

# Mogućnosti energetske oporabe otpada u Republici Hrvatskoj i utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje

---

**Lužaić, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:572285>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-22**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Marko Lužaić

MOGUĆNOSTI ENERGETSKE OPORABE OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ I  
UTJECAJ ENERGANNA NA OTPAD NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Marko Lužaić

MOGUĆNOSTI ENERGETSKE OPORABE OTPADA U REPUBLICI HRVATSKOJ I  
UTJECAJ ENERGANNA NA OTPAD NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE

Diplomski rad

Rijeka, 2023.

Mentor rada: prof. dr. sc. Luka Traven, dipl. ing.

Diplomski rad obranjen je dana 14.07.2023. na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci, pred povjerenstvom u sastavu:

1. doc. dr. sc. Marin Glad, dipl.sanit.ing.
2. doc. dr. sc. Dijana Tomić Linšak, dipl. sanit. ing.
3. prof. dr. sc. Luka Traven, dipl. ing.

Rad sadrži 52 stranice, 13 slika, 14 tablica i 34 literaturna navoda.

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem mojem mentoru, prof. dr. sc. Luki Traveni dipl. ing., na uloženom vremenu, nesebičnom dijeljenju znanja, iskazanoj susretljivosti i trudu te neograničenom strpljenju.*

*Hvala i mojoj obitelji i Ivani na bezrezervnoj podršci bez koje niti jedan uspjeh ne bi bio moguć. Također hvala svim bliskim ljudima koji su mi omogućili uspješno studiranje ispunjeno zadovoljstvom.*

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Otpad.....	1
1.1.2. Kategorizacija otpada.....	1
1.2. Gospodarenje otpadom.....	4
1.2.1. Red prvenstva gospodarenja otpadom.....	4
1.2.2. Gospodarenje otpadom u Europskoj uniji.....	5
1.2.3. Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj.....	7
1.3. Oporaba otpada.....	9
1.4. Energetska uporaba otpada.....	9
1.4.1. Tehnološki proces energetske uporabe otpada termičkim postupkom.....	11
1.4.2. Produkti tehnološkog procesa energetske uporabe otpada termičkim postupkom i njihova kontrola.....	15
1.4.3. Energetska uporaba otpada u svijetu.....	17
1.4.4. Energetska uporaba otpada u Republici Hrvatskoj.....	20
1.5. Energana na neopasni otpad i biomasu Sisak.....	23
1.5.1. Tehnološki proces.....	24
1.5.2. Utjecaj energane na stanovništvo i okoliš.....	29
2. CILJ RADA.....	31
3. MATERIJALI I POSTUPCI.....	32
3.1. Mogućnosti energetske uporabe otpada u Republici Hrvatskoj.....	32
3.1.1. Godišnje količine nastalog miješanog komunalnog otpada.....	32
3.1.2. Sastav miješanog komunalnog otpada.....	32
3.1.3. Ogrjevna vrijednost miješanog komunalnog otpada.....	32
3.1.4. Energija koja se može dobiti energetskom uporabom miješanog komunalnog otpada termičkim postupkom.....	33
3.1.5. Scenariji potencijalne količine miješanog komunalnog otpada dostupnog za energetsku uporabu.....	34
3.2. Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje.....	34
4. REZULTATI.....	35
4.1. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj.....	35
4.1.1. Godišnje količine nastalog miješanog komunalnog otpada.....	35
4.1.2. Sastav miješanog komunalnog otpada.....	36

4.1.3. Ogrjevna vrijednost miješanog komunalnog otpada .....	37
4.1.4. Energija koja se može dobiti energetsom uporabom miješanog komunalnog otpada termičkim postupkom .....	39
4.2. Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje.....	40
5. RASPRAVA .....	44
6. ZAKLJUČAK.....	47
7. LITERATURA.....	48
8. POPIS SKRAĆENICA I AKRONIMA .....	51
9. ŽIVOTOPIS.....	52

## SAŽETAK

Otpad nastaje kao posljedica svakodnevnih ljudskih aktivnosti, ima važan utjecaj na okoliš i život ljudi iz čega proizlazi potreba za aktivnim i efikasnim gospodarenjem otpadom. Jedan od načina gospodarenja otpadom je i energetska uporaba istoga (eng. Waste-to-Energy). S obzirom na činjenicu da u RH trenutno ne postoje aktivna postrojenja za energetske uporabe otpada termičkim postupkom („energane na otpad“), kroz izračun energetskog potencijala miješanog komunalnog otpada koji nastaje na državnom teritoriju predstavljene su mogućnosti energetske uporabe otpada u RH. Količina električne energije koja se potencijalno može proizvesti iz miješanog komunalnog otpada termičkim postupkom u RH iznosi između 1,02% i 3,26% ukupne potrošnje električne energije u RH. Količina topline koja se može proizvesti iznosi između 343.652 GJ/god i 1.099.683 GJ/god. Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje prikazan je pomoću podataka o emisijama onečišćujućih tvari iz postojećih energana na području petnaest država članica EU i Norveške. Energane na otpad opremljene adekvatnim sustavom za čišćenje dimnih plinova emitiraju količine onečišćujućih tvari ispod propisanih graničnih vrijednosti što u konačnici nema štetni utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Uz pridržavanje prvenstva gospodarenja otpadom, energetska uporaba otpada termičkim postupkom predstavlja okolišno i zdravstveno prihvatljivu opciju za smanjenje ukupne količine otpada uz efikasnu proizvodnju električne energije i topline. Dodatno, Europska unija je postavila određene zahtjeve u pogledu gospodarenja otpadom koje će biti teško ispuniti bez primjene energetske uporabe otpada termičkim postupkom. U skladu s time, potrebno je razmotriti primjenu iste u Republici Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** energetska uporaba otpada, gospodarenje otpadom, miješani komunalni otpad, energetski potencijal otpada, utjecaj na okoliš i zdravlje



## SUMMARY

Waste is created as a consequence of everyday human activities, it has an important impact on the environment and people's lives. This results in the need for active and efficient waste management. One of the ways of waste management is “Waste-to-Energy”. Considering the fact that in the Republic of Croatia there are no active waste-to-energy plants, the possibilities of energy recovery of waste in the Republic of Croatia are displayed through the calculation of combined heat and power generation using municipal solid waste that is generated on state territory as the fuel source. The quantity of electricity that can potentially be produced from municipal solid waste by the thermal treatment in the Republic of Croatia is between 1.02% and 3.26% of the total electricity consumption in the Republic of Croatia. The quantity of heat that can be produced is between 343,652 GJ per year and 1,099,683 GJ per year. The impact of waste-to-energy plants on the environment and public health is presented via pollutant emissions data collected from existing waste-to-energy plants in fifteen EU member states and Norway. Waste-to-energy plants, which are equipped with adequate flue gas cleaning systems, emit pollutants quantities that are below the prescribed emission levels, having ultimately no harmful impact on the environment and public health. Apart from the prioritising of waste management, the energy recovery of waste is both an environmental-friendly and health-friendly option aimed towards the reducing of the total amount of waste, at the same time delivering an efficient production of electricity and heat. In addition, the European Union has set certain requirements regarding waste management that will be difficult to fulfill without the application of waste-to-energy processes. Accordingly, it is necessary to consider its application in the Republic of Croatia.

**Keywords:** Waste-to-Energy, waste management, municipal solid waste, combined heat and power generation, impact on the environment and public health

## **1. UVOD**

### **1.1. Odpad**

Otpad je, prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 084/2021), svaki predmet ili tvar koja posjedniku više nije potrebna i koju odbacuje (1).

On nastaje zahvaljujući ljudskim aktivnostima i ima utjecaj na zdravlje i okoliš. Otpad, naime, može biti uzrok emisija onečišćujućih tvari u zrak, tlo ili vodu. Utjecaj takvih emisija ovisi, ponajprije, o vrsti otpada, njegovim svojstvima, količini te načinu gospodarenja istim (2).

Prema fizikalno-kemijskim svojstvima otpad se može podijeliti na:

- opasni otpad,
- neopasni otpad i
- inertni otpad (2).

Opasnim otpadom nazivamo svaki otpad koji posjeduje opasna svojstva koja su navedena u Tablici 3. Neopasni otpad označava svaki otpad koji nema opasna svojstva, a inertni otpad je otpad koji nije podložan biorazgradnji, koji ne reagira fizikalno ili kemijski, koji ne podliježe značajnijim kemijskim, biološkim i fizičkim promjenama, koji nije topiv te koji nema svojstva za gorenje (1).

#### **1.1.2. Kategorizacija otpada**

Nakon nastanka otpada, potrebno je provesti njegovu kategorizaciju (2).

Kategorizacija otpada podrazumijeva:

- određivanje podrijetla i mjesta gdje otpad nastaje,
- određivanje grupa, podgrupa i ključnog broja otpada (KBO) sukladno Katalogu otpada (3).

Ovisno o kategorizaciji, određuje se način sakupljanja, recikliranja i eventualnog odlaganja otpada. Provedbu kategorizacije dužan je osigurati posjednik otpada, a ukoliko to nije u mogućnosti, dužan je osigurati kategorizaciju angažiranjem ovlaštenog laboratorija (4).

U postupku određivanja podrijetla i mjesta nastanka otpada, potrebno je odrediti djelatnost i lokaciju na kojoj je otpad nastao.

Kao što je navedeno, kategorizacija obuhvaća i postupke određivanja grupa, podgrupa i vrsta otpada sukladno Katalogu otpada kojega propisuje Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 106/2022). Sastoji se od uputa za sami postupak kategorizacije, popisa grupa otpada, popisa vrsta otpada, popisa karakterističnih opasnih svojstava za pojedine vrste otpada te od informacija o kategorizaciji za prekogranični promet otpadom. Grupe otpada su određene u odnosu na vrstu industrije i procesa u kojima dolazi do nastajanja otpada ili u skladu s vrstom otpadnih tvari (4). Ima ih 20 i sastoje se od dvoznamenkastog broja i naziva grupe.

**Tablica 1.** Popis grupa otpada (3)

Broj	Naziv grupe
01	Otpad koji nastaje pri istraživanju, eksploatiranju i fizikalno-kemijskoj obradi mineralnih sirovina
02	Otpad iz poljoprivrede hortikulture, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lovstva i ribarstva, pripremanja i prerade hrane
03	Otpad od prerade drveta i proizvodnje drvenih panela i namještaja, celuloze, papira i kartona
04	Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije
05	Otpad od rafiniranja nafte, pročišćavanja prirodnog plina i pirolitičke obrade ugljena
06	Otpad iz anorganskih kemijskih procesa
07	Otpad iz organskih kemijskih procesa
08	Otpad od proizvodnje, formulacije, dobave i uporabe prevlaka (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstava za brtvljenje i tiskarskih tinta
09	Otpad iz fotografske industrije
10	Otpad iz termičkih procesa
11	Otpad od kemijske površinske obrade i prevlačenja metala i drugih materijala; hidrometalurgije obojenih metala
12	Otpad od mehaničkog oblikovanja te fizikalne i mehaničke površinske obrade metala i plastike
13	Otpadna ulja i otpad od tekućih goriva (osim jestivih ulja i ulja iz poglavlja 05, 12 i 19)
14	Otpad od organskih otapala, rashladnih i potisnih tvari (osim 07 i 08)
15	Otpadna ambalaža; apsorbenzi, tkanine za brisanje, filterski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način
16	Otpad koji nije drugdje specificiran u katalogu
17	Građevinski otpad i otpad od rušenja objekata (uključujući iskopanu zemlju s onečišćenih lokacija)
18	Otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja ljudi i životinja i/ili srodnih istraživanja (osim otpada iz kuhinja i restorana koji ne potječe iz neposredne zdravstvene zaštite)
19	Otpad iz građevina za gospodarenje otpadom, uređaja za pročišćavanje otpadnih voda izvan mjesta nastanka i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu
20	Komunalni otpad (otpad iz kućanstava i slični otpad iz ustanova i trgovinskih i proizvodnih djelatnosti) uključujući odvojeno sakupljene sastojke komunalnog otpada

Podgrupa je oznaka koja se sastoji od četveroznamenkastog broja. Prve dvije znamenke određuju pripadnost odgovarajućoj grupi, a druge dvije znamenke označavaju vrstu predmeta/tvari ili aktivnosti kojima dolazi do nastanka otpada (3).

Popis vrsta otpada naveden je u Katalogu otpada, a čine ga šesteroznamenkasti broj koji nazivamo ključnim brojem otpada (KBO), naziv otpada (naznaka grupe i podgrupe) i oznaka zapisa koja naznačuje karakteristična opasna svojstva (4). Prve dvije znamenke ključnog broja označavaju grupu, slijedeće dvije znamenke podgrupu dok zadnje dvije znamenke dvije znamenke označavaju vrstu otpada u okviru podgrupe (3).

**Tablica 2.** Dio popisa vrsta otpada (dio komunalnog otpada) (3)

<b>20</b>	<b>Komunalni otpad (otpad iz kućanstava i slični otpad iz ustanova, trgovinskih i proizvodnih djelatnosti) uključujući odvojeno sakupljene sastojke komunalnog otpada</b>	
<b>20 01</b>	<b>odvojeno sakupljeni sastojci komunalnog otpada (osim 15 01)</b>	
20 01 01	papir i karton	N
20 01 02	staklo	N
20 01 08	biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina	N
20 01 10	odjeća	N
20 01 11	tekstili	N
20 01 13*	otapala	O53
20 01 14*	kiseline	O53
20 01 15*	lužine	O53
20 01 17*	fotografske kemikalije	O53
20 01 19*	pesticidi	O53

Prilikom provedbe kategorizacije, potrebno je utvrditi sadrži li otpad opasna svojstva. Razvrstavanje otpada kao opasnog za posljedicu ima obvezu drugačijeg postupanja s istim. To se očituje, prije svega, u pogledu označavanja, pakiranja i dostupnih načina njegove obrade (4). Opasni otpad se sukladno Katalogu otpada označava oznakom zvjezdice (\*) (2).

**Tablica 3.** Opasna svojstva otpada sukladno Prilogu III. Uredbe (EU) br. 1357/2014 (5)

<b>Oznaka</b>	<b>Naziv</b>
HP 1	Eksplozivno
HP 2	Oksidirajuće
HP 3	Zapaljivo
HP 4	Nadražujuće – kožne iritacije i ozljede oka
HP 5	Specifična toksičnost za ciljni organ/aspiracijska toksičnost
HP 6	Akutna toksičnost
HP 7	Karcinogeno
HP 8	Nagrizajuće
HP 9	Zarazno

HP 10	Toksično za reprodukciju
HP 11	Mutageno
HP 12	Oslobađanje akutno toksičnih plinova
HP 13	Senzibilizirajuće
HP 14	Ekotoksično
HP 15	Otpad s prethodno navedenim opasna svojstva koja izvorni otpad nije izravno pokazivao

## 1.2. Gospodarenje otpadom

Gospodarenje otpadom podrazumijeva sakupljanje, prijevoz, uporabu i zbrinjavanje otpada uz održavanje lokacija zbrinjavanja te obvezan nadzor nad navedenim postupcima. Postupci koje poduzimaju trgovci i posrednici otpadom također pripadaju gospodarenju otpadom (6).

Otpadom je potrebno gospodariti na način da se zdravlje ljudi ne dovodi u pitanje i da se ne stvara štetni utjecaj na okoliš: ne smije doći do rizika od onečišćenja zraka, tla, mora i ostalih voda, ne smije se ugrožavati biološka raznolikost, ne smije se uzrokovati neugoda uslijed neugodnih mirisa i prevelike buke, ne smije se štetno djelovati na krajolik i ne smije se uzrokovati požar ili eksplozija. To su tzv. temeljni zahtjevi gospodarenja otpadom (1).

### 1.2.1. Red prvenstva gospodarenja otpadom

Gospodarenje otpadom zasniva se na hijerarhiji otpada odnosno na redu prvenstva gospodarenja otpadom koji je propisan Direktivom 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća sljedećim redoslijedom:

1. sprječavanje nastanka otpada,
2. priprema za ponovnu uporabu,
3. recikliranje,
4. drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
5. zbrinjavanje otpada (6).

Kao što je navedeno, prije svega je potrebno spriječiti nastanak otpada. To se može ostvariti na više načina.

Primjerice, u određenim slučajevima moguće je smanjiti količinu upotrijebljenog materijala po proizvodu uz zadržavanje korisnosti/efikasnosti tog proizvoda. Produljenjem

životnog vijeka proizvoda također se pridonosi stvaranju manje količine otpada. Nastanak otpada može se spriječiti i eliminiranjem potrebe za određenim proizvodima (7).

Ponovna uporaba proizvoda je uobičajeni dio našega društva kojeg je potrebno još više razvijati. Neki od primjera jesu ponovna uporaba tekstila, papirnatih vrećica iz supermarketa, ambalaže jela i pića itd. (7).

Kada se govori o recikliranju, ono je jedan od postupaka uporabe otpada. Recikliranjem se otpadni materijali mogu preraditi u proizvode za njihove izvorne ili druge svrhe izuzev energetske svrha (1). Postupak recikliranja preferirani je postupak u odnosu na ostale postupke uporabe otpada i njegovog odlaganja.

Sam pojam „uporaba otpada“ općenito označava postupke koji za posljedicu imaju uporabu otpada u korisne svrhe. Naime, otpadom se zamjenjuju materijali koji bi inače bili upotrijebljeni u tu svrhu (1). Detaljnije informacije o uporabi otpada nalaze se u poglavlju 1.3.

Zadnji i najmanje poželjan postupak u okviru hijerarhije postupanja s otpadom jest zbrinjavanje otpada (1).



Slika 1. Red prvenstva gospodarenja otpadom (8)

### 1.2.2. Gospodarenje otpadom u Europskoj uniji

Gospodarenje otpadom u Europskoj uniji zasniva se na tzv. Okvirnoj direktivi o otpadu odnosno na Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća. Posljednja izmjena navedene Direktive izvršena je 2018. godine Direktivom (EU) 2018/851 Europskog parlamenta i Vijeća.

Propisi Europske unije također sadržavaju i ostale direktive, uredbe i odluke koje se tiču područja gospodarenja otpadom.

U svrhu adekvatnog i učinkovitog pridržavanja ranije spomenutog reda prvenstva gospodarenja otpadom, Europska unija je godine 2015. donijela Akcijski plan za kružno gospodarstvo pod nazivom „Zatvaranje petlje – akcijski plan EU-a za kružno gospodarstvo“ dok je 2020. godine donijela novi „Akcijski plan za kružno gospodarstvo: za čišću i konkurentniju Europu“ (9).

Prema navedenim planovima, cilj je prijeći na tzv. kružno gospodarstvo. To je model kojim se zastupa visoka razina dijeljenja, posudbe, popravljivanja i obnavljanja proizvoda i materijala kao i njihove ponovne uporabe i recikliranja u svrhu stvaranja dodatne i duže vrijednosti proizvoda. Tako se produljuje trajanje materijala i proizvoda dok se istovremeno uzrokuje smanjenje stvaranja otpada što odgovara prvom postupku reda prvenstva gospodarenja otpadom (10).

Kružnim gospodarstvom uvodi se koncept "zatvaranja petlje" u okvir upravljanja otpadom. Mjere kružnog gospodarstva pokrivaju cijeli životni ciklus sirovina, materijala ili proizvoda tako da se najveći naglasak stavlja na smanjenje proizvodnje otpada. Boljim dizajnom proizvoda omogućuje se upravo smanjenje proizvodnje otpada, dostupnija mogućnost njegovog ponovnog korištenja kao i mogućnost recikliranja (11).

Rezultat akcijskog plana za kružno gospodarstvo je usvajanje četiri Direktive o otpadu, („paket o otpadu“):

- Direktiva (EU) 2018/849 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni direktiva 2000/53/EZ o otpadnim vozilima, 2006/66/EZ o baterijama i akumulatorima i o otpadnim baterijama i akumulatorima te 2012/19/EU o otpadnoj električnoj i elektroničkoj opremi

- Direktiva (EU) 2018/850 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 1999/31/EZ o odlagalištima otpada

- Direktiva (EU) 2018/851 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2008/98/EZ o otpadu

- Direktiva (EU) 2018/852 Europskog parlamenta i Vijeća od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu (9)

Najvažnije izmjene koje donose direktive „Paketa o otpadu“ su ciljevi za države članice EU. Naime, do 2030. godine zabranjuje se odlaganje otpada koji je podložan uporabi i

recikliranju te se uvodi obveza smanjenja odlaganja komunalnog otpada na maksimalno 10 % od ukupno proizvedenog otpada do 2035. godine. Dana je mogućnost odgode za postizanje smanjenja odlaganja komunalnog otpada za dodatnih 5 godina za određene države članice sukladno postotku odlaganja otpada na odlagališta (12).

Osim mjera koje pridonose sprječavanju nastanka otpada, njegovoj ponovnoj uporabi i recikliranju, navedenim direktivama uvedeni su i dodatni zahtjevi koji se moraju uvrstiti u nacionalne planove gospodarenja otpadom kao i u programe za sprječavanje nastanka otpada država članica (9).

Dodatno, 2019. godine donesena je Direktiva (EU) 2019/904 Europskog parlamenta i Vijeća. Također je važno spomenuti i Europski zeleni plan koji podržava ispunjavanje nacionalnih obveza iz navedenih direktiva „Paketa o otpadu“ (9).



Slika 2. Model kružnog gospodarstva (10)

### 1.2.3. Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj

Gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj predvode Vlada Republike Hrvatske i Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja (MINGOR) propisivanjem postupaka gospodarenja otpadom, donošenjem strateško-planskih dokumenata i donošenjem zakonskih propisa. (2)

Od 1.1.2019. Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja pripojena je Hrvatska agencija za okoliš i prirodu (HAOP) čije poslove od tada preuzima Zavod za zaštitu okoliša i prirode Ministarstva koji se bavi prikupljanjem i vođenjem podataka na području gospodarenja otpadom, vođenjem informacijskog sustava gospodarenja otpadom (elektronski Očevidnik o



nastanku i tijeku otpada (e-ONTO)), izradom niza izvješća o gospodarenju otpadom te provedbom izvješćivanja sukladno relevantnim propisima Europske unije (2).

Provedbeno tijelo na razini države je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU) koji osigurava dodatna sredstva za financiranje raznih aktivnosti u području zaštite i unaprjeđenja okoliša, ima nadležnost pri donošenju upravnih akata u vezi plaćanja naknada te vodi očevidnik obveznika plaćanja. (2)

Na regionalnoj razini nadležnost imaju Upravna tijela županija i Grada Zagreba koja se bave poslovima zaštite okoliša. (2)

Inspekcijski nadzor nad gospodarenjem otpadom provodi Državni inspektorat Republike Hrvatske, Sektor za nadzor zaštite okoliša, zaštite prirode i vodopravni nadzor.

Nacionalno zakonodavstvo je u potpunosti usklađeno s propisima Europske unije. Usklađeno je, prije svega, kroz Zakon o gospodarenju otpadom (NN 084/2021). Također, doneseni su nacionalni propisi u obliku pravilnika, naputaka i odluka kojima se uređuje područje gospodarenja otpadom. Dodatno su donijeti i strateško – planski dokumenti kao što su Planovi gospodarenja otpadom.

Člankom 109. Zakona o gospodarenju otpadom (NN 084/2021) propisuje se obveza donošenja Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske od strane Vlade. Evaluacija Plana se mora raditi najmanje jednom u šest godina.

Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023 - 2028. je u fazi donošenja. Nakon što je izrađen Prijedlog Plana, u ožujku 2023. godine proveden je postupak savjetovanja sa zainteresiranom javnošću te se sada (svibanj 2023.) u Ministarstvu gospodarstva i održivog razvoja provodi razmatranje pristiglih primjedbi i mišljenja.

Navedeni Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. – 2028. godine predstavljat će nacionalni krovni planski dokument kojim će se sustav gospodarenja otpadom na području Republike Hrvatske uskladiti s novim ciljevima i politikama Europske unije u području gospodarenja otpadom. Plan će se u svakom slučaju temeljiti na ciljevima do 2035. godine sukladno kojima se trenutačno planira razvoj sustava gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj. (9)

### **1.3. Oporaba otpada**

Kao što je navedeno u poglavlju 1.2., uporaba otpada podrazumijeva postupke koji za posljedicu imaju uporabu otpada u korisne svrhe kada otpad zamjenjuje druge materijale koji bi se inače upotrijebili u tu svrhu. (1)

U Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća naveden je popis postupaka koji se smatraju uporabom otpada. Isti popis prenesen je i u zakonodavstvo Republike Hrvatske. Sastavni je dio Zakona o gospodarenju otpadom (NN 084/2021).

Postupci su označeni slovom R i pridruženim brojem:

- R 1 Korištenje otpada uglavnom kao goriva ili drugog načina dobivanja energije,
- R 2 Obnavljanje/regeneracija otpadnog otapala,
- R 3 Recikliranje/obnavljanje otpadnih organskih tvari koje se ne koriste kao otapala,
- R 4 Recikliranje/obnavljanje otpadnih metala i spojeva metala,
- R 5 Recikliranje/obnavljanje drugih otpadnih anorganskih materijala,
- R 6 Regeneracija otpadnih kiselina ili lužina,
- R 7 Oporaba otpadnih sastojaka koji se koriste za smanjivanje onečišćenja,
- R 8 Oporaba otpadnih sastojaka iz katalizatora,
- R 9 Ponovna prerada otpadnih ulja ili drugi načini ponovne uporabe otpadnih ulja,
- R 10 Tretiranje tla otpadom u svrhu poljoprivrednog ili ekološkog poboljšanja,
- R 11 Oporaba otpada nastalog bilo kojim postupkom R 1 do R 10,
- R 12 Razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 11,
- R 13 Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe R 1 do R 12 i drugi postupci propisani posebnim propisom. (6)

### **1.4. Energetska uporaba otpada**

Pretvorba otpada u energiju (eng. Waste-to-Energy) odnosi se na različite tehnologije obrade otpada kojima se dobiva električna energija, toplinska energija, gorivo ili drugi materijali, kao i niz ostataka iz radnog procesa uključujući pepeo, mulj, otpadne vode i emisije različitih tvari. (13)

Postupci pretvorbe otpada u energiju mogu se klasificirati u četiri kategorije:

- termički (toplinski) postupak,
- mehaničko - toplinski postupak,

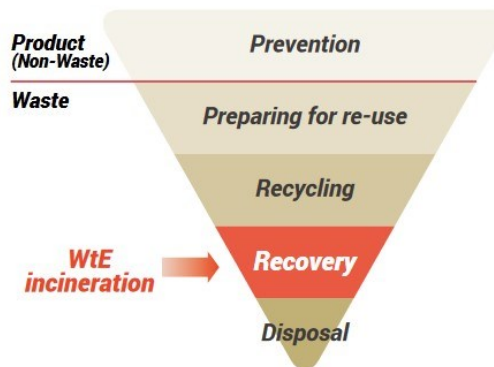
- termokemijski postupak i
- biokemijski postupak. (13)

Ukoliko pretvorbu otpada u energiju promatramo kroz red prvenstva gospodarenja otpadom, ona se može, ovisno o vrsti postupka pretvorbe i razini uporabe, razvrstati u postupke recikliranja, drugih postupaka uporabe ili zbrinjavanja otpada. (13)

U ovome će radu biti prikazan termički postupak obrade otpada uz povrat električne i toplinske energije. Pod pojmom „energetska uporaba otpada“ podrazumijevat će se upravo navedeni način obrade otpada.

Energetska uporaba otpada termičkim postupkom sukladno Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (6), svrstava se u postupak uporabe R1 - korištenje otpada uglavnom kao goriva ili drugog načina dobivanja energije, ukoliko zadovoljava uvjete energetske efikasnosti. Više o postupku R1 slijedi na kraju ovoga poglavlja.

U skladu sa spomenutom hijerarhijom otpada sadržanom u Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (6), energetska uporaba otpada pripada drugim postupcima uporabe (Slika 3.). Drugi postupci uporabe, pa tako i energetska uporaba, preferiraju se u odnosu na zbrinjavanje (odlaganje) otpada, no ne i u odnosu na postupke sprječavanja nastanka otpada, ponovnu uporabu i recikliranje materijala.



**Slika 3.** Položaj energetske uporabe otpada termičkim postupkom (eng. WtE incineration) u okviru reda prvenstva gospodarenja otpadom (14)

Ipak, takav način uporabe otpada je važan dio prihvaćenog reda prvenstva gospodarenja otpadom i može biti značajan alat za izbjegavanje odlaganja otpada nakon što se iskoriste iznad navedeni postupci koji imaju prioritet korištenja (15). Energetskom uporabom otpada također dolazi do smanjenja volumena i količine otpada (16). Povrh toga, proizvodi se i određena

količina električne i toplinske energije što doprinosi energetskej održivosti i samodostatnosti pojedinih država ili regija.

Otpad se energetskej oporabljuje u postrojenjima za termičku odnosno energetskej oporabu otpada (eng. Waste-to-Energy plants). Takva postrojenja nazivaju se i energanama na otpad te su prihvaćena diljem svijeta kao dio održivog rješenja za gospodarenje otpadom.

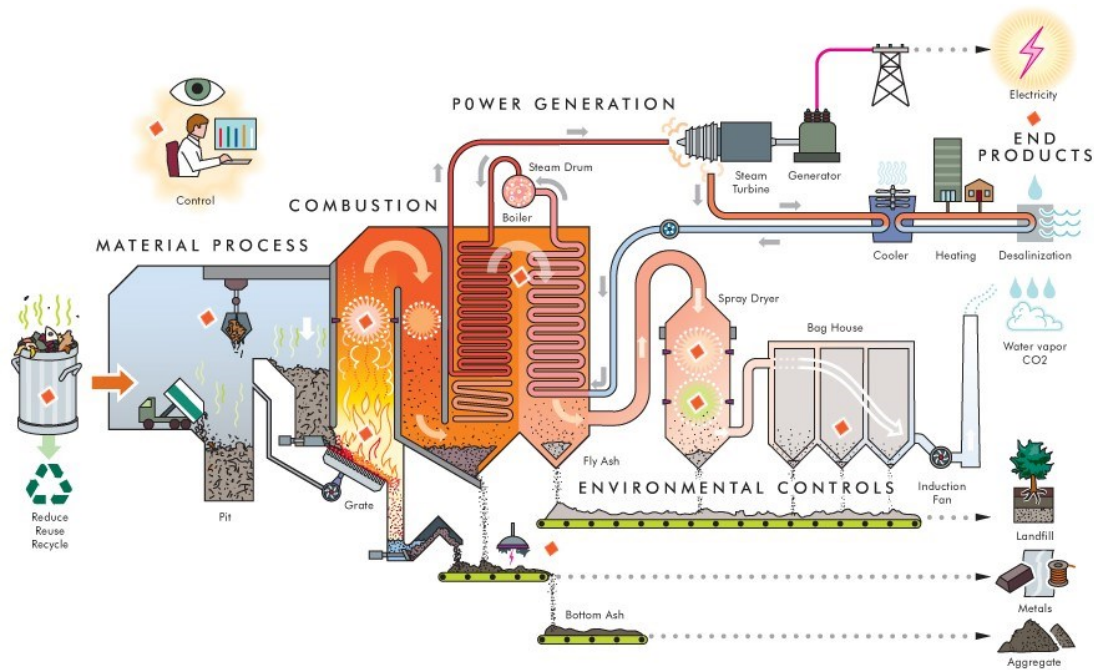
Energane na otpad se koriste, ali nisu ogranićene, za oporabu sljedećih vrsta otpada:

- miješani i ostali komunalni otpad koji se ne može ponovno uporabiti ili materijalno uporabiti,
- gorivo iz otpada dobiveno mehanićko-biološkom obradom otpada,
- ostatci iz proizvodnje drveta i proizvoda od drveta,
- otpadni mulj nastao obradom komunalnih otpadnih voda,
- ostali otpad u skladu s relevantnim pravilnicima (9).

#### **1.4.1. Tehnološki proces energetske oporabe otpada termičkim postupkom**

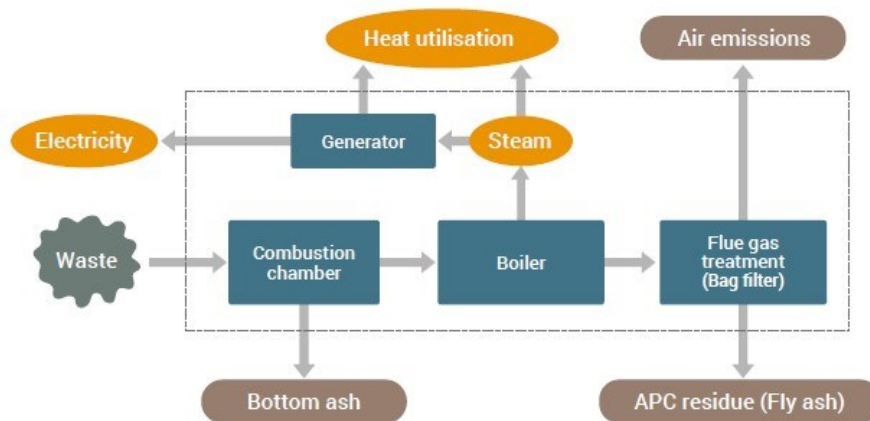
Osim procesa same termičke obrade i stvaranja energije iz otpada, tehnološki proces u energanama na otpad odnosno postrojenjima za energetskej oporabu otpada termičkim postupkom podrazumijeva i niz ostalih postupaka koji su navedeni u nastavku:

- prihvata otpada i sirovina,
- skladištenje otpada i sirovina,
- prethodna obrada otpada (prema potrebi, na lokaciji ili izvan nje),
- doziranje otpada,
- termička obrada otpada,
- povrat energije i njezina pretvorba,
- čišćenje dimnih plinova,
- upravljanje ostacima od čišćenja dimnih plinova,
- ispuštanje dimnih plinova,
- mjerenje i kontrola emisija,
- obrada otpadnih voda,
- upravljanje pepelom,
- upravljanje krutim ostacima (17).



Slika 4. Prikaz tehnološkog procesa tipičnog postrojenja za energetske upotrebe otpada termičkim postupkom (18)

Naravno, nisu sve energije identične. Postoje razlike u načinima provedbe i izvedbe navedenih postupaka tehnološkog procesa ovisno o vrsti i karakteristikama otpada (17). U svakom slučaju, moguće je prikazati općeniti dijagram tijekom tehnološkog procesa koji predstavlja rad većine današnjih postrojenja za energetske upotrebe otpada termičkim postupkom.



Slika 5. Dijagram tijekom tehnološkog procesa u tipičnom postrojenju za energetske upotrebe otpada termičkim postupkom (14)

Općenito, nakon što se otpad i sirovine zaprimaju u energanu, potrebno je osigurati njihovo skladištenje do uporabe. Također, za određene vrste otpada potrebno je provesti predobradu

kako bi se stvorili uvjeti za korištenje istoga, npr. sušenje mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) (17). Predobrada se može provoditi na lokaciji energane, ali i izvan nje.

Sama proizvodnja energije započinje u komori za izgaranje (7) u koju je potrebno dozirati količinu otpada (goriva) koji će se termički obrađivati.

Postoje tri glavne metode termičke obrade otpada:

- izgaranje,
- piroliza i
- rasplinjavanje (17).

Izgaranje (engl. combustion) je proces kojim se tvari potpuno termički razgrađuju uz dovoljnu količinu kisika u svrhu potpune oksidacije goriva. (16) Za različite vrste otpada primjenjuju se i različite tehnologije izgaranja:

- izgaranje na rešetci,
- izgaranje u rotacijskim pećima,
- izgaranje u fluidiziranom sloju (17).

Komore s rešetkom imaju široku primjenu u termičkoj obradi miješanog komunalnog otpada (MKO). U Europi otprilike 90% energana koje koriste MKO kao gorivo koriste i komore s rešetkom. Navedenim načinom također se mogu obrađivati ostali neopasni otpad, mulj s UPOV-a i određeni medicinski otpad. (17) Otpad koji ulazi u proces izgara dok se postupno kreće nizvodno na pomičnoj rešetki. Komora za izgaranje podijeljena je u tri stupnja: "suha zona", "zona gorenja" i "burn out zona". U zoni gorenja dovodi se količina zraka dovoljna za izgaranje zapaljivih tvari, dok u burn out zoni neizgoreni, ali zapaljivi ostatak potpuno izgara. Dizajn i način rada ovakvih komora moraju se prilagoditi količini i kvaliteti odnosno karakteristikama otpada (14).

Rotacijske peći (komore) su vrlo robusne što im omogućava potencijalnu termičku obradu gotovo svih vrsta otpada, a posebno se primjenjuju za spaljivanje opasnog otpada. Radna temperatura peći iznosi između 850 °C i 1300 °C (17). Otpad gravitacijom putuje niz rešetku za paljenje u rotirajuću peć gdje dolazi do izgaranja. Takve peći pružaju najveću turbulenciju od svih rešetkastih sustava čime se ubrzava proces izgaranja (7).

Izgaranje u fluidiziranom sloju provodi se u komori za izgaranje u čijem se donjem dijelu nalazi sloj (najčešće) pijeska u koji se upuhuje prethodno zagrijani zrak kako bi se stvorio fluidizirani sloj (14). Otpad odnosno gorivo se raspršuje po cijelom prostoru komore čime se

stvaraju turbulencije koje poboljšavaju kontakt goriva s kisikom, a također se omogućuje i dobra raspodjela goriva u fluidiziranom sloju. Tako se postiže visoka kvaliteta izgaranja (preko 99%) i veća iskoristivost komore koja iznosi više od 90% bez obzira na udio vlage u otpadu i ujednačenost kvalitete goriva (19). Temperatura u slobodnom prostoru komore iznad fluidiziranog sloja kreće se između 850 °C i 950 °C, dok je temperatura u samom fluidiziranom sloju oko 650 °C (17). Ova vrsta termičke obrade otpada prikladnija je za homogene materijale kao što je mulj iz UPOV-a (14), a često se koristi u postrojenjima većih snaga (19).

Osim izgaranja, kao glavne metode termičke obrade otpada spomenute su piroliza i rasplinjavanje. Te se metode mogu smatrati alternativnim tehnologijama termičke obrade otpada. Koriste se u mnogo manjoj mjeri u odnosu na termičku obradu izgaranjem. Piroliza predstavlja termičku razgradnju organskih molekula otpada na temperaturi između 500°C i 800°C što rezultira stvaranjem plina i krute frakcije dok je rasplinjavanje proces sličan pirolizi, ali dolazi do nastajanja plina. Rasplinjavanje je, dakle, parcijalna termička razgradnja tvari u prisustvu nedovoljne količine kisika da bi gorivo u potpunosti oksidiralo (17, 16) Važno je naglasiti da se standardne tehnologije koje se koriste pri termičkoj obradi otpada izgaranjem (rešetke, rotacijske peći i fluidizirani sloj) mogu prilagoditi tako da se njima vrše procesi pirolize i rasplinjavanja. Primjeri prilagodbe mogu biti smanjenje koncentracije kisika, smanjenje temperature obrade otpada itd. (17).

U komori izgaranja nastaju dimni plinovi (temperature 850°C do 950 °C) koji se moraju ohladiti kako bi se mogli obraditi. Njihova se toplina predaje u kotlu koji proizvodi pregrijanu paru tijekom procesa hlađenja dimnih plinova te na taj način nastaje toplinska energija. (19, 14). Najviše pregrijane pare se šalje prema turbini u kojoj se toplinska energija pretvara u mehaničku energiju koja se zatim u generatoru transformira u električnu energiju. (19) Povećanjem temperature i tlaka pare, raste i učinkovitost energetske uporabe (14).

Ostale operacije tehnološkog procesa (čišćenje dimnih plinova, njihovo ispuštanje, mjerenje i kontrola emisija, obrada otpadnih voda, upravljanje nastalim pepelom i krutim ostacima) obrađene su u sljedećem poglavlju obzirom da su izravno povezane uz kontrolu produkata tehnološkog procesa te samim time i uz zaštitu okoliša i zdravlja ljudi.

#### **1.4.2. Produkti tehnološkog procesa energetske uporabe otpada termičkim postupkom i njihova kontrola**

Postrojenja za energetsku uporabu otpada termičkim postupkom svojim radom odnosno energetskom uporabom otpada stvaraju nekoliko vrsta produkata. Prije svega, to su toplinska i električna energija, ali i dimni plinovi, određene vrste opasnog i neopasnog otpada, određeni proizvodi i otpadne vode. Činjenica je da neke od navedenih tvari mogu imati štetan utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi, no zbog toga postoje kontrolni postupci koji sprječavaju loš scenarij.

Dimni plinovi nastaju gorenjem otpada (goriva) u komorama za izgaranje i sadržavaju tvari koje mogu uzrokovati zagađenje zraka, a posljedično i štetu po zdravlje ljudi. To su najčešće NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, Hg, Cd, ostali teški metali, krute čestice, prašina, hlapivi organski spojevi (HOS), PCDD/PCDF (19), PAH, BTX (17).

Kako bi se spriječilo potencijalno negativno djelovanje takvih tvari, u energanama na otpad postoje sustavi za čišćenje dimnih plinova koji se sastoje od kombinacija pojedinačnih procesa čišćenja.

Najčešće se spominju tri glavne vrste sustava za čišćenje dimnih plinova:

- suho čišćenje,
- suho-mokro čišćenje i
- mokro čišćenje (19).

Suho čišćenje dimnih plinova podrazumijeva vrećaste filtre kroz koje prolaze dimni plinovi. U struju dimnih plinova upuhuju se apsorbeni i adsorbensi koji zajedno s lebdećim pepelom formiraju sloj s vanjske strane filtra čime se povećava dodirna površina i omogućuje odstranjivanje štetnih tvari koje se predaju ovlaštenoj osobi na zbrinjavanje (19).

Kod suho-mokrog čišćenja, samo se adsorbens upuhuje u struju dimnih plinova nakon čega oni prolaze kroz filtre na kojima se formira sloj u svrhu povećanja dodirne površine za čišćenje. To je prvi dio postupka odnosno suhi dio. U mokrom dijelu postupka, u struju dimnih plinova ubrizgava se apsorbens pomiješan s vodom koji služi čišćenju kiselih čestica. Ovaj postupak odlikuje visoka efikasnost čišćenja do 95% (19).

U mokrom postupku čišćenja, u struju dimnih plinova ubrizgava se apsorbens. Postupak se provodi u području koje je zasićeno vodenom parom kako bi se maksimizirala efikasnost koja doseže 98% (19).



Gotovo svi navedeni onečišćivači, osim NO<sub>x</sub>, mogu se ukloniti pomoću tri glavne vrste sustava za čišćenje dimnih plinova (14). Važno je naglasiti da postoji i veliki broj dodatnih metoda čišćenja dimnih plinova koje su implementirane u energanama na otpad diljem svijeta. Neke od metoda su sastavni dijelovi tri glavne vrste sustava za čišćenje dimnih plinova.

Primjerice, čestice prašine se uklanjaju filtriranjem, ionizirajućim ispiračima, ciklonima, elektrostatskim precipitatorima itd. Metali se spaljivanjem uglavnom pretvaraju u nehlapljive okside i talože s letećim pepelom, pa se za njihovo uklanjanje koriste metode koje su navedene za uklanjanje čestica prašine. Kiseli plinovi kao što su HCl i SO<sub>2</sub> uklanjaju se reakcijom s alkalnim sredstvom. Živa se adsorbira na aktivni ugljen te se zatim uklanja. Adsorpcijski procesi i oksidacijski katalizatori mogu se koristiti za smanjenje emisija PCDD/F (14, 17) koji se također uspješno uklanjaju adekvatnim procesom izgaranja. Temperature izgaranja najčešće prelaze 1000 °C pri čemu dolazi do njihove razgradnje/uništavanja.

Za razliku od drugih kiselih plinova, NO<sub>x</sub> se ne može ukloniti vrećastim filtrima i zahtijeva drugačiji tretman. Postoje određene metode za smanjenje NO<sub>x</sub> koje se mogu koristiti zasebno ili u međusobnoj kombinaciji (14). Generalno gledajući, potrebno je spriječiti prekomjernu opskrbu zrakom, spriječiti korištenje previsokih temperatura u komori za izgaranje te optimizirati kontrolu izgaranja kako bi se izbjegli oštri gradijenti temperature. Široko rasprostranjena metoda je upravo raspodjela dovoda primarnog i sekundarnog zraka kako bi se izbjegli neravnomjerni temperaturni gradijenti. Zatim se koristi metoda recirkulacije dimnog plina koja uključuje zamjenu oko 10 do 20% sekundarnog zraka za izgaranje recirkuliranim dimnim plinovima. Nadalje, koristi se metoda dodavanja čistog kisika uz istovremeno smanjenje opskrbe dodatnim dušikom. Može se koristiti i tzv. „postupno izgaranje“ koje uključuje smanjenje dovoda kisika u primarnim reakcijskim zonama i zatim povećanje dovoda kisika u sekundarnim zonama kako bi oksidirali nastali plinovi. Postoji i opcija korištenja metode injektiranja malih količina vode u komoru za izgaranje ili direktno u plamen kako bi se snizile vruće točke odnosno vršna temperatura u komori (17).

Također postoje sekundarne mjere kontrole NO<sub>x</sub> koje osiguravaju zadovoljenje graničnih vrijednosti emisija (17). To su kontrola izgaranja, nekatalitička denitrifikacija i katalitička denitrifikacija. Kontrola izgaranja podrazumijeva održavanje atmosfere s niskim sadržajem kisika. Kontrolira se omjer temperature i količine kisika u komori za izgaranje. Nekatalitičkom denitrifikacijom, otopina amonijaka ili uree raspršuje se u komoru za izgaranje u svrhu smanjenja koncentracije i razgradnje dušikovih oksida. U procesu katalitičke denitrifikacije,

NO<sub>x</sub> u dimnom plinu reagira s amonijakom i kisikom kroz djelovanje katalizatora i razlaže se na dušik i vodu (14).

Nakon izvršenih postupaka čišćenja, pročišćeni dimni plinovi izlaze iz postrojenja kroz dimnjak na kojem se kontinuirano mjere njihove emisije (19). Sustavi mjerenja emisija dimnih plinova na svim novijim energanama su automatski što znači da je omogućeno mjerenje emisija u realnom vremenu kao i automatsko zaustavljanje tehnološkog procesa energana u slučaju pojave vrijednosti emisija iznad graničnih.

U energanama na otpad uvijek se stvara pepeo odnosno šljaka s dna ložišta i lebdeći pepeo s opasnim tvarima (14, 19). Pepeo odnosno šljaka s dna ložišta može se upotrijebiti i kao sirovina, npr. u proizvodnji cementa, a koristi se i kao materijal za nasipavanje. Ostale vrste otpada koje se stvaraju u postrojenjima za energetske oporabu otpada termičkim postupkom najčešće su ostaci nakon mokrog čišćenja dimnih plinova, muljevi iz separatora ulja i masti itd. Navedeni se otpad predaje ovlaštenim osobama koje provode daljnje potrebne postupke (19).

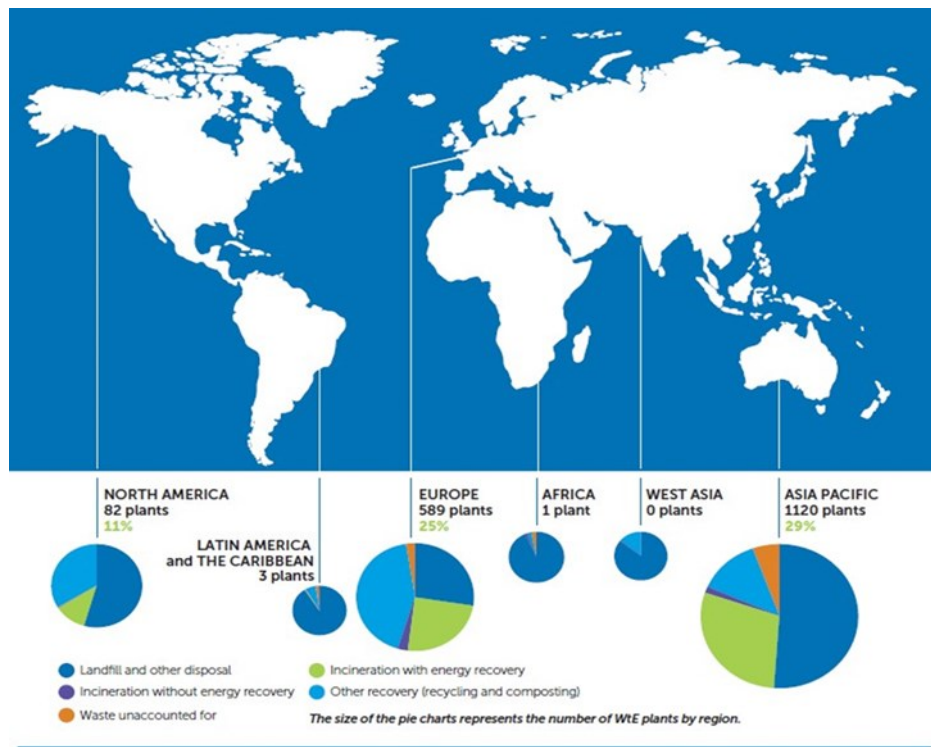
Energane na otpad također mogu stvoriti i produkte koji se klasificiraju kao proizvodi i koji se kao takvi mogu prodati na tržištu. Osim toplinske i električne energije koje donose ekonomsku korist, tu je i gips kao građevinski materijal za prodaju (19).

Što se tiče otpadnih voda, mnoga postrojenja koriste zatvorene sustave u kojima se otpadne vode ne stvaraju. U takvim sustavima, otpadna voda nastala tijekom procesa obrade raspršuje se kao rashladna tekućina u komorama za izgaranje, isparava i pročišćava se sustavima za obradu dimnih plinova (14). Ako je sadržaj vlage u otpadu visok (14) ili se koriste metode mokrog i suho-mokrog čišćenja dimnih plinova (19), može doći do stvaranja otpadnih voda koje se zatim obrađuju na UPOV-ima u sklopu energane. Također je potrebno predvidjeti izgradnju separatora ulja i masti ovisno o vrsti otpadnih voda.

### **1.4.3. Energetska oporaba otpada u svijetu**

U mnogim razvijenim zemljama upravo je energetska oporaba otpada jedna od glavnih metoda obrade otpada. Njezino korištenje osobito se ističe u azijsko pacifičkim i europskim zemljama. Prema podacima Ujedinjenih naroda (UN) iz 2019. godine, na azijsko pacifičkom području nalazilo se 1120 energana na otpad, dok ih je u Europi bilo 589. U ostatku Azije nije bilo niti jednog postrojenja za energetske oporabu otpada, u Africi je bilo jedno postrojenje

(Etiopija), u srednjoj i Južnoj Americi bila su 3 postrojenja dok je u Sjevernoj Americi bilo 82 postrojenja (slika 3.) (13).



**Slika 6.** Broj energana na otpad u svijetu (termička uporaba) i načini obrade komunalnog otpada kao vrste otpada koja se najčešće energetske oporabljuje (13)

Prema istom izvoru (13), navodi se kako je diljem svijeta u 2019. godini postojalo preko 1700 energana gdje se otpad energetske oporabljuje termičkim postupkom odnosno spaljivanjem. Više od 80% energana na otpad nalazi se u razvijenim državama kao što su Japan, Njemačka, Francuska i Sjedinjene Američke Države kao predvodnice po broju aktivnih energana na otpad. Među državama sa najviše energana na otpad također se nalaze i Kina, Austrija, Ujedinjeno Kraljevstvo, Italija, Južna Koreja, Švedska i Švicarska (13).

Procjenjuje se da je 2019. godine u svijetu u izgradnji bilo više od 200 energana na otpad koje su započele s radom između 2020. i 2023. godine što dovodi do zaključka kako danas postoji približno 2000 takvih vrsta energana na otpad (13).



**Slika 7.** Jedanaest država sa najvećim brojem energana na otpad (termička uporaba) uključujući količinu oporabljene otpada spaljivanjem (13)

Europska unija se posljednjih nekoliko desetljeća oslanjala na energetska oporabu otpada što se vidi i po broju izgrađenih energana na otpad, no sada se fokus usmjerava na druga rješenja. Kao što je već navedeno, Europska unija je krenula putem kružnog gospodarstva u što se uklapa i gospodarenje otpadom. U skladu s time, prioritetni postupci su postali sprječavanje nastanka otpada, njegova ponovna uporaba i recikliranje što je jasno navedeno kroz red prvenstva gospodarenja otpadom (13).

S druge strane, određene zemlje u razvoju zagovaraju energetska oporabu otpada kao pristup gospodarenju otpadom. Takve zemlje često imaju probleme sa uspostavom učinkovitog sustava gospodarenja otpadom što za posljedicu ima neodgovarajuće postupanje s otpadom – dolazi do odlaganja (pre)velikih količina otpada na odlagališta.

Upravo energetska oporaba otpada može smanjiti volumen i masu otpada za 75-90% čime se smanjuje potreba za odlaganjem otpada (13). Štoviše, od 2035. godine u Europskoj uniji će se smjeti odložiti najviše 10% otpada.

U svakom slučaju, implementacija energetske oporabe otpada ostaje izazov u zemljama u razvoju zbog čimbenika kao što su karakteristike otpada, društveno protivljenje, ekonomska izvedivost itd. (13).

#### 1.4.4. Energetska uporaba otpada u Republici Hrvatskoj

Područje energetske uporabe otpada u Republici Hrvatskoj usklađeno je s propisima Europske unije kroz Zakon o gospodarenju otpadom (NN 084/2021) i podzakonske propise. U skladu s navedenim, postupak energetske uporabe otpada termičkim postupkom u Republici Hrvatskoj je također prepoznat kao postupak uporabe R1 - korištenje otpada uglavnom kao goriva ili drugog načina dobivanja energije, ukoliko zadovoljava uvjete energetske efikasnosti.

U skladu s Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 106/2022), za djelatnost uporabe postupkom R1 izdaje se dozvola za gospodarenje otpadom. Isti Pravilnik propisuje da se dozvola za gospodarenje otpadom ne izdaje za istu djelatnost ukoliko se oporabljuje određeni neopasni otpad u svrhu proizvodnje toplinske energije. U tom slučaju se oporabitelj upisuje u Očevidnik sakupljača i oporabitelja (3). U tablici 4. prikazane su vrste otpada koje je dopušteno energetske oporabiti bez ishođenja dozvole za gospodarenje otpadom.

**Tablica 4.** Vrste otpada koje je dopušteno energetske oporabiti bez ishođenja dozvole za gospodarenje otpadom (3)

Ključni broj	Naziv otpada	Dodatni uvjeti
02 01 03	otpadna biljna tkiva	–
02 01 07	otpad iz šumarstva	
02 03 04	materijali neprikladni za potrošnju ili preradu	proizvedena toplinska energija koristi se u korisnu svrhu
02 07 01	otpad od pranja, čišćenja i mehaničkog usitnjavanja sirovina	
03 01 01	otpadna kora i pluto	–
03 03 01	otpadna kora i otpaci drveta	proizvedena toplinska energija koristi se u korisnu svrhu na lokaciji proizvodnje tog otpada
03 03 07	mehanički izdvojeni škart od prerade otpadnog papira i kartona	
03 03 10	otpadna vlakna i muljevi od vlakana, punila i prevlake, koji nastaju pri mehaničkoj separaciji	otpad sadrži samo biljna vlakna
03 03 11	muljevi od obrade efluenta na mjestu njihova nastanka, koji nisu navedeni pod 03 03 10	
03 01 05	piljevina, strugotine, otpaci od rezanja drva, drvo, iverica i furnir, koji nisu navedeni pod 03 01 04*	otpad ne sadrži halogene organske spojeve ni teške metale zbog obrade sredstvom za zaštitu drveta, premazivanjem ili lijepljenjem
15 01 03	drvena ambalaža	
19 12 07	drvo koje nije navedeno pod 19 12 06*	
17 02 01	drvo	otpad čini samo drvo koje ne sadrži ljepilo, halogene organske spojeve ni teške metale
20 01 38	drvo koje nije navedeno pod 20 01 37*	
20 02 01	biorazgradivi otpad	otpad čini samo kora, trava, drvo odnosno drugo biljno tkivo, ostaci od rezanja drva živice i sl.

Pravilnik o gospodarenju otpadom (NN 106/2022) također propisuje način izvođenja ovog postupka oporabe u navedenom slučaju: najveći dopušteni kapacitet oporabe je 3 t/h, a najveća dopuštena količina svih vrsta otpada koja se smije nalaziti na lokaciji obavljanja postupka oporabe iznosi 250 t otpada (3).

Prema podacima Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja, udio energetske oporabe otpada nastalog u RH je u određenom porastu. Godine 2016., energetski je oporabljeno 1,1% ukupne količine nastalog otpada, 2018. godine 1,2% dok je 2020. godine dosegnuta razina od 1,5% (9). U tablici 5. prikazani su ovi podaci kao i podaci o drugim načinima postupanja s ukupnim količinama otpada zbog mogućnosti usporedbe podataka.

**Tablica 5.** Načini postupanja s otpadom proizvedenim između 2016. do 2020. godine u RH (9)

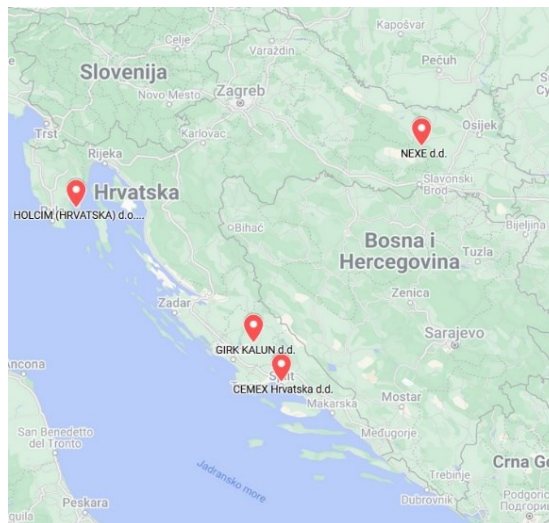
Godina	2016.		2018.		2020.	
	Količina (t)	Udio	Količina (t)	Udio	Količina (t)	Udio
Recikliranje	1.961.386	36,5%	2.395.668	43,2%	2.774.331	46,2%
Nasipavanje	148.836	2,8%	131.084	2,4%	198.379	3,3%
Energetska oporaba	61.576	1,1%	64.053	1,2%	89.517	1,5%
Odlaganje	1.763.292	32,9%	1.593.692	28,7%	1.431.448	23,8%
Spaljivanje bez energetske oporabe	11.189	0,2%	10.843	0,2%	9.753	0,2%
Predobrada prije konačnog postupanja s otpadom	483.363	9,0%	437.345	7,9%	623.187	10,4%
Procjene za neevidentirano postupanje (građevini otpad, otpad iz rudarske industrije i komunalni otpad)	937.311	17,5%	910.623	16,4%	877.144	14,6%

U ove je podatke uključen i otpad izvezen na obradu izvan granica RH. Dakle, važno je naglasiti da se energetska oporaba otpada ne provodi u cijelosti u RH odnosno da navedeni postotci energetski oporabljeneog otpada obuhvaćaju i obradu u inozemstvu (9). Štoviše, veći dio energetske oporabe otpada obavlja se u postrojenjima koja se ne nalaze na teritoriju RH (20).

U Republici Hrvatskoj su ukupno, do kolovoza 2022. godine, četiri tvrtke posjedovale dozvolu za energetske oporabu otpada postupkom R1 na pet lokacija. Ukupni kapacitet energana na otpad koje imaju dozvolu za gospodarenje otpadom postupkom R1 na tih pet

lokacija iznosio je 392.479 t/god. Predmetne tvrtke energetske oporabljaju razne vrste otpada u svrhu proizvodnje svojih proizvoda – cementa, proizvoda od vapna itd. Ipak, važno je napomenuti da predmetne tvrtke u pravilu ne oporabljaju otpad niti gorivo iz otpada nastalo u RH.

Dodatno je evidentirano 36 energetske oporabitelja koji u skladu sa Zakonom o gospodarenju otpadom (NN 084/2021) i Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 106/2022) nemaju obvezu ishođenja dozvole za gospodarenje otpadom već svoju djelatnost mogu obavljati na temelju upisa u Očevidnik sakupljača i oporabitelja (9).



**Slika 8.** Tvrtke u RH koje posjeduju dozvolu za energetske oporabu otpada postupkom R1

Uz spomenuta postrojenja, u tijeku je projekt “Sinergija” odnosno izgradnja visokoučinkovitog kogeneracijskog postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije iz neopasnog otpada i biomase postupkom oporabe R1 u Sisku. Ovaj objekt trebao bi postati uvjerljivo najveća energana na otpad u RH sa godišnjim kapacitetom od 146.500 tona neopasnog otpada (goriva iz otpada) i biomase. Nositelj zahvata/investicije je CIOS ENERGY d.o.o. (21). Više o samom projektu, koji će poslužiti kao primjer energane na otpad u RH, slijedi u idućem poglavlju.

Energetske oporabe otpada u RH bila je potpuno zanemarena i isključena iz promišljanja o načinu gospodarenja otpadom.

U Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine (20) stoji da je provedeno planiranje energetske oporabe otpada. Međutim, nije poznato kada se i na koji način provelo planiranje te koji je stav Republike Hrvatske o energetske oporabi otpada.

Prijedlogom Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. – 2028. godine (9) jasnije se ističe opredjeljenje u odnosu na energetske oporabu otpada. Navodi se kako, uz poštivanje reda prvenstva gospodarenja otpadom, bez energetske oporabe nije moguće ispuniti postavljene ciljeve od strane Europske unije koji se odnose na odlaganje komunalnog otpada (dozvoljeno odlaganje maksimalno 10% ukupno proizvedenog komunalnog otpada najkasnije od 2035. godine). S obzirom na to da se RH strateški opredijelila za obradu MKO-a u sklopu regionalnih centara za gospodarenje otpadom (CGO-a) koji stvaraju produkte poput reciklata, goriva iz otpada i ostataka za odlaganje, ističe se potreba za energetsom oporabom otpada koji se nije moguće ponovno iskoristiti ili reciklirati. Također, ističe se i potreba za energetsom oporabom otpadnog mulja sa UPOV-a (9).

Nova postrojenja za energetske oporabu otpada odnosno energane na otpad mogu se planirati u sklopu CGO-a ili zasebno. Uz nove energane, potrebno je razmisliti i o rješenjima u vidu postojećih postrojenja na kojima je moguće planirati izgradnju ili nadogradnju. Postojeći objekti koji su pogodni za navedenu opciju su kotlovnice termoelektrane, industrijske toplane, tvornice vapna, tvornice cementa itd. Osim kroz red prvenstva gospodarenja otpadom, potrebu izgradnje energana na otpad može se promatrati i kroz načela gospodarenja otpadom. Na taj način bi se osiguralo smanjenje transportnih troškova (osobito prema inozemstvu) i potrebe za energetsom oporabom otpada izvan RH. Konačno, smanjili bi se i troškovi konačnog zbrinjavanja otpada te povisio stupanj energetske neovisnosti RH (9).

### **1.5. Energana na neopasni otpad i biomasu Sisak**

Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, u tijeku je izgradnja energane na neopasni otpad i biomasu u Sisku. Točnije, to je visokoučinkovito kogeneracijsko postrojenje za proizvodnju električne i toplinske energije iz neopasnog otpada i biomase postupkom oporabe R1 (21).

Nositelj zahvata odnosno projekta “Sinergija” je tvrtka CIOS ENERGY d.o.o. koja je dio C.I.O.S. grupacije. Izgradnjom energane, gorivo iz otpada koji proizvode CGO-ovi energetski će se iskoristiti odnosno proizvest će se električna i toplinska energija (19). Važno je istaknuti da se izgradnjom energane u potpunosti poštuju red prvenstva gospodarenja otpadom i principi kružnog gospodarstva.



Predmetna energana u Sisku istodobno će proizvoditi električnu i toplinsku energiju (tzv. kogeneracija) na visokoučinkovit način. Kao energenti će se koristiti neopasni otpad, biomasa i mulj iz UPOV-a. Planira se korištenje do 96.500 t/god neopasnog otpada i biomase te do 50.000 t/god mulja iz UPOV-a, dok se miješani komunalni otpad neće koristiti kao energent (21).

Kapacitet energane bit će 18,3 t/h spaljenog neopasnog otpada i biomase uz plan proizvodnje između 14,5 i 18 MW/h električne energije i do 20MW/h toplinske energije. Energana će imati nazivnu toplinsku snagu iznad 65 MW (ulazna snaga goriva) te instaliranu električnu snagu 18,5 MW. Važno je napomenuti da će energana ispunjavati propisane uvjete za visokoučinkovitu kogeneraciju (ušteda primarne energije najmanje 10%) kao i uvjet energetske efikasnosti (>65%). Proizvodnja električne i toplinske energije u ovoj energani na otpad temelji se na identičnim tehničkim značajkama kao i proizvodnja u klasičnim energanama - para se odvodi na turbinu gdje dolazi do pretvaranja toplinske energije u mehaničku, koja se zatim u generatoru transformira u električnu energiju (19).

Plan je da se proizvedena toplina u razdoblju ogrjevnice sezone isporučuje u distribucijsku mrežu centralnog toplinskog sustava grada Siska dok bi se njezin manji dio trebao koristiti za podmirivanje potreba energane. Za vrijeme ljetnih mjeseci proizvodit će se samo električna energija koja bi se trebala isporučivati u prijenosnu mrežu. Plan je da se veći dio električne energije predaje u elektroenergetski sustav RH te da se manji dio upotrijebi za vlastitu potrošnju (19).

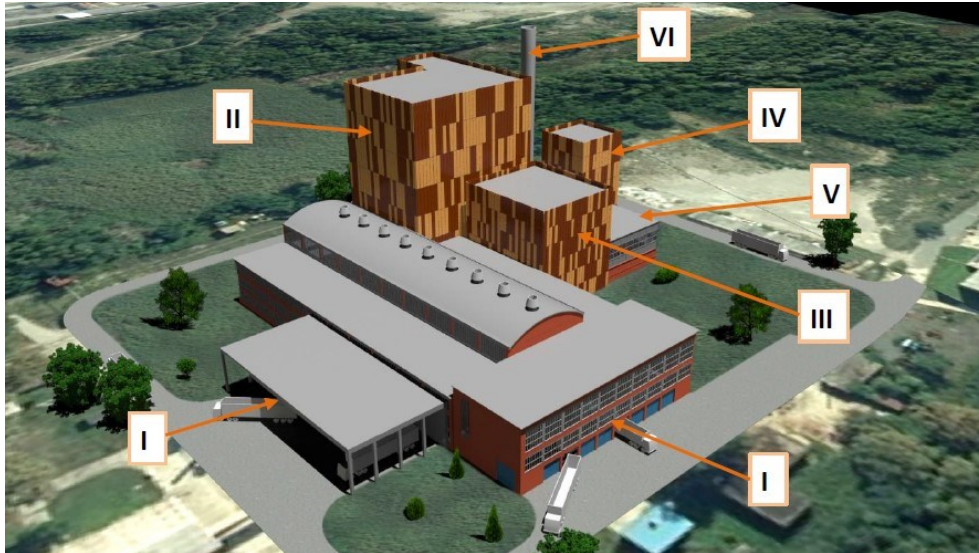
### **1.5.1. Tehnološki proces**

Osnovni dijelovi tehnološkog procesa su:

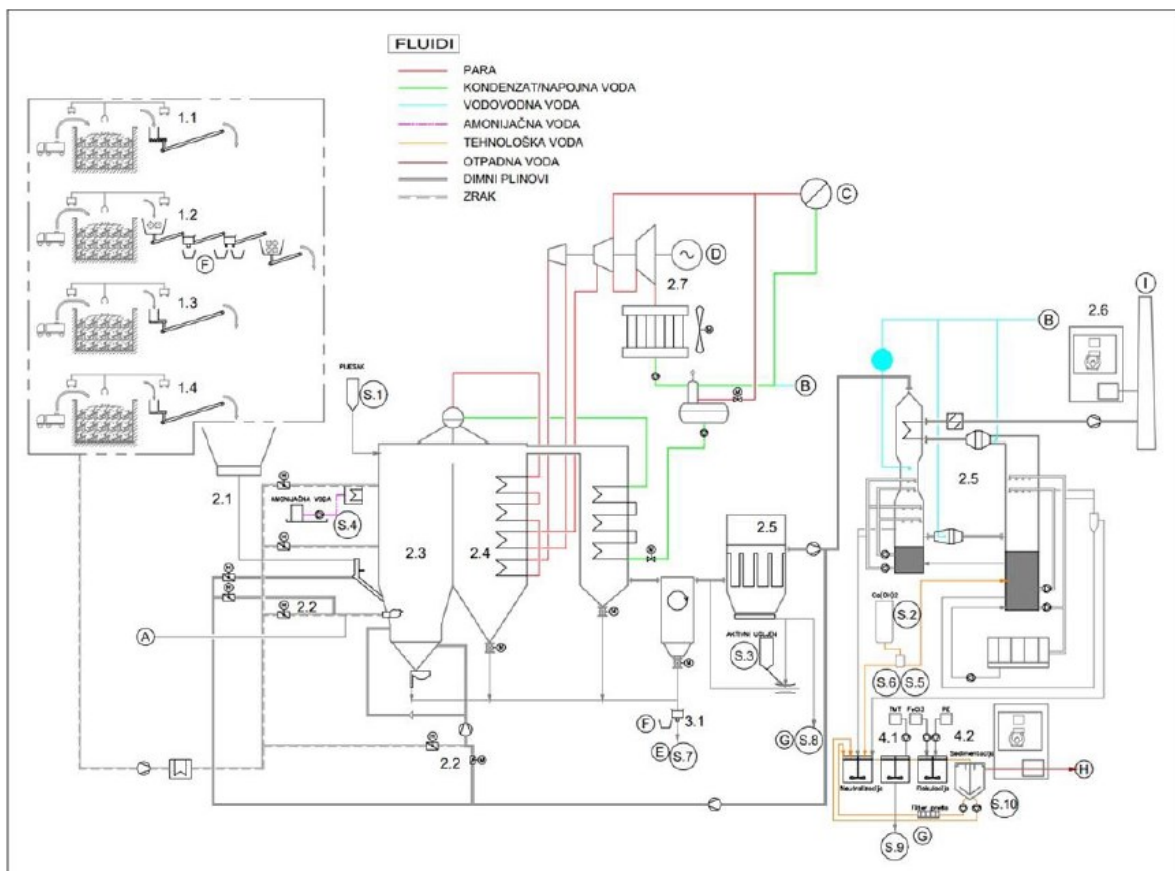
- i. prihvrat goriva,
- ii. kotao (proizvodnja pregrijane pare),
- iii. turbostrojarnica (voda-para ciklus),
- iv. sustav za čišćenje dimnih plinova,
- v. pročišćavanje otpadnih voda i
- vi. dimnjak (19).

Detaljnije operacije u okviru tehnološkog procesa podrazumijevaju ulazno-izlaznu zonu u energanu, prihvrat otpada manje granulacije, prihvrat otpada veće granulacije, prihvrat mulja, prihvrat biomase, sustav za dobavu goriva, sustav za dobavu zraka i recirkulaciju dimnih

plinova, komoru za izgaranje, kotao za proizvodnju pregrijane pare, sustav za čišćenje dimnih plinova, kontinuirano mjerenje emisija, voda-para ciklus, izdvajanje zaostalog metalnog ostatka i obradu otpadnih voda (19).



Slika 9. 3D prikaz energane u Sisku s označenim osnovnim dijelovima tehnološkog procesa (19)



Slika 10. Shema energane u Sisku s označenim svim operacijama tehnološkog procesa (19)

Legenda: 0 – ulazno izlazna zona; 1.1. prihvata otpada manje granulacije, 1.2. prihvata otpada veće granulacije, 1.3. prihvata mulja, 1.4. prihvata biomase; 2.1. sustav za dobavu goriva, 2.2. sustav za dobavu zraka i recirkulaciju dimnih plinova, 2.3. komora za izgaranje, 2.4. kotao, 2.5. sustav za čišćenje dimnih plinova, 2.6. kontinuirano mjerenje emisija, 2.7. voda-para ciklus; 3.1. izdvajanje zaostalog metalnog ostatka; 4.1. pročišćavanje otpadnih voda (taloženje), 4.2. pročišćavanje otpadnih voda (izdvajanje teških metala); A – priključak na opskrbu plinom, B – priključak na opskrbu vodom, C – isporuka toplinske energije, D – isporuka električne energije, E – kruti ostatak (neopasni otpad), F – izdvojeni zaostali metalni ostatak, G – kruti ostatak (opasni otpad), H - spoj na sustav odvodnje, I – dimnjak; S1 – silos za pijesak, S2 – silos za vapno, S3 – spremnik za aktivni ugljen, S4 – spremnik za amonijačnu vodu, S5 – spremnik za flokulant, S6 – spremnik za aditive, S7 – silos za pepeo/šljaku, S8 – spremnik za lebdeći pepeo, S9 – spremnik za ostatke nakon pročišćene vode, S10 – silos za gips (19).

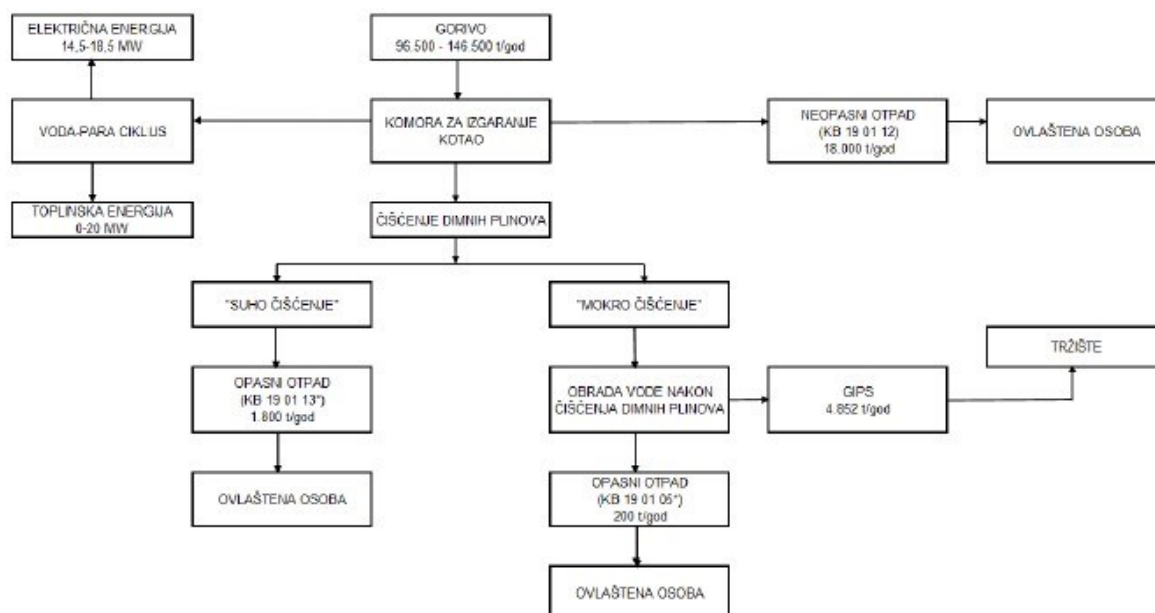
U energanu se zaprima otpad različite granulacije (manje i veće), mulj iz UPOV-a i biomasa. Prostor prihvata je vodonepropusna betonska građevina s automatiziranim vratima koja se nalazi u podtlaku. Zrak koji se odsisava iz navedenog prostora koristi se kao zrak za izgaranje u kasnijem procesu. Na taj se način onemogućuju emisije u zrak iz prostora prihvata. Osim navedenih vrsta otpada, u određenim slučajevima kao ulazne tvari koriste se i voda, amonijačna voda, plin, električna energija, pijesak, hidratizirano vapno, polielektrolit, aktivni ugljen, FeCl<sub>3</sub> (flokulant) i TMT 15 (aditiv) (19).

**Tablica 6.** Osnovne tvari koje ulaze u tehnološki proces energane u Sisku kao energenti

Tvari koje ulaze u proces kao energent	Ključni broj otpada	Količina (t/g)	Donja energetska vrijednost (MJ/kg)
Gorivi otpad (gorivo dobiveno iz otpada) (RDF/ SRF)	19 12 10	92.500	≥18,40
Muljevi od obrade urbanih otpadnih voda	19 08 05	50.000	6,5
Biomasa -proizvodi koji sadrže bilo kakve biljne tvari iz poljoprivrede ili šumarstva koje se mogu iskoristiti kao gorivo u smislu uporabe njihovog energetskeg sadržaja	-	4.000	10,8
<b>UKUPNO</b>		<b>146.500</b>	

Sustav dobave goriva do komore za izgaranje sastoji se od dvije linije, a svaka linija se sastoji od kratkotrajnog skladišta, sustava za doziranje i injektora kojim se injektira određena količina goriva u komoru za izgaranje (19).

Sastavni dijelovi sustava za dobavu zraka i recirkulaciju dimnih plinova su dobava primarnog i sekundarnog zraka za izgaranje, recirkulacija dimnih plinova i dobava zraka za održavanje fluidiziranog sloja (19).



Slika 11. Blok dijagram tehnološkog procesa energane u Sisku (19)

Za termičku obradu otpada služi komora za izgaranje čiji su sastavni dijelovi lijevak za pepeo i šljaku, sustav distribucije zraka za fluidizaciju, fluidizirani sloj te donja i gornja slobodna zona. U komori se vrše dva procesa. Prvi proces podrazumijeva sušenje, isplinjavanje, rasplinjavanje i djelomičnu oksidaciju goriva u donjoj slobodnoj zoni dok drugi proces podrazumijeva potpuno izgaranje nastalih plinova u gornjoj slobodnoj zoni (19).

Nakon što se toplina dimnih plinova preda u kotao, tamo se proizvodi pregrijana para. Kotao se sastoji od 4 prolaza dimnih plinova. Između 2. i 3. prolaza provodi se uklanjanje pepela i mehanički se transportira do silosa pepela (19).

Sustav koji je odabran za čišćenje dimnih plinova jest tzv. „suho-mokri“ sustav. Osnovna uloga suhog dijela sustava je uklanjanje lebdećeg pepela, adsorpcija organskih spojeva te adsorpcija plinovitih teških metala. Mokri dio sustava ima ulogu adsorpcije halogenih spojeva, živinih spojeva i SO<sub>3</sub> te apsorpcije SO<sub>2</sub>, a sastoji se od dva ispiraća. U ovoj operaciji sakuplja se lebdeći pepeo i istrošeni adsorbensi koji se zatim prevoze u silos. Navedeni materijal se izvlači sa dna silosa predaje ovlaštenoj osobi na daljnje postupanje (zbrinjavanje) (19).

Kada su dimni plinovi pročišćeni, slijedi njihov izlazak iz postrojenja kroz dimnjak visine 50 m na kojem se kontinuirano mjere emisije dimnih plinova. U slučaju prekoračenja vrijednosti emisija, sustav energane se automatski zaustavlja (19). U slučaju da osam puta u istom danu dođe do prekoračenja graničnih vrijednosti, postrojenje bi moralo prestati s radom (22). Svi podaci se kontinuirano bilježe, dostavljaju nadležnim institucijama i dostupni su javnosti. Svakodnevno se provjerava ispravnost i točnost mjerenja, a u polugodišnjim ili godišnjim razmacima provode se nezavisna mjerenja od strane nezavisnih akreditiranih tvrtki koja potvrđuju ili opovrgavaju pravilan rad cjelokupnog sustava (19). Člancima 153., 154., 155., 156. i 157. Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 042/2021) (23) propisuju se pravila praćenja emisija.

Nakon izgaranja goriva, u kotlu se stvara pregrijana para koja se odvodi na turbinu gdje ekspandira pod visokim tlakom uz stvaranje mehaničke energije, a nakon toga i električne energije u generatoru. U slučaju zaustavljanja rada turbine, para se šalje direktno u kondenzator preko turbinskog by pass-a i reducir rashladnih stanica (19).

U ovoj energani nastaju otpadne vode: sanitarne, oborinske i tehnološke. Sanitarne otpadne vode se odvođe putem sustava javne odvodnje dok se oborinske vode (krovne) odvođe putem sustava javne oborinske odvodnje. Oborinske vode s prometnica u okviru energane odvođe se na separator ulja i masti, a nakon pročišćavanja, odvođe se u sustav javne oborinske odvodnje. Tehnološke otpadne vode sakupljaju se i hlade ispod 30°C te dodatno obrađuju na internom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda (19).

Opisani tehnološki proces proizvodi nekoliko vrsta tvari. To su, prije svega, proizvodi u vidu električne (132000 – 148000 MWh/god) i toplinske energije (80000 MWh/god) te gipsa (4850 t/god). Također nastaju određene vrste otpada: pepeo i šljaka s rešetke ložišta koji nisu navedeni pod 19 01 11\* (KB 19 01 12), lebdeći pepeo s opasnim tvarima (KB 19 02 13\*), ostaci nakon obrade eflueanata koji sadrže opasne tvari (KB 19 01 05\*) i muljevi iz separatora ulja i masti (KB 13 05 02\*). Isto tako nastaju i otpadne vode te emisije dimnih plinova (19) koje su u skladu s graničnim vrijednostima Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/2021).

### 1.5.2. Utjecaj energane na stanovništvo i okoliš

Studijom o utjecaju zahvata na okoliš (19) proveda se, između ostaloga, i procjena utjecaja energane na lokalno stanovništvo koja je razmatrana s aspekta mogućih klimatskih promjena, s gospodarskog aspekta i s aspekta zdravlja ljudi.

Energana neće imati utjecaj na klimatske promjene, a što se tiče gospodarskog utjecaja procjenjuje se da će se zaposliti oko 30 osoba za rad u samoj energani te dodatnih 90 osoba kroz pružanje dodatnih usluga energani. Utjecaj s aspekta zdravlja ljudi se prvenstveno gledao kroz emisije dimnih plinova u zrak te dodatno kroz razinu buke (19).

**Tablica 7.** Usporedba maksimalnih procijenjenih vrijednosti emisija s propisanim граниčnim vrijednostima prema Uredbi (23), vrijednostima navedenim u Provedbenoj odluci Komisije (EU) 2019/2010 (24) i izmjerenim vrijednostima na energani s identičnim sustavom za čišćenje dimnih plinova (25) (19)

Parametar	Mj. Jed.	Procijenjene maksimalne vrijednosti	GVE	RDNRT	IZMJERENO
NO <sub>x</sub>	(mg/m <sup>3</sup> )	120	200	50-120	70-130
CO	(mg/m <sup>3</sup> )	50	100	10-50	25
NH <sub>3</sub>	(mg/m <sup>3</sup> )	10	30	2-10	-
SO <sub>2</sub>	(mg/m <sup>3</sup> )	30	50	5-30	1-10
HCl	(mg/m <sup>3</sup> )	6	10	<2-6	<1
HF	(mg/m <sup>3</sup> )	0,99	1	<1	0,2
Krute čestice	(mg/m <sup>3</sup> )	5	10	<2-5	<1
Cd+Tl	(mg/m <sup>3</sup> )	0,02	0,05	0,005-0,02	-
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	(mg/m <sup>3</sup> )	0,3	0,5	0,01-0,3	-
Hg	(μg/m <sup>3</sup> )	20	50	5-20	1
Hlapivi organski spojevi HOS (TOC)	(mg/m <sup>3</sup> )	10	10	<3-10	-
PCDD/F	(ngTEQ/m <sup>3</sup> )	0,04	0,1	<0,01-0,04	0,016

Iz navedene tablice, jasno je kako ovakva energana emitira vrijednosti onečišćivača ispod граниčnih vrijednosti odnosno nema štetan utjecaj na zdravlje ljudi ukoliko se tehnološkim procesom upravlja na ispravan način.

Buka koja će se stvarati u energani neće biti štetna za zdravlje lokalnog stanovništva (19) budući da će njezine vrijednosti biti sukladne s Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke s obzirom na vrstu izvora buke, vrijeme i mjesto nastanka (NN 143/2021).

Također je provedena i procjena utjecaja energane na okoliš čime se obuhvatio utjecaj na bioraznolikost, vode i vodna tijela, zrak, klimu, otpad, promet i kulturna dobra.

S obzirom na to da će se energana nalaziti na području koje i sada ima funkciju industrijske proizvodnje te uzimajući u obzir aktivnosti koje će se odvijati u energani, ne očekuje se da će ista tijekom svoga rada imati značajan utjecaj na bioraznolikost (19).

Što se tiče voda i vodnih tijela, u prethodnom je poglavlju opisan način postupanja s pojedinom vrstom vode.

Procjena utjecaja na kvalitetu zraka obrađena je temeljem vrijednosti emisija dimnih plinova u zrak. Opisani sustav za čišćenje dimnih plinova osigurava da vrijednosti emisija onečišćujućih tvari budu ispod graničnih vrijednosti iz Uredbe o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 42/2021) (tablica 7.).

## 2. CILJ RADA

Cilj ovoga rada je dati uvid u mogućnosti energetske uporabe otpada termičkim postupkom u Republici Hrvatskoj odnosno procijeniti ima li, objektivno, smisla na državnom teritoriju graditi postrojenje koje će energetske oporabljivati otpad termičkim postupkom (energana na otpad). Također, cilj je i dati pregled utjecaja energana na otpad na okoliš i zdravlje ljudi i približno odgovoriti na pitanje: “Je li strah ljudi prema energanama na otpad opravdan?”.

S obzirom na to da je Republika Hrvatska, uz Maltu, jedina članica Europske unije u kojoj još uvijek ne posluje niti jedna energana na otpad (26), mogućnosti energetske uporabe otpada prikazane su kroz izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada (MKO) koji nastaje u RH sa svim svojim specifičnostima, dok je utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje prikazan kroz primjere iz prakse odnosno kroz prikaz utjecaja postojećih postrojenja za energetske uporabu otpada termičkim postupkom na području Europe.



### 3. MATERIJALI I POSTUPCI

#### 3.1. Mogućnosti energetske oporabe otpada u Republici Hrvatskoj

Mogućnosti energetske oporabe otpada u RH prikazane su kroz izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada koji nastaje u RH sa svim svojim specifičnostima (količina, sastav, ogrjevna vrijednost pojedine sastavnice).

U svrhu procjene energetskeg potencijala MKO, korišteni su podatci iz relevantnih službenih, stručnih i znanstvenih izvora.

##### 3.1.1. Godišnje količine nastalog miješanog komunalnog otpada

Podatci o ukupnoj količini proizvedenog miješanog komunalnog otpada u RH između 2015. i 2021. godine preuzeti su iz Izvješća o komunalnom otpadu za 2021. godinu (27).

Stariji podatci nisu prikazani iz razloga što se od 2015. godine u komunalni otpad ne ubraja otpad sljedećih ključnih brojeva: 20 02 02 (zemlja i kamenje), 20 03 04 (muljevi iz septičkih jama) i 20 03 06 (otpad nastao čišćenjem kanalizacije).

##### 3.1.2. Sastav miješanog komunalnog otpada

U svrhu procjene proizvedenog miješanog komunalnog otpada u RH, korištena je procjena Hrvatske agencije za okoliš i prirodu (sada Zavod za zaštitu okoliša i prirode u okviru Ministarstva gospodarstva i održivog razvoja) (28). Procjenjeni podatci predstavljaju prosjek sastava miješanog komunalnog otpada u cijeloj zemlji. Sastav je utvrđen na temelju analiza sastava otpada pojedinih županija i jedinica lokalne samouprave koje su provedene između 2008. i 2014. godine.

##### 3.1.3. Ogrjevna vrijednost miješanog komunalnog otpada

U svrhu izračuna ogrjevnog vrijednosti MKO-a nastalog u RH, korišteni su podatci o gornjim ogrjevnim vrijednostima pojedinih sastavnica MKO-a iz izvora "Introduction to Environmental Engineering and Science" (29) te podatci iz poglavlja 3.1.1. i 3.1.2.

Izračun se provodio pomoću sljedeće jednadžbe:

$$Hg_{(MKO)} = \sum_{i=1}^n Hg_i$$

gdje je:

$Hg_{(MKO)}$  = gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO proizvedenog u RH na godišnjoj razini (GJ/god),

$Hg_i$  = gornja ogrjevna vrijednost pojedine sastavnice MKO nastale u jednoj godini (GJ/god),

Izračun  $Hg_i$ :

$$Hg_i = s \times m \times Hg_s$$

gdje je:

$s$  = udio pojedine sastavnice u MKO,

$m$  = ukupna masa proizvedenog miješanog komunalnog otpada na godišnjoj razini dostupna za energetske oporabu (t/god),

$Hg_s$  = gornja ogrjevna vrijednost po 1 t pojedine sastavnice (GJ/t).

### **3.1.4. Energija koja se može dobiti energetsom oporabom miješanog komunalnog otpada termičkim postupkom**

Izračun energije, koja bi se potencijalno mogla proizvesti energetsom oporabom MKO-a proizvedenog u RH termičkim postupkom, proveden je pomoću sljedeće formule:

$$\eta_0 = \frac{W_e + \sum Q_T}{Q_{MKO}}$$

gdje je:

$\eta_0$  = bruto energetska učinkovitost,

$W_e$  = izlazni rad električne energije,

$Q_T$  = izlazna korisna toplinska energija,

$Q_{MKO}$  = ukupni ulaz energije iz MKO.

### **3.1.5. Scenariji potencijalne količine miješanog komunalnog otpada dostupnog za energetske uporabu**

U svrhu izračuna energetske potencijala miješanog komunalnog otpada, razmatrana su tri scenarija mogućih količina istoga, koje će biti dostupne za energetske uporabu termičkim postupkom.

Sva tri scenarija temelje se na sljedećim pretpostavkama:

- a) proizvodnja miješanog komunalnog otpada u RH će u budućnosti ostati na razini iz 2019. godine;
- b) ukupni udio miješanog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalištima neće prelaziti 10%;
- c) ukupni udio miješanog komunalnog otpada obrađenog u MBO postrojenjima ostat će na 10%.

Scenariji se također temelje na udjelu recikliranog komunalnog otpada:

- Scenarij 1 uključuje trenutnu stopu recikliranja u RH koja iznosi 32%. Uvažavajući pretpostavke o udjelu MKO-a koji se odlaže na odlagališta i obrađuje u MBO postrojenjima, preostala količina MKO-a (48%) podvrgava se energetske uporabi termičkim postupkom;
- Scenarij 2 uključuje stopu recikliranja od 55% koju je potrebno ostvariti najkasnije do 2030. godine sukladno Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća. Preostala količina MKO-a (25%) podvrgava se energetske uporabi termičkim postupkom;
- Scenarij 3 uključuje stopu recikliranja od 65% koju je potrebno ostvariti nakon 2035. godine sukladno Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća. Preostala količina MKO-a (15%) podvrgava se energetske uporabi termičkim postupkom.

### **3.2. Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje**

Utjecaj energana na otpad odnosno postrojenja za energetske uporabu otpada termičkim postupkom na okoliš i zdravlje prikazan je pomoću podataka iz relevantne znanstvene literature. Vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz postojećih energana na otpad na području Europe preuzete su iz dokumenta „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration” (17). Navedeni podatci su prikupljeni u energanama iz petnaest država članica EU i Norveške što predstavlja realne razine emisija onečišćujućih tvari u okoliš.

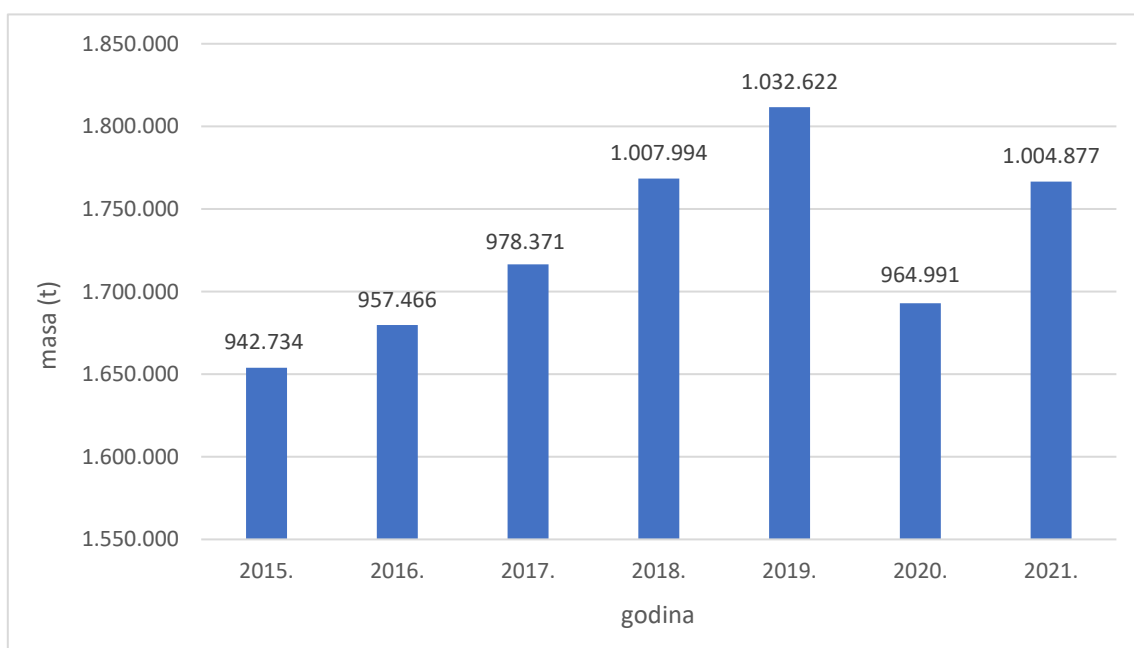
## 4. REZULTATI

### 4.1. Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj

U nastavku je prikazan izračun energetskog potencijala MKO-a proizvedenog u RH koji upućuje na zaključak o mogućnostima energetske oporabe otpada termičkim postupkom na području Hrvatske.

#### 4.1.1. Godišnje količine nastalog miješanog komunalnog otpada

Godišnje količine proizvedenog miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj za razdoblje između 2015. i 2021. godine prikazane su na slici 10. Od 2015. do 2019. godine primjetan je konstantan porast količina miješanog komunalnog otpada koji je iznosio prosječno 2,30% godišnje. Godine 2020. dolazi do pada količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada za 6,55% uslijed pandemije COVID-19. U 2021. godini zabilježen je porast ukupne količine miješanog komunalnog otpada što se pripisuje postupnom popuštanju restriktivnih mjera vezanih uz COVID-19. Važno je naglasiti kako su i tijekom 2021. godine na snazi bile protuepidemijske mjere koje su rezultirale smanjenom proizvodnjom komunalnog otpada u odnosu na 2018. i 2019. godinu. Rast u odnosu na 2020. godinu iznosio je 3,97%. U skladu s navedenim, podaci za 2020. i 2021. godinu nisu reprezentativni pa se kao referentna količina miješanog komunalnog otpada koristila količina istoga iz 2019. godine.



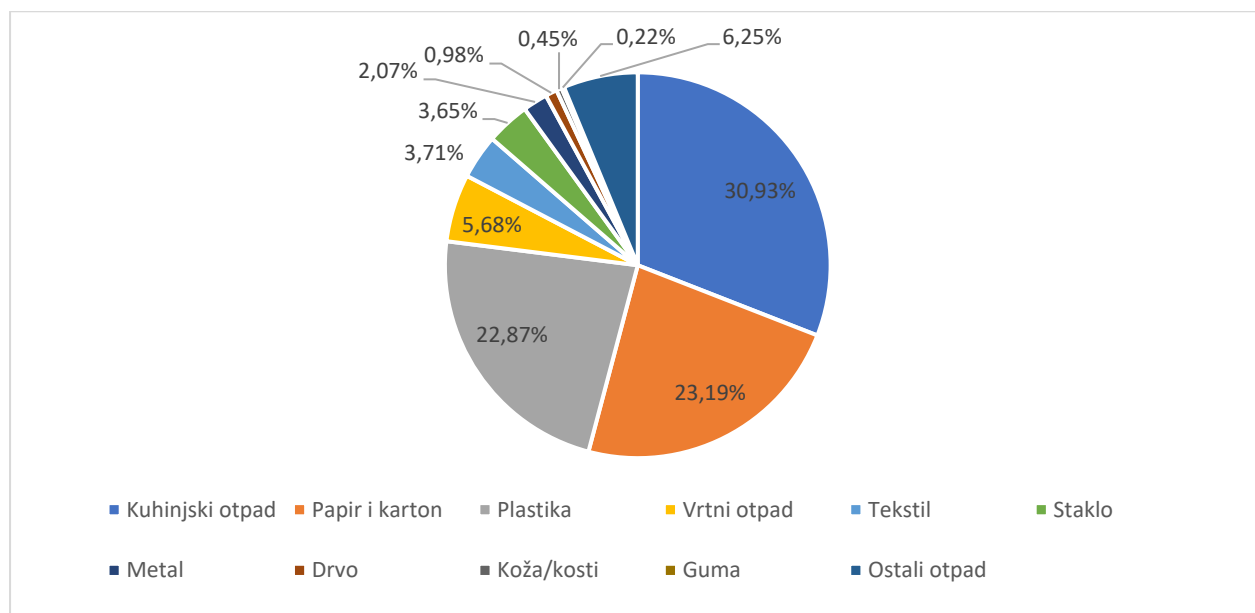
Slika 12. Količine ukupno nastalog miješanog komunalnog otpada u RH u razdoblju 2015.-2021. (27)

#### 4.1.2. Sastav miješanog komunalnog otpada

Sastav miješanog komunalnog otpada nastalog u Republici Hrvatskoj prikazan je u tablici 8. Sastavnica s najvećim udjelom u MKO-u jest kuhinjski otpad (30,93%), a značajan udio također zauzimaju papir i karton (23,19%) te plastika (22,87%). Iz podataka se može zaključiti kako navedene sastavnice čine 77% ukupno nastalog MKO-a, dok preostalih 23% čine sve ostale sastavnice. Od toga 16,75% čine sastavnice kao što su vrtni otpad, staklo, metal, drvo, koža i gume, a za 6,25% MKO-a nije provedena kategorizacija što se navodi kao “ostali otpad”.

Tablica 8. Procijenjeni sastav MKO-a u RH 2015. Godine (28)

Sastavnica	Udio (%)
Kuhinjski otpad	30,93
Papir i karton	23,19
Plastika	22,87
Vrtni otpad	5,68
Tekstil	3,71
Staklo	3,65
Metal	2,07
Drvo	0,98
Koža/kosti	0,45
Guma	0,22
Ostali otpad	6,25
	<b>100</b>



Slika 13. Procijenjeni sastav MKO-a u RH 2015. Godine (28)

### 4.1.3. Ogrjevna vrijednost miješanog komunalnog otpada

U tablici 9. Prikazane su gornje ogrjevne vrijednosti po jednoj toni pojedine sastavnice miješanog komunalnog otpada ( $H_{gs}$ ). Najveću gornju ogrjevnu vrijednost ima plastika (32,8 GJ/t) koju slijedi guma (26,1 GJ/t). Ogrjevnu vrijednost nemaju metal, staklo i ostali otpad koji nije kategoriziran.

**Tablica 9.** Gornja ogrjevna vrijednost po 1 t pojedine sastavnice MKO-a ( $H_{gs}$ ) (29)

Sastavnica	$H_{gs}$ (GJ/t)
Plastika	32,8
Guma	26,1
Tekstil	18,7
Koža	18,5
Papir i karton	15,8
Drvo	15
Vrtni otpad	6,3
Kuhinjski otpad	5,5
Metal	0
Staklo	0
Ostali otpad	0

Podatci iz tablice 9. koristili su se za izračun gornje ogrjevne vrijednosti ukupnog miješanog komunalnog otpada proizvedenog u RH na godišnjoj razini ( $H_{g(MKO)}$ ) koji je prikazan tablicama 10., 11. i 12. sukladno scenarijima 1, 2 i 3.

Scenarij 1 podrazumijeva najveće količine miješanog komunalnog otpada predviđenog za energetske uporabu termičkim postupkom dok scenarij 3 podrazumijeva najmanje količine istoga. Navedeno se zasniva na stopi recikliranja koja je najmanja u scenariju 1 (32%), a najveća u scenariju 3 (65%). Navedeni scenariji baziraju se na stopama odvajanja otpada koji su propisani EU direktivama i nacionalnim planskim dokumentima.

U svim tablicama, sukladno količinama MKO-a iz spomenutih scenarija, prikazan je umnožak udjela pojedine sastavnice u MKO ( $s$ ) i ukupne mase proizvedenog MKO na godišnjoj razini ( $m$ ), zatim gornja ogrjevna vrijednost sastavnica MKO-a po jednoj toni pojedine sastavnice ( $H_{gs}$ ), izračunate gornje ogrjevne vrijednosti pojedine sastavnice MKO nastale u jednoj godini ( $H_{gi}$ ) te konačno – gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO-a proizvedenog u RH na godišnjoj razini ( $H_{g(MKO)}$ ).

**Tablica 10.** Gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO-a proizvedenog u RH na godišnjoj razini prema Scenariju 1

Sastavnica	Scenarij 1		
	s×m	Hg <sub>s</sub>	Hg <sub>i</sub>
	t/god	GJ/t	GJ/god
Plastika	113.506	32,8	3.722.989
Guma	991	26,1	25.873
Drvo	4.957	15	74.349
Tekstil	18.339	18,7	342.946
Papir/karton	114.993	15,8	1.816.885
Koža	2.478	18,5	45.849
Vrtni otpad	28.253	6,3	177.991
Kuhinjski otpad	153.158	5,5	842.371
Metali	10.409		
Staklo	18.339		
Ostali otpad	31.226		
<b>Ukupno</b>	<b>496.649</b>		<b>Hg(MKO) = ΣHg<sub>i</sub> = 7.049.253</b>

**Tablica 11.** Gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO-a proizvedenog u RH na godišnjoj razini prema Scenariju 2

Sastavnica	Scenarij 2		
	s×m	Hg <sub>s</sub>	Hg <sub>i</sub>
	t/god	GJ/t	GJ/god
Plastika	59.012	32,8	1.935.588
Guma	515	26,1	13.451
Drvo	2.577	15	38.654
Tekstil	9.534	18,7	178.298
Papir/karton	59.785	15,8	944.602
Koža	1.288	18,5	23.837
Vrtni otpad	14.688	6,3	92.538
Kuhinjski otpad	79.627	5,5	437.950
Metali	5.412		
Staklo	9.534		
Ostali otpad	16.235		
<b>Ukupno</b>	<b>258.207</b>		<b>Hg(MKO) = ΣHg<sub>i</sub> = 3.664.918</b>

**Tablica 12.** Gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO-a proizvedenog u RH na godišnjoj razini prema Scenariju 3

Sastavnica	Scenarij 3		
	s×m	Hg <sub>s</sub>	Hg <sub>i</sub>
	t/god	GJ/t	GJ/god
Plastika	35.471	32,8	1.163.436
Guma	310	26,1	8.085
Drvo	1.549	15	23.234
Tekstil	5.731	18,7	107.171
Papir/karton	35.935	15,8	567.778
Koža	775	18,5	14.328
Vrtni otpad	8.829	6,3	55.622
Kuhinjski otpad	47.862	5,5	263.241
Metali	3.253		
Staklo	5.731		
Ostali otpad	9.758		
<b>Ukupno</b>	<b>155.204</b>		<b>Hg<sub>(MKO)</sub> = ΣHg<sub>i</sub> = 2.202.895</b>

Prema scenariju 1, gornja ogrjevna vrijednost ukupnog MKO-a proizvedenog u RH na godišnjoj razini iznosi 7.049.253 GJ/god. Prema scenariju 2, ona iznosi 3.664.918 GJ/god, a prema scenariju 3 iznosi 2.202.895 GJ/god.

Prosječna gornja ogrjevna vrijednost MKO-a u RH, sukladno količini MKO-a dostupnog za energetske uporabu i pridruženoj gornjoj ogrjevnoj vrijednosti po 1 t svake pojedine sastavnice, iznosi 14,19 MJ/kg.

#### **4.1.4. Energija koja se može dobiti energetsom uporabom miješanog komunalnog otpada termičkim postupkom**

Tijekom proizvodnje električne energije iz MKO-a, energija sadržana u dimnim plinovima mora se uporabiti na način da se stvara vruća para/voda. Sukladno dokumentu „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration” (17), bruto energetska učinkovitost za novo postrojenje za energetske uporabu otpada termičkim postupkom mora biti između 72% i 91% (prosječna vrijednost 82%), a bruto električna učinkovitost između 25% i 35% (prosječna vrijednost 30%).



Na temelju navedenih podataka, procijenjena je količina električne i toplinske energije koja bi se mogla dobiti energetsom uporabom MKO-a termičkim postupkom u RH prema scenarijima potencijalne količine MKO-a dostupnog za energetske uporabu.

**Tablica 13.** Električna i toplinska energija koja bi se mogla proizvesti energetsom uporabom MKO termičkim postupkom u RH prema scenarijima potencijalne količine MKO-a dostupnog za energetske uporabu

	<b>Scenarij 1</b>	<b>Scenarij 2</b>	<b>Scenarij 3</b>
Električna energija (GJ/god)	2.114.776	1.099.475	660.869
% ukupne potrošnje električne energije u RH	3,26%	1,69%	1,02%
Toplinska energija (GJ/god)	1.099.683	571.727	343.652

Najveća količina električne i toplinske energije proizvela bi se iz količina MKO-a sukladno scenariju 1, dok bi se najmanja količina električne i toplinske energije proizvela u scenariju 3.

Uzimajući u obzir ukupnu potrošnju električne energije u RH u 2020. godini koja je iznosila 64.890.000 GJ (30), količina električne energije koja se potencijalno može proizvesti iz MKO-a termičkim postupkom u RH iznosi između 1,02% u scenariju 3 i 3,26% u scenariju 1.

#### **4.2. Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje**

Energane na otpad često su se povezivale sa emisijama onečišćujućih tvari koje imaju utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje (31). To se, prije svega, odnosilo na poliklorirane dibenzodiodksine (PCDD) i dibenzofurane (PCDF), dušikove okside, sumporne okside itd. (32).

Kada se promatra utjecaj energana na otpad na okoliš, najvažnijim utjecajem smatra se upravo potencijalno onečišćenje zraka odnosno emitiranje onečišćujućih tvari iz samih energana. (33) Onečišćenje zraka u svakom slučaju utječe na zdravlje ljudi, pa se i prilikom procjene utjecaja energana na otpad na zdravlje prvenstveno analiziraju emisije onečišćujućih tvari u zrak.

U svrhu smanjenja utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje, diljem svijeta su utvrđene granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz energana na otpad u zrak. U Europskoj uniji, granične vrijednosti su propisane Direktivom 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća (34). Dodatno, 2019. godine Europska komisija je objavila dokument pod nazivom „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration” (17), koji postavlja još strože granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz energana na otpad u zrak. U skladu s navedenim, moderne energane na otpad koriste sofisticirane sustave za čišćenje i nadzor dimnih plinova, što ih čini ekološki prihvatljivom opcijom za proizvodnju električne i toplinske energije. U današnjem svijetu široko je prisutan znanstveni konsenzus da energetska uporaba otpada termičkim postupkom nema negativan utjecaj na zdravlje ljudi (32).

**Tablica 14.** Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz energana na otpad prema „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration” (17)

Parametar	Mjerna jedinica	Granična vrijednost		Razdoblje
		Novo postrojenje	Postojeće postrojenje	
Krute čestice	mg/Nm <sup>3</sup>	<2 – 5	<2 – 5	Dnevni prosjek
Cd + Tl	mg/Nm <sup>3</sup>	0,005 – 0,02	0,005 – 0,02	Prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/Nm <sup>3</sup>	0,01 – 0,3	0,01 – 0,3	Prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	< 2 – 6	< 2 – 8	Dnevni prosjek
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	< 1	< 1	Dnevni prosjek ili prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	5 – 30	5 – 40	Dnevni prosjek
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	50 – 120	50 -150	Dnevni prosjek
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	10 – 50	10 – 50	Dnevni prosjek
NH <sub>3</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2 – 10	2 – 10	Dnevni prosjek
HOS	mg/Nm <sup>3</sup>	< 3 – 10	< 3 – 10	Dnevni prosjek
PCDD/F	ng I – TEQ / Nm <sup>3</sup>	< 0,01 – 0,04	< 0,01 – 0,06	Prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
		< 0,01 – 0,06	< 0,01 – 0,08	Dugoročno uzorkovanje
PCDD/F + dioksinu slični PCB-i	ng WHO – TEQ / Nm <sup>3</sup>	< 0,01 – 0,06	< 0,01 – 0,08	Prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
		< 0,01 – 0,08	< 0,01 – 0,10	Dugoročno uzorkovanje
Hg	µg/Nm <sup>3</sup>	< 5 – 20	< 5 – 20	Dnevni prosjek ili prosjek tijekom razdoblja uzorkovanja
		1 – 10	1 – 10	Dugoročno uzorkovanje

\*novo postrojenje = postrojenje izgrađeno nakon objave dokumenta (17) ili postrojenje na kojemu je izvršena potpuna rekonstrukcija nakon objave istog dokumenta

Emisije HCl, HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i metala uglavnom ovise o strukturi otpada i kvaliteti čišćenja dimnih plinova. Emisije CO i HOS ovise prvenstveno o tehničkim parametrima peći u okviru energane i stupnju heterogenosti otpada u fazi izgaranja. Na emisije NO<sub>x</sub> također utječe i način rada same peći. Emisije policikličkih dibenzodioksina i dibenzofurana (PCDD/F) u zrak ovise o strukturi otpada, o temperaturi i vremenu zadržavanja u komori za izgaranje (minimalna temperatura 850 °C tijekom 2 sekunde) te radnim uvjetima postrojenja (moguća reformacija i de novo sinteza) i efikasnosti sustava za čišćenje dimnih plinova. Emisije većine ostalih parametara također ovise o efikasnosti sustava za čišćenje dimnih plinova što je i najvažniji dio energana u kontekstu zaštite okoliša i zdravlja (17).

U nastavku slijedi prikaz emisija onečišćujućih tvari iz postojećih energana na otpad na području Europe s napomenom da podatci ne pokazuju povezanost između vrijednosti emisija s jedne strane i veličine i starosti postrojenja ili vrste komore za izgaranje u okviru postrojenja s druge strane.

Godišnji prosjek emisija HCl kreće se od granice kvantifikacije do 13 mg/Nm<sup>3</sup>. Zamijećeno je kako postrojenja s mokrim čišćenjem postižu niže vrijednosti emisija – uglavnom < 2 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije HCl se odnose na 202 relevantna postrojenja na području Europe koja koriste miješani komunalni otpad kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija HF kreće se od granice kvantifikacije do 0,4 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije HF se odnose na 157 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija SO<sub>2</sub> kreće se od granice kvantifikacije do 45 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije SO<sub>2</sub> se odnose na 204 relevantna postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija krutih čestica kreće se od granice kvantifikacije do 6 mg/Nm<sup>3</sup>. Većina postrojenja opremljenih s vrećastim filtrima postižu još niže razine emisije: < 2,5 mg/Nm<sup>3</sup> kao godišnji prosjek. Samo nekoliko postrojenja prijavilo je godišnje prosječne razine između 3 i 6 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije krutih čestica se odnose na 203 relevantna postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija NO<sub>x</sub> kreće se od 18 do 275 mg/Nm<sup>3</sup>. Iz podataka proizlazi kako postrojenja s SCR sustavom (katalitička denitrifikacija) postižu prosječne emisije do 20 mg/Nm<sup>3</sup>, a u svakom slučaju < 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije NO<sub>x</sub> se odnose na 204 relevantna postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija NH<sub>3</sub> kreće se od granice kvantifikacije do 10 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije NH<sub>3</sub> se odnose na 146 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija HOS kreće se od granice kvantifikacije do 3 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije HOS se odnose na 198 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija CO kreće se od 0,5 do 31 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije CO se odnose na 199 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija PCDD/F kreće se od granice kvantifikacije do 0,24 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Mora se naglasiti kako velika većina analiziranih postrojenja ima godišnji prosjek < 0,06 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Sva postrojenja opremljena fiksnim adsorpcijskim slojem, bez iznimke, ostvaruju emisije < 0,05 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije PCDD/F se odnose na 199 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija Hg kreće se od granice kvantifikacije do 10 µg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije Hg se odnose na 53 relevantna postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V kreće se od granice kvantifikacije do 0,3 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V se odnose na 205 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

Godišnji prosjek emisija Cd + Tl kreće se od granice kvantifikacije do 0,02 mg/Nm<sup>3</sup>. Navedene emisije Cd + Tl se odnose na 197 relevantnih postrojenja na području Europe koja koriste MKO kao gorivo (17).

## 5. RASPRAVA

Ovim radom prikazane su mogućnosti energetske oporabe otpada u Republici Hrvatskoj kroz izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada te pregled utjecaja postojećih energana na otpad na okoliš i zdravlje kroz prikaz utjecaja postojećih postrojenja za energetske oporabu otpada termičkim postupkom.

Energetski potencijal miješanog komunalnog otpada u kontekstu ovoga rada podrazumijeva mogućnosti proizvodnje električne i toplinske energije iz miješanog komunalnog otpada koji nastaje u Republici Hrvatskoj.

Osnova za izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada bila je određivanje ukupnih količina nastalog miješanog komunalnog otpada na godišnjoj razini. Od 2015. do 2019. godine, količine ukupno proizvedenog MKO-a prosječno su rasle 2,30% godišnje. Godine 2020. došlo je do pada količine ukupno proizvedenog MKO-a za 6,55% uslijed pandemije COVID-19. U sljedećoj, 2021. godini zabilježen je porast ukupne količine MKO-a što se pripisuje postupnom popuštanju propisanih restriktivnih mjera. Rast u odnosu na 2020. godinu iznosio je 3,97% čime nisu dosegnute količine iz 2018. i 2019. godine. Prema tome, podatci za 2020. i 2021. godinu, ne smatraju se reprezentativnima, pa se kao referentna količina miješanog komunalnog otpada koristila količina istoga iz 2019. godine.

Što se tiče sastava miješanog komunalnog otpada, utvrđeno je kako 77% istoga čine kuhinjski otpad, papir i karton te plastika. Preostalih 23% čine sve preostale sastavnice. Važno je naglasiti kako je procjena utvrđena temeljem analiza provedenih između 2008. i 2014. godine što povećava mogućnost da se sastav u određenoj mjeri promijenio. U narednom razdoblju trebao bi se utvrditi novi sastav miješanog komunalnog otpada (9) kako bi se mogle provesti analize s još preciznijim podacima.

Još jedan važan element za izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada jest ogrjevna vrijednost pojedinih sastavnica. Koristili smo gornje ogrjevne vrijednosti za sve sastavnice i utvrđeno je da najveću vrijednost imaju plastični i gumeni materijali.

Količina miješanog komunalnog otpada koji je dostupan za energetske oporabu, u skladu s čime se radio izračun njegovog energetskeg potencijala, razlikuje se u svakom od tri scenarija koja smo predvidjeli ovim radom. Scenariji pretpostavljaju različite stope recikliranja miješanog komunalnog otpada: 32%, 55% i 65%. Trenutačna stopa recikliranja MKO-a u Republici Hrvatskoj iznosi 32%, a stope od 55% i 65% postavljene su u skladu s ciljevima iz

Direktive 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (6). U članku 11., točki 2., Direktive, propisuje se obveza povećanja pripreme za ponovnu uporabu i recikliranja komunalnog otpada na najmanje 55% mase do 2025. godine, na 60 % mase do 2030. godine te na 65% mase do 2035. godine. Republika Hrvatska, sukladno članku 11., točkama 3. i 5. Direktive, ima pravo na odgodu spomenute obveze za najviše pet godina odnosno mora povećati pripremu za ponovnu uporabu i recikliranje komunalnog otpada na najmanje 50% mase do 2025. godine, na 55 % mase do 2030. godine te na 60% mase do 2035. godine.

Svim scenarijima zajednička je ukupna količina miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj iz 2019. godine, zatim stopa odlaganja miješanog komunalnog otpada na odlagališta (10%) i udio miješanog komunalnog otpada koji se obrađuje u MBO postrojenjima (10%). Zadnja pretpostavka se može dovesti u pitanje budući da postoje planovi za izgradnju dodatne MBO infrastrukture u Republici Hrvatskoj za sljedeće razdoblje, no dosadašnja iskustva govore o mnogim problemima i kašnjenju u izgradnji navedenih postrojenja. Primjerice, izgradnja prvog centra za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj koji upravlja, između ostaloga, MBO postrojenjem trajala je više od 20 godina. Navedeno postrojenje i danas ima problema s funkcioniranjem, prvenstveno zbog nedostatka infrastrukture za plasman proizvedenog goriva iz otpada.

Provedbom izračuna gornjih ogrjevnih vrijednosti miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj za svaki od tri navedena scenarija, došli smo do prosječne vrijednosti od 14,19 MJ/kg. Vrijednost, naravno, može varirati ovisno o geografskom položaju i razdoblju u godini. Primjerice, turizam značajno utječe na količinu, sastav, a posljedično i na ogrjevnu vrijednost miješanog komunalnog otpada.

Konačni rezultati ukazuju na to da se iz miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj može proizvesti električna energija u rasponu od 1,02% do 3,26% ukupne potrošnje energije u zemlji. Navedeni rezultati ovise o pretpostavljenim scenarijima odnosno, prvenstveno, o količini miješanog komunalnog otpada koji je dostupan za energetske uporabu termičkim postupkom.

Što se tiče utjecaja postrojenja za energetske uporabu otpada termičkim postupkom na okoliš i zdravlje, isti je promatran kroz vrijednosti emisija onečišćujućih tvari iz samih postrojenja diljem Europe.

Kako bi se osigurao minimalni utjecaj na okoliš i zdravlje, energane na otpad se moraju držati propisanih graničnih vrijednosti emisija onečišćujućih tvari (13). Granične vrijednosti

Europske unije, propisane Direktivom 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća (34) smatraju se strožima u odnosu na ostatak svijeta (npr. Kina, Indija) (13). Donošenjem dokumenta pod nazivom „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration” (17) od strane Europske komisije 2019. godine, postavljeni su još stroži kriteriji za zadovoljenje graničnih vrijednosti emisija u okoliš (32).

Iz prikazanih rezultata vidljivo je kako prosječne godišnje vrijednosti emisija onečišćujućih tvari većine parametara udovoljavaju strogim graničnim vrijednostima Europske komisije iz dokumenta „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration”. Postoji nekoliko izuzetaka koji podrazumijevaju prosječne godišnje vrijednosti emisija HCl, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i PCDD/F. Ono što podatci jasno pokazuju jest da se svi navedeni parametri vrlo učinkovito kontroliraju u postrojenjima koja su adekvatno opremljena sustavom za čišćenje dimnih plinova. U skladu s time, takva postrojenja emitiraju količine navedenih tvari ispod propisanih graničnih vrijednosti što u konačnici nema štetni utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. Time se dokazuje da određeni problemi postoje u neodržavanim postrojenjima sa zastarjelom tehnologijom čišćenja dimnih plinova, ali i da su moderna, adekvatno opremljena postrojenja sigurna za okoliš i zdravlje ljudi.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom su radu prikazane mogućnosti energetske uporabe otpada u Republici Hrvatskoj kroz izračun energetskeg potencijala miješanog komunalnog otpada koji nastaje na državnom teritoriju. U skladu s rezultatima, može se zaključiti kako je količina ukupnog miješanog komunalnog otpada proizvedenog u RH konstantno rasla između 2015. i 2019. godine s izuzetkom u 2020. godini uslijed pandemije COVID-19. Najveći dio sastava miješanog komunalnog otpada čine kuhinjski otpad, papir i plastika. Korištenjem takvog otpada kao goriva u postrojenjima za energetske uporabu otpada termičkim postupkom, potencijalno je moguće proizvesti između 1,02% i 3,26% ukupne potrošnje električne energije u RH, ovisno o dostupnoj količini MKO. Količina topline koja se istodobno može proizvesti iznosi između 343.652 GJ/god i 1.099.683 GJ/god. Ipak, mora se naglasiti kako je potrebno provesti novu analizu sastava otpada čime bi se omogućilo stvaranje relevantnijeg zaključka o energetskeg potencijalu MKO.

Utjecaj energana na otpad na okoliš i zdravlje prikazan je pomoću podataka o emisijama onečišćujućih tvari iz postojećih energana na području petnaest država članica EU i Norveške. Energane na otpad opremljene adekvatnim sustavom za čišćenje dimnih plinova emitiraju količine onečišćujućih tvari ispod propisanih graničnih vrijednosti što u konačnici nema štetni utjecaj na okoliš i ljudsko zdravlje. U skladu s navedenim, energetske uporabe otpada termičkim postupkom predstavlja okolišno i zdravstveno prihvatljivu opciju za smanjenje ukupne količine otpada uz efikasnu proizvodnju električne energije i topline.

Dodatno, prema zakonodavstvu EU, od 2035. godine svaka država članica imat će obvezu ograničenja odlaganja komunalnog otpada na najviše 10% ukupno nastalih količina na godišnjoj razini. Pritom je, također do 2035. godine, potrebno osigurati recikliranje najmanje 65% ukupno nastalih količina na godišnjoj razini. Ostatak od 25% potrebno je obraditi ostalim postupcima gospodarenja otpadom. U skladu s prvenstvom gospodarenja otpadom, prednost se daje ponovnoj uporabi otpada, no teško je očekivati da će se čak 25% ukupnih količina komunalnog otpada ponovno uporabiti. Tu nastupa opcija energetske uporabe otpada termičkim postupkom bez koje će biti teško ispuniti navedene obveze. U skladu s time, potrebno je razmotriti primjenu iste u Republici Hrvatskoj.



## 7. LITERATURA

1. Narodne novine: Zakon o gospodarenju otpadom, Narodne novine broj 084/2021
2. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zavod za zaštitu okoliša i prirode [Internet]. Zagreb: O otpadu, redu prvenstva i nadležnostima, [ažurirano 4.11.2021.; citirano 2.5.2023.]. Dostupno na: <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/gospodarenje-otpadom/o>
3. Narodne novine: Pravilnik o gospodarenju otpadom, Narodne novine broj 106/2022
4. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, Zavod za zaštitu okoliša i prirode [Internet]. Zagreb: Kategorizacija otpada – određivanje ključnog broja i svojstava otpada, [ažurirano 16.09.2022.; citirano 4.5.2023.]. Dostupno na: <https://www.haop.hr/hr/tematska-podrucja/otpad-registri-oneciscavanja-i-ostali-sektorski-pritisci/gospodarenje-otpadom-12>
5. Uredba Komisije (EU) br. 1357/2014 od 18. prosinca 2014. o zamjeni Priloga III. Direktivi 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o otpadu i stavljaju izvan snage određenih direktiva
6. Direktiva 2008/98/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 19. studenoga 2008. o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva
7. Worrell, W.A. and Vesilind, P.A. Solid Waste Engineering. 2. izdanje. Stamford: Cengage Learning; 2012.
8. Reciklažno dvorište Solin [Internet]. Solin: Hijerarhija gospodarenja otpadom, [citirano 10.5.2023.]. Dostupno na: <http://www.reciklaznodvoriste.solin.hr/index.php/gospodarenje-otpadom/hijerarhija-gospodarenja-otpadom>
9. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja: Prijedlog Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine
10. Europski parlament [Internet]. Bruxelles: Kružno gospodarstvo - definicija i koristi koje donosi, [ažurirano 30.5.2023.; citirano 3.6.2023.]. Dostupno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-i-koristi-koje-donosi>
11. Tomić T. Energetska uporaba otpada pod utjecajem europske legislative [doktorska disertacija]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje; 2019.

12. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja [Internet]. Zagreb: Izmjene EU Direktiva o otpadu, [ažurirano 15.6.2018.; citirano 9.5.2023.]. Dostupno na: <https://mingor.gov.hr/vijesti/izmjene-eu-direktiva-o-otpadu/5006>
13. United Nations Environment Programme (2019). Waste-to-Energy: Considerations for Informed Decision-Making
14. Liu C., Nishiyama T., Kawamoto K., Sasaki S. CCET guideline series on intermediate municipal solid waste treatment technologies: Waste-to-Energy Incineration. United Nations Environment Programme; 2020.
15. Castaldi MJ. Scientific Truth about Waste to Energy. New York: Chemical Engineering Department, The City College of New York, City University of New York; 2021.
16. Đurđević D., Jelavić B. Otpad kao izvor energije i utjecaj energetske uporabe otpada na okoliš. Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, 6. (12.) savjetovanje; 2018.
17. Cusano G, Roudier S, Neuwahl F, Holbrook S, Gomez Benavides J. Best Available Techniques (BAT) Reference Document For Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2019.
18. Deltaway Waste and Biomass Power Plant Design and Operation[Internet]. Waste-to-Energy: How It Works, [citirano 15.5.2023.]. Dostupno na: <https://deltawayenergy.com/2018/08/waste-to-energy-how-it-works/>
19. IPZ Uniprojekt TERRA d.o.o. Studija o utjecaju zahvata na okoliš - Energana na neopasni otpad i biomasu Sisak. Rev. 6. Zagreb; 2021.
20. Narodne novine: Odluka o donošenju Izmjena Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. – 2022. godine, Narodne novine broj 1/2022
21. CIOS grupa [Internet]. Zagreb: CIOS Energy, [citirano 21.5.2023.]. Dostupno na: <https://cios-grupa.com/cios-energy/>
22. Sisačko moslavačka županija, Upravni odjel za prostorno uređenje, graditeljstvo i zaštitu okoliša. Zapisnik s javne rasprave (javnog izlaganja) Studije o utjecaju na okoliš energane na neopasni otpad i biomasu Sisak CIOS Energy d.o.o. Klasa: 351-03/20-01/04 Urbroj: 2176/01-08/13-21-13. Sisak: 2021.

23. Narodne novine: Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora, Narodne novine broj 042/2021
24. Provedbena odluka Komisije (EU) 2019/2010 od 12. studenoga 2019. o utvrđivanju zaključaka o najboljim raspoloživim tehnikama (NRT-i), na temelju Direktive 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća, za spaljivanje otpada
25. TBU Stubenvoll GmbH, Emission data ABRG Arnoldstein
26. Biočina M. Što znamo, a što bismo trebali znati o energetskej uporabi otpada. Fondzin. 2021; broj 7: 20-21
27. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Izvješće o komunalnom otpadu za 2021. godinu. Rev. 2.; Zagreb: 2023.
28. Bjelić M. (ur), Kufrin J. (ur), Požgaj Đ. (ur), Korica P. (ur), Kruljac A. (ur). Metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada s Napatkom za naručivanje i provedbu određivanja prosječnog sastava komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada. Zagreb: Hrvatska agencija za okoliš i prirodu; 2015.
29. Masters, G.M., Wendell, P.E., 2014. Introduction to Environmental Engineering and Science. Pearson Education Limited, Essex, England
30. Energetski institut Hrvoje Požar. Energija u Hrvatskoj – godišnji energetski pregled. Zagreb: 2021.
31. Tait, P. W., Brew, J., Che, A., Costanzo, A., Danyluk, A., Davis, M. i sur. (2020). The health impacts of waste incineration: a systematic review. Australian and New Zealand Journal of Public Health
32. Traven, L. (2023). Busting the myth: waste-to-energy plants and public health. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, 74(2), 142–143. <https://doi.org/10.2478/aiht-2023-74-3733>
33. Hodgkinson I, Maletz R, Simon FG, Dornack C. (2022.) Mini-review of waste-to-energy related air pollution and their limit value regulations in an international comparison. Waste Manag Res.;40(7):849-858. doi: 10.1177/0734242X211060607
34. Direktiva 2010/75/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 24. studenoga 2010. o industrijskim emisijama (integrirano sprečavanje i kontrola onečišćenja)

## **8. POPIS SKRAĆENICA I AKRONIMA**

CGO – Centar za gospodarenje otpadom

e-ONTO – elektronički Očevidnik o nastanku i tijeku otpada

EU – Europska unija

FZOEU – Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost

KBO – ključni broj otpada

MINGOR – Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja

MKO – miješani komunalni otpad

NN – Narodne novine

RH – Republika Hrvatska

UN – Ujedinjeni narodi

UPOV – uređaj za pročišćavanje otpadnih voda

## 9. ŽIVOTOPIS

Marko Lužaić rođen je 20.07.1998. u Rijeci, Republika Hrvatska. Pohađao je osnovnu školu Hreljin nakon čega upisuje Medicinsku školu u Rijeci, smjer sanitarni tehničar. Završetkom srednje škole, upisuje se na preddiplomski stručni studij sanitarnog inženjerstva na Zdravstvenom veleučilištu Zagreb. Nakon polaganja svih kolegija, upisuje apsolventsku godinu kako bi počeo skupljati radno iskustvo u struci. Tijekom “pandemijskih” 2020. i 2021. godine radi na poslovima dezinfekcije, dezinsekcije i deratizacije. Pohađanjem tečaja u okviru Službe za toksikologiju Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo, postaje neposredni izvršitelj poslova s opasnim kemikalijama. Godine 2021. završava studij u Zagrebu, a iste godine upisuje diplomski sveučilišni studij sanitarnog inženjerstva na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci. Paralelno sa studijem, konstantno je radio u tvrtki koja se bavi projektiranjem, proizvodnjom i prodajom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Trenutačno radi u tvrtki koja pruža konzultantske usluge za projekte implementacije sustava upravljanja. Od stranih jezika aktivno se služi engleskim jezikom.