiti na one uslužne sektore i sektore proizvodnje koji proizvode miješani komunalni otpad jer često stvaraju više otpada godišnje od samih stanovnika.

Grad Zagreb bi se također trebao ugledati na zemlje Europske Unije koje teže „zero waste“ ili bez otpada pristupu. Otvaranjem trgovina bez ambalaža te otvaranjem i poticanjem obrta za oporabu i reciklažu moglo bi se postići znatno smanjenje nastalog otpada. Modernizacijom sustava gospodarenja otpadom novim tehnikama i tehnologijom sustavi su sve napredniji i automatiziraniji, što ujedno stvara problem jer se automatizacijom zahtijeva manje zaposlenih radnika.⁶⁰ Davanjem poticaja i financiranjem učenja potrebnih zanata moglo bi se pomoći i povećati razinu zaposlenih. Grad Zagreb i Republika Hrvatska trebali bi također poticati i surađivati s domaćim tvrtkama da koriste proizvode od recikliranih i oporabljenih materijala, ujedno jačajući domaće gospodarstvo te također smanjujući emisije CO₂ transportom na veće udaljenosti. Kako bi takav sistem funkcionirao cijena takvih proizvoda trebala bi biti konkurentna cijeni uvoznih i proizvoda od novih i još ne recikliranih/neoporabljenih materijala. Potrošači unatoč stavovima u anketama češće biraju jeftiniju nego ekološki povoljniju opciju, što ide u prilog podacima iz Državnog zavoda za statistiku da je kupovna moć u Hrvatskoj izuzetno niska, 27% ispod prosjeka 27 država članica EU-a.

6. ZAKLJUČAK

Porastom stanovništva raste i količina otpada, to je činjenica koju se ne može opovrgnuti, stoga je potrebno naći ekološki i ekonomski prihvatljiv način njegovog zbrinjavanja. Komunalni otpad velik je problem zbog svoga složenog sastava, često sadržavajući i biorazgradive, recikabilne, a ponekad i opasne materijale. Redom prvenstva gospodarenja otpadom najviše se pažnje treba usmjeriti na sprječavanje i smanjivanje količina nastalog otpada, u čemu najveću ulogu imaju edukacija i informiranje građanstva. Ponovna upotreba, recikliranje i uporaba su slijedeći po važnosti dok je odlaganje na odlagalištima najmanje poželjna opcija. Unatoč dobrom pomaku, mjere i obaveze gospodarenja otpadom koje nalaže Europska Unija do sada u Zagrebu, kao ni većini Hrvatske nisu dovele do željenih rezultata i dostigle zadane ciljeve. Iako bi idealno rješenje bilo prelazak na „zero waste“ način života, to nije realno postići u skorašnje vrijeme. Zato bi trenutačno najbolja opcija pristupa problemu komunalnog otpada bila isto kao i u mnogim Europskim zemljama, energana na otpad u sklopu MBO postrojenja. Energane na otpad često su na lošem glasu, što je najveći razlog zašto Zagreb ni Hrvatska već ne posjeduju niti jednu energanu za spaljivanje komunalnog otpada.

Najveći protivnici uglavnom su takozvane zelene, ekološke aktivističke udruge koje često provode nezavisna istraživanja vezana za stanje okoliša u blizini energana i zagovaraju kako se spaljivanjem stvara više onečišćujućih i opasnih spojeva od opcija koje joj prethode u redu prvenstva gospodarenja otpadom, kao i da takva vrsta zbrinjavanja ne dovodi do smanjivanja količine otpada nego upravo suprotno, do ovisnosti o količinama proizvedenog otpada.

Većina stručnjaka iz područja zaštite okoliša i gospodarenja otpadom podržava izgradnju energana na otpad, pružajući istraživanja i radove o svakodnevnom napredovanju znanja i tehnologija u cijelom ciklusu termičke obrade otpada koji pokazuju kako se maksimalni naponi ulažu u iskorištavanje svih nusprodukata spaljivanja i smanjivanje potencijalnih negativnih učinaka na okoliš.

Iako je Europska Unija prekinula sufinanciranja izgradnja novih energana i potiče zatvaranje postojećih, ne zabranjuje spaljivanje otpada te ga i dalje navodi kao opciju koja prethodi odlaganju na odlagališta i pomaže u napuštanju takvog načina gospodarenja otpadom, ujedno tražeći da svaka termička obrada ima energetska uporabu.

Energane imaju prednosti i mane, no kontinuirano se radi na njihovoj modernizaciji, ulažući mnogo pažnje i znanja ulaže se u razvitak suvremenih, inovativnih tehnologija za sprječavanje izlaska toksičnih tvari i čestica u atmosferu zajedno sa dimnim plinovima. Opremanje energana sustavima za hvatanje ugljika učinkovit je način dodatnog pročišćavanja dimnih plinova. Iako je izgaranje najčešće korištena metoda termičke obrade otpada, rasplinjavanje je vrlo dobra i zanimljiva opcija zbog zatvorenosti sustava u kojem se dimne pare ne ispuštaju u atmosferu, nego se dobiva sintetski plin koji može služiti u kogeneracijskom postrojenju za dobivanje električne i toplinske energije. Rasplinjavanjem plazmom koje se provodi pri ekstremno visokim temperaturama koje u potpunosti eliminiraju sve toksične elemente, pritom ne

stvarajući neugodne mirise ni štetan pepeo također je dobra opcija, pogotovo jer osim komunalnog, daje mogućnost obrade i medicinskog i infektivnog otpada. Za postrojenja manjih kapaciteta metoda primjene pirolize u energanama također može biti dobra opcija, jer iako se stvaraju dimni plinovi, piroliza se provodi pod nižim temperaturama od spaljivanja i rasplinjavanja te njeni dimni plinovi nisu toliko toksični i zahtijevaju manje čišćenja, a u krutom ostatku pirolize može biti do 40% ugljika što je značajan udio ulazne energije koju se može iskoristiti za energetske učinkovitost.

Bitno je naglasiti kako na spaljivanje odlazi samo onaj dio otpada koji se ne može reciklirati i na drugi način oporabiti. Da bi se osiguralo da to tako i ostane, energane trebaju biti u gradskom vlasništvu, čime će se izbjeći obaveza spaljivanja određenih količina otpada sljedećih 20 do 30 godina, što je u nekim Europskim zemljama negativno utjecalo na stopu smanjivanja, recikliranja i uporabe otpada. RCERO Celje i grad Beč mogu Zagrebu poslužiti kao primjeri na koji se može ugledati, uspješnim smanjivanjem količina nastalog otpada, visokom stopom recikliranja i uporabe, te spaljivanjem samo neoporabivog otpada u kogeneracijskim postrojenjima koja zatim pokrivaju značajan dio potreba grada za toplinom i električnom energijom.

7. LITERATURA

1. 24sata. 2024: Tomašević: Požar na Jakuševcu brzo ugašen, šteta je mala. <https://www.24sata.hr/news/tomasevic-pozar-na-jakusevcu-brzo-ugasen-steta-je-mala-991047> (pristupljeno 12.08.2024)
2. Ashraf, M. S., Ghouleh, Z., Shao, Y., 2019: Production of eco-cement exclusively from municipal solid waste incineration residues. Resources, Conservation & Recycling, Volume 149, pp. 332-342. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.018>. (pristupljeno 18.08.2024)
3. Bisinella, V., Hulgaard, T., Riber, C., Damgaard, A., Christensen, T., 2021: Environmental assessment of carbon capture and storage (CCS) as a post-treatment technology in waste incineration. Waste Management. 128. 99-113. [10.1016/j.wasman.2021.04.046](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.046). (pristupljeno 16.08.2024)
4. Blagojević, M., 2019: *Politika zaštite okoliša* (Diplomski rad). Pula: Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:137:313152> (pristupljeno 11.8.2024)
5. Bruno, M., Abis, M., Kuchta, K., Simon, F.-G., Grönholm, R., Hoppe, M., Fiore, S., 2021: Material flow, economic and environmental assessment of municipal solid waste incineration bottom ash recycling potential in Europe. Journal of Cleaner Production, Volume 317/128511. ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128511>. (pristupljeno 18.08.2024)
6. Cemex. Gorivo iz otpada (RDF/SRF). <https://www.cemex.hr/gorivo-iz-otpada> (pristupljeno 26.08.2024)
7. Cewep. 2022: BW2E. https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2022/07/BW2E_folder22x22_ENG_v4.pdf (pristupljeno 08.09.2024)
8. Chen, D., Zhang, Y., Xu Y., Nie, Q., Yang, Z., Sheng, W., Qian G., 2022: Municipal solid waste incineration residues recycled for typical construction materials—a review. RSC Adv., 2022, 12, 6279. <https://doi.org/10.1039/D1RA08050D> (pristupljeno 18.08.2024)
9. Čuković, K., 2018: *Waste-to-energy postrojenja* (Završni rad). Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:329654> (pristupljeno 12.08.2024)
10. Direktiva (eu) 2018/850 europskog parlamenta i vijeća od 30. svibnja 2018.o izmjeni Direktive 1999/31/EZ o odlagalištima otpada. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=celex%3A32018L0850> (pristupljeno 10.08.2024)
11. Direktiva (eu) 2018/851 europskog parlamenta i vijeća od 30. svibnja 2018.izmjeni Direktive 2008/98/EZ o otpadu (Tekst značajan za EGP). <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/851/oj> (pristupljeno 10.08.2024)
12. Direktno <https://direktno.hr/zagreb/zagrepcani-prozvali-tomasevica-zbog-projekta-na-istoku-grada-prekinite-daljnje-aktivnosti-350721/> (pristupljeno 20.08.2024)

13. Dnevnik <https://dnevnik.hr/vijesti/hrvatska/znacajan-zaokret-novi-zagrebacki-gup-bez-spaljivanja-otpada-no-ima-jos-jedan-problem---858521.html> ((pristupljeno 19.08.2024)
14. Državni zavod za statistiku. 2023: Bruto domaći proizvod i stvarna individualna potrošnja u standardu kupovne moći u 2022. <https://podaci.dzs.hr/hr/priopcenja/2023/hr/nr-2023-bdp-i-nacionalni-racuni/nr-2023-2-godisnji-bdp/nr-2023-2-3-bruto-domaci-proizvod-i-stvarna-individualna-potrosnja-u-standardu-kupovne-moci/nr-2023-2-3-bruto-domaci-proizvod-i-stvarna-individualna-potrosnja-u-standardu-kupovne-moci-u-2022/> (pristupljeno 01.09.2024)
15. Đurđević, D., 2015: *Energetsko iskorištavanje otpada* (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:126079> (pristupljeno 11.08.2024)
16. Đurkan, T., 2018: *Energetsko iskorištavanje otpada* (Završni rad). Čakovec: Međimursko veleučilište u Čakovcu. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:110:113793> (pristupljeno 12.08.2024)
17. Ekos-orlovnjak. 2021: Djelatnici EKOS-a posjetili RCERO Celje. <https://www.ekos-orlovnjak.hr/index.php/vijesti/270-djelatnici-ekos-a-posjetili-rcero-celje> (pristupljeno 13.08.2024)
18. Eko vjesnik.. 2021: Bečka spalionica otpada već 50 godina izgara za čišći planet. <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/4571/becka-spalionica-otpada-vec-50-godina-izgara-za-cisci-planet> (pristupljeno 01.09.2024)
19. Eko vjesnik. 2024: Grad Zagreb kreće s izgradnjom centra za gospodarenje otpadom u Resniku. Planira ga završiti do 2028. godine. <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/6931/grad-zagreb-krece-s-izgradnjom-centra-za-gospodarenje-otpadom-u-resniku-planira-ga-završiti-do-2028-godine>(pristupljeno 21.08.2024)
20. Environment for Europeans. No 65, March 2018: Spotlight on Nijmegen. <https://op.europa.eu/hr/publication-detail/-/publication/d499cc57-4768-11e8-b61d-01aa75ed71a1> (pristupljeno 12.08.2024)
21. EPSU. 2023: Waste Managemanet in Europe. https://www.epsu.org/sites/default/files/article/files/Waste%20Management%20in%20Europe_EN.pdf (pristupljeno 11.08.2024)
22. EUR-Lex .Energy. <https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/18.html> (pristupljeno 11.08.2024)
23. European Environment Agency. Circular Economy. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/circular-economy> (pristupljeno 12.08.2024)
24. European Environment Agency. Waste and Recycling. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/waste-and-recycling> (pristupljeno 12.08.2024)
25. European Union. Attitudes of Europeans towards the environment. 2024. <https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/3173> (pristupljeno 12.08.2024)

26. Europski parlament. Održivo gospodarenje otpadom: što EU čini. <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20180328STO00751/odrzivo-gospodarenje-otpadom-sto-eu-cini>(pristupljeno 13.08.2024)
27. Eurostat. Municipal waste statistics https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics (pristupljeno 13.08.2024)
28. Eurostat. Waste statistics https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&action=statexp-seat&lang=hr. (pristupljeno 13.08.2024)
29. Fuk, B., 2019: Gorivo iz otpada - rješenje ili problem. *Sigurnost*, 61 (1), 67-70. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/221800> pristupljeno 26.08.2024 (pristupljeno 20.08.2024)
30. Fuk, B., 2022: Spalionice otpada u Hrvatskoj - fikcija ili potreba. *Sigurnost*, 64 (4), 423-427. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/288501> (pristupljeno 10.08.2024)
31. Fuk, B., 2023: Uloga razvrstavanja komunalnog otpada i zatvaranje odlagališta otpada. *Sigurnost*, 65 (1), 119-126. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/296938> (pristupljeno 20.08.2024)
32. HAOP. Gospodarenje otpadom. <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/gospodarenje-otpadom/o> (pristupljeno 10.08.2024)
33. Hrt vijesti. 2024: Tomašević: Nema promjena u planovima za spalionicu otpada u Resniku. <https://vijesti.hrt.hr/hrvatska/tomasevic-nema-promjena-u-planovima-za-spalionicu-otpada-u-resniku-11663209> (pristupljeno 12.08.2024)
34. Jakeljić, M., 2016: Metode obrade i recikliranja komunalnog otpada u Hrvatskoj (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:426171> (12.08.2024)
35. Kaur, A., Bharti, R., Sharma, R., 2021: Municipal solid waste as a source of energy. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.286>. (pristupljeno 16.08.2024)
36. Levanić, M., 2016: *Biološka svojstva otpada* (Završni rad). Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:363068> (pristupljeno 12.08.2024)
37. Magnanelli, E., Tranås, O. L., Carlsson, P., Mosby, J., Becidan, M., 2020: Dynamic modeling of municipal solid waste incineration, *Energy*, Elsevier, vol. 209(C). DOI: 10.1016/j.energy.2020.118426 (pristupljeno 16.08.2024)
38. Martinek, A., 2016: *Mogućnosti iskorištavanja otpada u energetske svrhe* (Završni rad). Osijek: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:261064> (pristupljeno 12.08.2024)
39. MINGOR. Izvješća o komunalnom otpadu za 2018., 2019., 2020., 2021. i 2022. godinu. <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/gospodarenje-otpadom-0> (pristupljeno 20.08.2024)
40. Ministarstvo gospodarstva. 2014: Tehničko – tehnološko rješenje postojećeg postrojenja odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac. <https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/Okoli%C5%A1na%20dozvola/OUZO->

- [postoje%C4%87e/Tehnicko-tehnolosko_rjesenje_\(Jakusevec\).pdf](#) (pristupljeno 21.08.2024)
41. Nacional. 2023: Novi odron smeća na Jakuševcu, ozlijeđeno više osoba. <https://www.nacional.hr/novi-odron-smeca-na-jakusevcu-ozlijedeno-vise-osoba/> (pristupljeno 12.08.2024)
 42. Nakić, Z., Prce, M. i Posavec, K., 2007: Utjecaj odlagališta otpada jakuševac-prudinec na kakvoću podzemne vode. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 19 (1), 34-45. Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/19291> (pristupljeno 21.08.2024)
 43. Novoselec, F., 2019: Konstrukcija spalionice otpada i energetska-ekonomska analiza potencijalne spalionice otpada u Zagrebu (Završni rad). Karlovac: Veleučilište u Karlovcu. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:204879>(pristupljeno 10.08.2024)
 44. Odluka Ustavnog suda Republike Hrvatske broj: U-I-2934/2022 od 14. studenoga 2023. (NN 142/2023) (pristupljeno 10.08.2024)
 45. Perkov, I., 2021: Krićka analiza normativnog okvira o gospodarenju otpadom u Zagrebu i Hrvatskoj. *Socijalna ekologija*, 30 (3), 395-425. <https://doi.org/10.17234/SocEkol.30.3.4> (pristupljeno 20.08.2024)
 46. Pivac, L., 2023: Analiza i stanje gospodarenja otpadom u nekim gradovima Hrvatske (Diplomski rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:850501> (PRISTUPLJENO 11.08.2024)
 47. Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine (NN 84/23). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_07_84_1334.html. (pristupljeno 12.08.2024)
 48. Poslovni dnevnik. 2024: Primjeri Danske i Švedske dokazuju da je energane na otpad moguće uklopiti u siguran i održiv sustav. <https://www.poslovni.hr/vijesti/primjeri-danske-i-svedske-dokazuju-da-je-energane-na-otpad-moguće-uklopiti-u-siguran-i-odrziv-sustav-4452257> (pristupljeno 08.08.2024)
 49. Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 81/20) (pristupljeno 10.08.2024)
 50. Reuters. To get to zero-waste, hundreds of European cities are spurning incineration 2024: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/get-zero-waste-hundreds-european-cities-are-spurning-incineration-2024-04-22/> (pristupljeno 12.08.2024)
 51. Rio on Watch. Why Does Sweden Import Waste from Other Countries? 2019: <https://rioonwatch.org/?p=54109> (pristupljeno 13.08.2024)
 52. Rivić, L., 2022: *MBO procesi obrade komunalnog otpada* (Završni rad). Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:784704> (pristupljeno 11.08.2024)
 53. Rosan, A., 2017: *Povijesni pregled razvoja gospodarenja otpadom* (Završni rad). Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:940893> (pristupljeno 19.08.2024)
 54. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) (pristupljeno 01.09.2024)
 55. Tehnix. Realizirani projekti sortirnice. <https://www.tehnix.hr/realizirani-projekti-sortirnice> (pristupljeno 25.08.2024)

56. TEHNOEKO. 2022: Austrija je, odmah iza Švicarske, već 2004. godine zabranila odlaganje neobrađenog otpada. <https://www.tehnoeko.com.hr/7612/austrija-je-odmah-iza-svicarske-vec-2004-godine-zabranila-odlaganje-neobradjenog-otpada>(pristupljeno 12.08.2024)
57. TEHNOEKO. 2024: Tehnologije za energetska gospodarenje otpadom u funkciji su zaštite okoliša i nužne su za cirkularnu ekonomiju. <https://www.tehnoeko.com.hr/9864/tehnologije-za-energetska-gospodarenje-otpadom-u-funkciji-su-zastite-okolisa-i-nuzne-su-za-cirkularnu-ekonomiju>(pristupljeno 02.09.2024)
58. TEHNOEKO. 2023: 60 godina spalionice u Beču i budućnost energana na otpad. <https://www.tehnoeko.com.hr/9172/60-godina-spalionice-u-becu-i-buducnost-energana-na-otpad> (pristupljeno 02.09.2024)
59. Udruga gradova. Hoće se – može se: Waste-to-Energy u Švedskoj. 2023: <https://www.udruga-gradova.hr/hoce-se-moze-se-waste-to-energy-u-svedskoj/> (pristupljeno 13.08.2024)
60. Vahtar-Jurković, K., & Tokić, S., 2023: Unaprjeđenje gospodarenja komunalnim otpadom primjenom koncepta pametnog grada. Zbornik Radova (Građevinski Fakultet Sveučilišta U Rijeci), 26(1), 11-27. <https://doi.org/10.32762/zr.26.1.1>(pristupljeno 21.08.2024)
61. Varaždin: Nakon 18 godina odvezena prva bala smeća iz Brezja <https://vijesti.hrt.hr/hrvatska/varazdin-nakon-18-godina-odvezena-prva-bala-smeca-iz-brezja-11352585> (pristupljeno 25.08.2024)
62. Vlahović, A., 2022: Analiza zbrinjavanja baliranog otpada u Hrvatskoj (Završni rad). Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:190:484357> (pristupljeno 04.08.2024)
63. Zakon EU-a o gospodarenju otpadom. <https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/summary/eu-waste-management-law.html> (pristupljeno 11.08.2024)
64. Zakon o gospodarenju otpadom (NN 84/21, 142/23). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2021_07_84_1554.html (pristupljeno 10.08.2024)
65. Zakon o otpadu (NN 178/04) (pristupljeno 11.08.24)
66. Zagreb info. 2023: Golemi odron smeća na Jakuševcu: Zagrepčani se žale na smrad, o svemu se oglasili iz Grada. <https://www.zagreb.info/vijesti/golemi-odron-smeca-na-jakusevcu-zagrepčani-se-zale-na-smrad-o-svemu-se-oglasili-iz-grada/567563/> (pristupljeno 19.08.2024)
67. Zagreb info. 2023: Stručnjakinja o gospodarenju otpadom u Zagrebu: ‘I moji studenti mogu vidjeti da je ovo sustav koji ne daje rezultate. <https://www.zagreb.info/vijesti/strucnjakinja-o-gospodarenju-otpadom-u-zagrebu-i-moji-studenti-mogu-vidjeti-da-je-ovo-sustav-koji-ne-daje-rezultate/580664/> (pristupljeno 19.08.2024)
68. Zelena akcija. 2024: <https://www.zelena-akcija.hr/hr/vijesti/citajte-nas-zasto-ne-spaljivanju-otpada> (pristupljeno 13.08.2024)

69. ZCGO. Sadašnji način gospodarenja otpadom. <https://www.zcgo.hr/gospodarenje-otpadom-zagreb-pregled/sadasnji-nacin-gospodarenja-otpadom> (pristupljeno 20.08.2024)
70. Waste management in the EU: infographic with facts and figures. <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vknekgghpfirm?ctx=vhsjgh0wpcp9> (pristupljeno 11.08.2024)
71. Wienchol, P., Szlęk, A., Ditaranto, M., 2020: Waste-to-energy technology integrated with carbon capture – Challenges and opportunities, Energy, Elsevier, vol. 198(C). DOI: 10.1016/j.energy.2020.117352. (pristupljeno 18.08.2024)