

# Utjecaj heterogenosti otpada na rezultate testa procjeđivanja

---

**Kovačić, Karlo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:315345>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

KARLO KOVAČIĆ

UTJECAJ HETEROGENOSTI OTPADA  
NA REZULTATE TESTA PROCJEĐIVANJA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2024.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva  
za \_\_\_\_\_ u \_\_\_\_\_ sa  
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred  
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu  
Varaždin, \_\_\_\_\_

Predsjednik  
ispitnog povjerenstva:  
Prof. dr. sc. Saša Koroć

**Članovi povjerenstva**

- 1) Prof. dr. sc. Aleksandra Amić Vešmić
- 2) Izv. prof. dr. sc. Ivana Grčić
- 3) Doc. dr. sc. Vitimir Preur

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

KARLO KOVAČIĆ

UTJECAJ HETEROGENOSTI OTPADA  
NA REZULTATE TESTA PROCJEĐIVANJA

DIPLOMSKI RAD

KANDIDAT:

KARLO KOVAČIĆ

MENTOR:

prof.dr.sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ



VARAŽDIN, 2024.

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ HETEROGENOSTI OTPADA NA REZULTATE TESTA PROCJEDIVANJA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 28.06.2024.

\_\_\_\_\_  
Karlo Kovačić

(Ime i prezime)

\_\_\_\_\_  
(Vlastoručni potpis)

**IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ  
OBJAVLJENIM RADOVIMA**


Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

UTJECAJ HETEROGENOSTI OTPADA NA REZULTATE TESTA PROCJEĐIVANJA

pregledan anti-plagijat programskim paketom Turnitin te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 26. 06. 2024.

Prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić  
(Mentor)

  
\_\_\_\_\_  
(Vlastoručni potpis)

## **ZAHVALA**

*Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Aleksandri Anić Vučinić na nesebičnoj podršci, stručnim savjetima i strpljenju tijekom izrade ovog diplomskog rada. Posebnu zahvalnost izražavam i doc. dr. sc. Ivani Presečki na pomoći u vezi eksperimentalnog dijela istraživanja, te dr. med. vet. Saši Zavrtniku na provedenoj analizi uzoraka. Iskreno se zahvaljujem i svojim roditeljima na neizmjernoj podršci i vjeri u mene kroz cijelo ovo razdoblje. Bez njihove podrške ovaj rad ne bi bio moguć.*

Ime i prezime: Karlo Kovačić  
Naslov rada: UTJECAJ HETEROGENOSTI OTPADA NA REZULTATE  
TESTA PROCJEDIVANJA

#### Sažetak

*Tema diplomskog rada je prikaz utjecaja heterogenosti miješanog komunalnog otpada na dobivanje različitih rezultata provedbom testa procjeđivanja (eng. leaching test). Za potrebe testa koriste se uzorci iz funkcionalnih centara za gospodarenje otpadom Marišćina i Bikarac, gdje se dnevne količine ulaznog otpada mjere u tonama. Primjerice za CGO Marišćina dnevni kapacitet iznosi 350 t po danu, a za reprezentativni uzorak uzeta je masa od samo 90 g što može utjecati na točnost i reprezentativnost rezultata.*

*Da bi se ispitao utjecaj heterogenosti otpada na tako malen reprezentativni uzorak, provodi se dodatno uzorkovanje nasumičnim odabirom. Svi uzorci podvrgavaju se laboratorijskom testu procjeđivanja s ciljem dobivanja vrijednosti za propisane parametre. Dobivene vrijednosti reprezentativnog uzorka uspoređuju se s vrijednostima nasumično odabranih uzoraka. Na taj način definiraju se odstupanja od reprezentativnog uzorka koja su u radu izražena u postotcima.*

*Međusobnom usporedbom rezultata primijećena su velika odstupanja pojedinih parametara u odnosu na reprezentativan uzorak koji bi trebao sadržavati sva svojstva i karakteristike mase iz koje je uzet. Navedena odstupanja mogu se pripisati iznimnoj heterogenosti otpada i maloj masi korištenog uzorka. Rezultati pokazuju odstupanja koja variraju u rasponu od +100% do -250%, izuzev određenih parametara čija su odstupanja još veća s vrlo visokim postotnim vrijednostima. Sukladno rezultatima istraživanja zaključeno je kako reprezentativni uzorci ne prikazuju realna stanja.*

**Ključne riječi:** *sastav otpada, test procjeđivanja, reprezentativni uzorak.*



Name and Surname: Karlo Kovačić

Title: THE IMPACT OF WASTE HETEROGENEITY ON THE RESULTS OF A LEACHING TEST

#### Abstract

*This bachelor thesis shows the influence of heterogeneity of mixed municipal waste on obtaining different results by performing a leaching test. For the purposes of the leaching test, samples from the functional waste management centers Marišćina and Bikarac are used, where daily amounts of incoming waste are measured in tons. For example, for Marišćina, the daily capacity is 350 t per day, and for a representative sample a mass of only 90 g was taken, which can affect the accuracy and representativeness of the results.*

*In order to examine the impact of waste heterogeneity on such a small representative sample, additional random sampling is carried out. All samples are subjected to the laboratory leaching test with the aim of obtaining values for the prescribed parameters. The obtained values of the representative sample are compared with the values of randomly selected ones. After the deviations from the representative sample have been defined, they are expressed in percentages.*

*The results of the research were analyzed and mutually compared. The comparison shows large deviations of some parameters in relation to the representative sample which should contain all the properties and characteristics of the mass from which it was taken. The deviations can be attributed to the extreme heterogeneity of the waste and the small mass of the sample. The results show deviations that vary on average from +100% to -250%, except for certain parameters which have larger deviations with very high percentage values. According to the results of the research, it was concluded that the representative samples does not show the real situation.*

**Key words:** waste composition, leaching test, representative sample.

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	<b>2</b>
2.1 Osnovna karakterizacija otpada .....	2
2.1.1 Klasifikacija odlagališta .....	3
2.1.2 Temeljni zahtjevi osnovne karakterizacije otpada .....	5
2.2 Miješani komunalni otpada (MKO) .....	8
2.3 Uzorkovanje otpada .....	9
2.4 Test izlučivanja (eng. Leaching test) .....	9
2.5 Centri za gospodarenje otpadom .....	11
2.6 MBO (mehaničko biološka obrada) .....	12
2.7 CGO Marišćina .....	13
2.7.1 Tehničko-tehnološki procesi CGO Marišćina .....	14
2.7.1.1 Biološka obrada CGO Marišćina .....	16
2.7.1.2 Mehanička obrada CGO Marišćina .....	17
2.7.1.3 Odlaganje otpada na biorektorsko odlagalište .....	17
2.7.1.4 Vodonepropustnost biorektorskog odlagališta .....	18
2.7.1.5 Nacrt tehničko-tehničkih procesa CGO Marišćina .....	18
2.8 CGO Bikarac .....	20
2.8.1 Tehničko-tehnološki procesi CGO Bikarac .....	21
2.8.1.1 Mehanička obrada CGO Bikarac .....	24
2.8.1.2 Biološka obrada CGO Bikarac .....	25
2.8.1.3 Nacrt tehničko-tehničkih procesa CGO Bikarac .....	26
<b>3. EKPRIMENTALNI DIO</b> .....	<b>28</b>
3.1 Materijali .....	28
3.2 Metode .....	29
3.2.1 četvrtanje uzoraka .....	29
3.2.2 Nasumično zorkovanje .....	29
3.2.3 Laboratorijski test procjeđivanja .....	30
3.3 Analiza rezultata .....	33
<b>4. REZULTATI I RASPRAVA</b> .....	<b>34</b>
4.1 Analitički uređaji .....	34
4.2 Rezultati .....	35
4.3 Rasprava .....	38
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>44</b>
<b>6. LITERATURA</b> .....	<b>47</b>

## 1.UVOD

Otpad je jedan od najvećih rastućih problema današnjice u cijelom svijetu a tome doprinosi činjenica sve većeg globalnog konzumerizma i potrošnje resursa. Da bi se otpadom gospodarilo na pravilan način u zakonu o gospodarenju otpadom definiran je red prvenstva gospodarenja otpadom: sprječavanja nastanka otpada, priprema za ponovnu upotrebu, recikliranje, energetska uporaba i zbrinjavanje kao krajnja aktivnost [1].

Otpad je prije trajnog zbrinjavanja na odlagalište otpada potrebno klasificirati i ispitati kako bi se odredilo kojoj vrsti odlagališta je namijenjen. U svrhu karakterizacije i klasifikacije otpada provode se testovi ispiranja tj. procjeđivanja, čiji rezultati prikazuju vrijednosti za pojedine parametre eluata. Na taj način oponaša se stvaranje procjednih voda u tijelu odlagališta. Zakonodavstvo Europske Unije generalno je dovelo do smanjivanja otpada koji se odlaže na odlagališta, no procjedne vode i dalje predstavljaju velik rizik zbog prisutnosti onečišćujućih tvari koje mogu kontaminirati podzemne vode kao i one površinske ukoliko se ne prate i ne kontroliraju na odgovarajući način [2]. Nadalje, zbog velike heterogenosti miješanog komunalnog otpada izazov je odrediti reprezentativni uzorak koji će predstavljati sve karakteristike i svojstva hrpe iz koje je uzet.

Stoga je cilj diplomskog rada ispitati i usporediti uzorke obrađenog miješanog komunalnog otpada iz BMO i MBO postrojenja i na njima provesti test procjeđivanja s ciljem usporedbe postotnih odstupanja reprezentativnog uzorka od vrijednosti nasumično uzetih uzoraka. Hipoteza koja se pritom postavlja je da s obzirom na izrazitu heterogenost otpada i malu masu uzorka, dobivene vrijednosti neće biti reprezentativne. Nadalje, cilj rada je da se potvrdi da li bi u zakonodavnom okviru bolje odgovarao raspon graničnih vrijednosti za propisane parametre umjesto jednog broja kao što je trenutni slučaj.

## **2. TEORIJSKI DIO**

### **2.1 Osnovna karakterizacija otpada**

Osnovna karakterizacija otpada bitan je pojam u gospodarenju otpadom iz razloga jer se definiraju ali i propisuju određeni kriteriji za prihvata otpada na različite vrste odlagališta. Navedeni kriteriji propisuju se pravilnikom o odlagalištima otpada (NN 4/2023), a specificiraju se odlukom vijeća o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvata otpada na odlagališta iz 2003. g. (2003/33/EZ).

Pravilnikom o odlagalištima otpada (NN 4/2023) utvrđuju se kriteriji za prihvata otpada, no povrhu toga opisuju se mjere, uvjeti koji se odnose na planiranje, te gradnju, rad i zatvaranja odlagališta. Odlagališta otpada klasificirana su u tri kategorije i dijele se na temelju vrste otpada kojeg prihvaćaju pa shodno tome razlikujemo: odlagalište za opasan otpad, neopasan otpad i inertni otpad. Naravno da postoje i podkategorije koje se prije svega odnose na količinu organskog materijala kojeg sadrže [3].

Osnovna karakterizacija otpada izrađuje se na temelju priloga odluke vijeća o utvrđivanju kriterija za prihvata otpada na odlagalište (2003/33/EZ), u kojoj se kao glavna potreba ističe važnost određivanja graničnih vrijednosti kako bi se otpad mogao prihvatiti na odlagališta različitih kategorija. Također se navodi kako je „osnovna karakterizacija prvi korak u postupku prihvata otpada i sastoji se od potpune karakterizacije otpada prikupljanjem svih potrebnih informacija za njegovo dugoročno odlaganje“ [4].

Postupak prihvata otpada na odlagalište započinje s prikupljanjem svih osnovnih podataka o otpadu kao što su „vrsta, porijeklo, sastav, homogenost, stvaranje procjednih voda“. Nadalje radi se i „procjena otpada s obzirom na granične vrijednosti“ koje su kao takve definirane pravilnikom. Na taj način dolazi se do informacije da li određeni otpad ispunjava sve potrebne uvjete i kriterije za odlaganje na odlagalište otpada određene kategorije ili ipak ne. Ukoliko se ne zadovolje svi uvjeti takav otpad ne može biti odlagan na odlagalište otpada koje nema uvjete za prihvata određene vrste otpada [4].

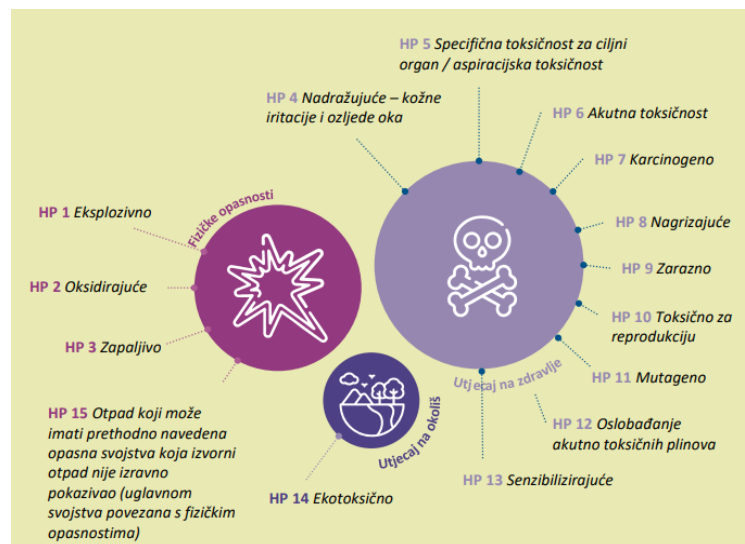
### 2.1.1 Klasifikacija odlagališta

Prema pravilniku o odlagalištima otpada svako se odlagalište klasificira u jedno od tri kategorije: odlagalište za opasan, neopasan i inertni otpad [3].

Odlagalište opasnog otpada namijenjeno je za odlaganje otpada koji posjeduje barem jedno svojstvo prikazano na slici 1 koje otpad čine opasnim [5]. Na odlagalištu za odlaganje opasnog otpada, moguće je odlagati otpad koji ispunjava sve kriterije za prihvatanje te vrste otpada koji su definirani u pravilniku o odlagalištima otpada na temelju propisanih graničnih vrijednosti parametara eluata [3].

Odlagalište neopasnog otpada namijenjeno je otpadu koji nije opasan ni inertni. Svaki otpad koji nema svojstva sa slike 1 smatra se neopasnim otpadom [6].

Sukladno zakonu o gospodarenju otpadom, inertni otpad smatra se „otpadom koji ne podliježe značajnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama, nije topiv, nije zapaljiv, na bilo koje druge načine fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv“ [1]. Na odlagalište inertnog otpada smije se odložiti samo inertni otpad [3].

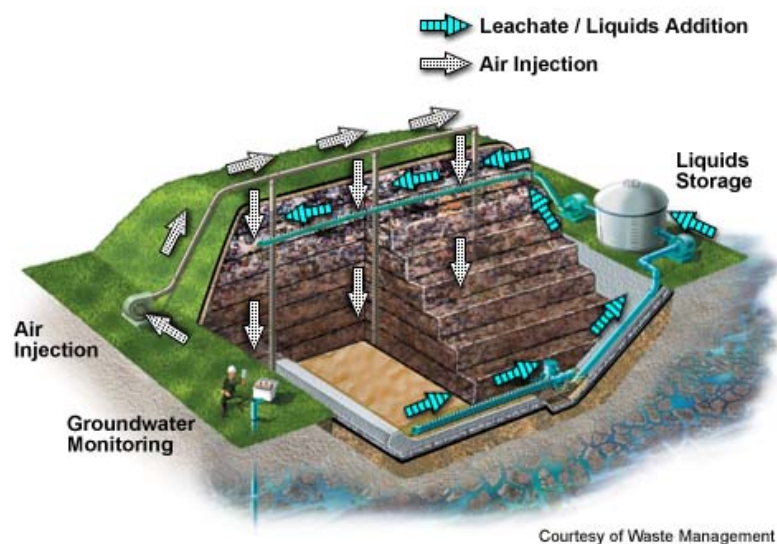


Slika 1 Svojstva koja otpad čine opasnim [7]

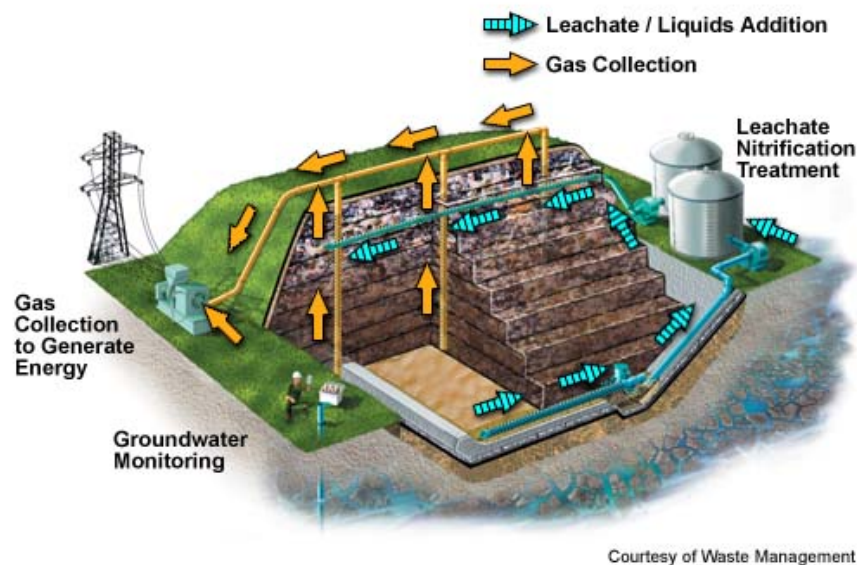
Bioreaktorsko odlagalište je potkategorija neopasnog odlagališta koje se nalazi u sklopu centra za gospodarenje otpadom [4]. Primarni cilj svakog bioreaktorskog odlagališta je pospješivanje procesa biorazgradnje odloženog otpada. Navedeno se

postiže dodavanjem vode ili ponovnim vraćanjem dijela procjednih voda u tijelo odlagališta (recirkulacija). Sukladno tome, povećava se postotak vlažnosti koji ubrzava proces razgradnje [3] [8]. Bioreaktorsko odlagalište radi na principu održavanja optimalnog sadržaja vlage u iznosu od 35% do 65%., koje uz pomoć aerobnih i anaerobnih mikroorganizama utječe na proces ubrzane razgradnje otpada [9]. Postoje više vrsta bioraktorskih odlagališta među kojima se razlikuju: aerobna, anaerobna i hibridna bioreaktorska odlagališta u kojima se kombiniraju aerobni i anaerobni uvjeti. U aerobnim uvjetima dolazi do brže razgradnje organskih tvari te se najčešće nalazi u gornjim dijelovima odlagališta, dok u anaerobnom dijelu bez prisustva kisika i pod utjecajem anaerobnih metanogenih bakterija nastaje plin metan [8]. U odnosu na tradicionalna odlagališta proizvode se znatno veće količine plinova. Navedeni plinovi se energetski oporabljaju i iskorištavaju za proizvodnju električne energije [9].

Slika 2 prikazuje presjek aerobnog bioreaktorskog odlagališta u kojem se procjedne vode sakupljaju u donjem dijelu odlagališta nakon čega se eluat sprema u spremnik te ponovno koristi za vlaženje tijela odlagališta. Na slici 3 prikazan je presjek anaerobnog bioreaktorskog odlagališta u kojem se na isti način sakupljaju procjedne vode nakon čega se odvođe u postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Pročišćena otpadna voda služi za održavanje optimalne vlažnosti odlagališta. Raspadanjem otpada nastaju plinovi, poglavito metan, koji se „diže“ kroz tijelo odlagališta. Sakuplja se u gornjim dijelovima, te služi za proizvodnju električne energije.



Slika 2 Primjer aerobnog bioreaktorskog odlagališta [9]



Slika 3 Primjer anaerobnog bioreaktorskog odlagališta [9]

Prema pravilniku o odlagalištima otpada za bioreaktorska odlagališta propisani su dodatni parametri za koje je potrebno provesti laboratorijske analize kao što su: indeks dinamičnog disanja (RDRI), respiracijska aktivnost ( $AT_4$ ) - biostabilizacija i parametar stabilnosti ( $GS_{21}/GB_{21}$ ) - anaerobna digestija. RDRI parametar se kao kriterij za odlaganje otpada koristi u centrima u kojima se primjenjuje proces biosušenja. Zaključno s navedenim i ovisno o rezultatima testa procjeđivanja pravilnikom je definirano kojem odlagalištu je ispitivani otpad namijenjen. [3]

### 2.1.2 Temeljni zahtjevi osnovne karakterizacije otpada

Sukladno odluci o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvata otpada na odlagališta, definirani su zahtjevi s kojima se opisuje što je potrebno definirati kada se određuje osnovna karakterizacija otpada zajedno sa osnovnim kriteriji za prihvata otpada na odlagalište. Neki od njih navedeni su u nastavku:

- (a) Izvor i podrijetlo otpada,
- (b) Podaci o postupku u kojem se otpad proizvodi (opis i svojstva sirovina i proizvoda),
- (c) Podaci o sastavu otpada i ponašanju pri eluiranju (ukoliko ima potrebe),
- (d) Vanjska obilježja otpada (miris, boja, fizički oblik),
- (e) Kategorija odlagališta na koje se otpad može primiti
- (f) Provjera može li se otpad reciklirati ili oporabiti [4].

Da bi se dobile točne i valjane informacije ali i podaci o otpadu za definiranje temeljnih zahtjeva, podrazumijeva se da je potrebno provoditi ispitivanja. U odluci je stoga navedeno kako se otpad razlikuje po tome da li nastaje redovito i u istom procesu ili je produkt povremenih radnji u kojima otpad ne nastaje redovito, ne nastaje istim procesnim radnjama kao ni u istim postrojenjima, te je u takvom slučaju potrebno odrediti karakterizaciju za svaku šaržu zasebno i to prema specifičnim temeljnim zahtjevima. Postoje i slučajevi kada nije potrebno provoditi karakterizaciju i to ako su već prije ispitivanja poznati svi podaci koji su potrebni za karakterizaciju otpada i kada se otpad nalazi na popisu otpada za koji nije potrebno provoditi postupak [4].

Nadalje, postoje kriteriji odlagališta za prihvrat otpada na temelju njihovih svojstava koji su specificirani podjelom na inertni, neopasan, te opasan otpad. Kako se diplomski rad temelji na miješanom komunalnom otpadu definirati će se kriteriji za odlagališta neopasnog otpada. Komunalni otpad koji nastaje u kućanstvu smatra se neopasnim otpadom, te se kao takav može prihvatiti na odlagalište neopasnog otpada bez prethodnog ispitivanja. Ne smije se prihvatiti na odlagalište neopasnog otpada samo u iznimnim slučajevima kada nije prethodno obrađen ili kada je onečišćen do te mjere da ga je potrebno odložiti negdje drugdje [4].

U nastavku su definirane granične vrijednosti parametara eluata koje trebaju biti zadovoljene prilikom ispitivanja reprezentativnog uzorka neopasnog otpada s niskim sadržajem biorazgradive tvari, a koje su kao takve definirane pravilnikom o odlagalištima [3]. U tablici 1 vidljive su vrijednosti pojedinih elemenata na koje će se referirati rezultati testa procjeđivanja dobivenih u eksperimentalnom dijelu rada.



Tablica 1 granične vrijednosti parametara eluata za odlagalište neopasnog otpada [3].

Parametar	Izražen kao	Jedinica	Granična vrijednost parametra eluata ***T/K=10/1 kg
Arsen	As	mg/kg suhe tvari	2
Barij	Ba	mg/kg suhe tvari	500
Kadmij	Cd	mg/kg suhe tvari	1
Ukupni Krom	Cr	mg/kg suhe tvari	10
Bakar	Cu	mg/kg suhe tvari	50
Živa	Hg	mg/kg suhe tvari	0,2
Molibden	Mo	mg/kg suhe tvari	50
Nikal	Ni	mg/kg suhe tvari	10
Olovo	Pb	mg/kg suhe tvari	10
Antimon	Sb	mg/kg suhe tvari	0,7
Selen	Se	mg/kg suhe tvari	2,5
Cink	Zn	mg/kg suhe tvari	50
Kloridi	Cl	mg/kg suhe tvari	75.000
Fluoridi	F	mg/kg suhe tvari	150
Sulfati	SO4	mg/kg suhe tvari	100.000
Otopljeni organski ugljik - DOC*	C	mg/kg suhe tvari	800
Ukupne rastopljene tvari**		mg/kg suhe tvari	60.000

\* “Ako izmjerena vrijednost parametara eluata prelazi graničnu vrijednost iz tablice kod vlastite pH vrijednosti eluata, analiza se može provesti kod pH vrijednosti između 7,5 i 8,0 pri čemu treba upotrijebiti normu HRN EN 14429 Karakterizacija otpada - ispitivanje ponašanja pri izluživanju - utjecaj pH vrijednosti na izluživanje uz početni dodatak kiseline/lužine ili drugu jednakovrijednu metodu.“

\*\* „prisutnost ukupnih rastopljenih tvari u eluatu može se koristiti umjesto prisutnosti sulfata i klorida u eluatu.“

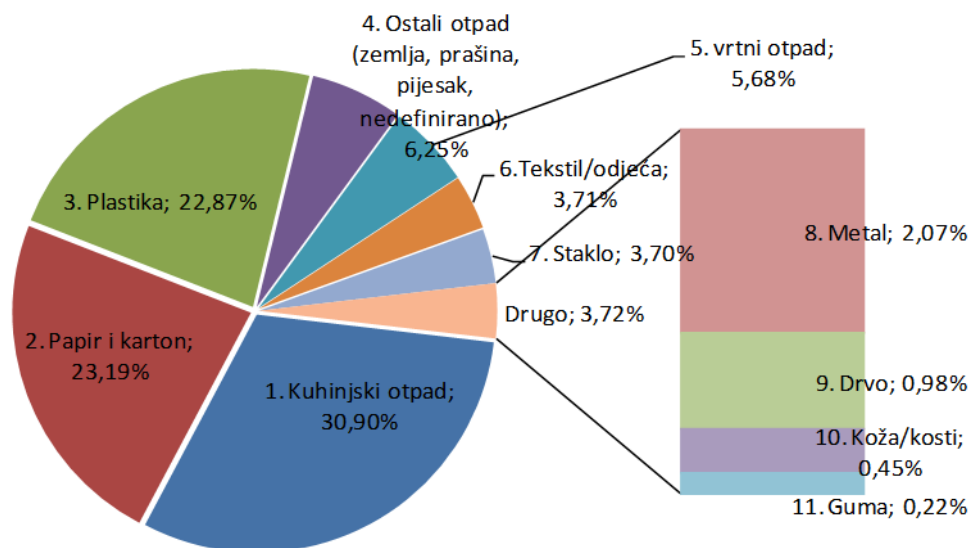
\*\*\* „T/K = tekuće/kruto“ [3].

Prema odluci 2003/33/EZ, ispitani otpad mora zadovoljavati granične vrijednosti navedenih elemenata, a ukoliko nisu zadovoljene granične vrijednosti za „DOC“ pri vlastitoj pH vrijednosti, tada se on može ispitati pri pH vrijednosti u rasponu od 7,5 do 8,0. Smatrati će se da ispitani reprezentativni uzorak otpada udovoljava zadanim

kriterijima ukoliko vrijednost DOC-a neće prelaziti vrijednost od 800 mg/kg koliko mora iznositi za neopasan otpad [4].

## 2.2 Miješani komunalni otpada (MKO)

Iz razloga što se u diplomskom radu koristio miješani komunalni otpad, u nastavku je ukratko objašnjen sastav te vrste otpada koja je iznimno heterogenih svojstava. U planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine procijenjen je sastav miješanog komunalnog otpada vidljiv na grafikonu 1.



Grafikon 1. Procijenjeni sastav miješanog komunalnog otpada u RH za 2015.g. [10].

Sastav miješanog komunalnog otpada vrlo je nezahvalno određivati upravo zbog njegove izrazite heterogenosti. Odlukom je stoga definiran prosječan i procijenjen sastav otpada na temelju određenih pokazatelja i analiza. Na grafikonu 1 vidljivo je kako se najveći postotak odloženog otpada odnosi na kuhinjski otpad, potom na sekundarnu frakciju kartona i papira, dok kao tercijarna frakcija u procijenjenom sastavu miješanog komunalnog otpada prevladava plastika i odbačeni plastični dijelovi. U planu je naglašeno kako se miješani komunalni otpad sastoji i od frakcija koje zauzimaju manji postotak kao što su metali, staklo, tkanina, drvo i ostali nedefinirani otpad poput zemlje, prašine i pijeska [10].

## **2.3 Uzorkovanje otpada**

Točnost analitičkih analiza u laboratoriju uvelike ovisi o pravilno uzorkovanom reprezentativnom uzorku neke mase otpada. Zbog velike heterogenosti mase izazov je odrediti reprezentativni uzorak koji će predstavljati sve karakteristike i svojstva hrpe iz koje je uzet. Kvaliteta uzetog uzorka svakako ovisi o više faktora dok se kao najvažniji spominju lokalni uvjeti, navike potrošača, postojanje sustava odvojenog prikupljanja otpada, itd. Osim navedenog, sama kvaliteta uzorka znatno ovisi i o tome koja metoda uzorkovanja je korištena [11].

Pravilno uzorkovanje otpada zahtijeva izradu plana koji u svom sadržaju definira uvjete i način uzimanja uzorka čime se smanjuju eventualne ljudske greške. Prvi korak je izrada plana prema kojem će se u sljedećim koracima izvršiti uzorkovanje otpada, pohrana i prijevoz uzoraka do akreditiranog laboratorija gdje se obavlja analiza i vrši ispitivanje uzetih uzoraka. Odabir metode uzorkovanja ovisi o vrsti otpada, te se obavlja isključivo prema normama koje nam daju smjernice o potrebnim postupanjima [12]. Koriste se hrvatski standardi u obliku normi HRI CEN/TR 15310-1:2008 Karakterizacija otpada - Uzorkovanje otpadnih materijala - 1. dio: Upute za odabir i primjenu kriterija za uzorkovanje u različitim uvjetima[13].

Da bi uzorak uzet iz mase otpada bio reprezentativan, masu je potrebno izmiješati i prevrtanjem homogenizirati. Na taj način svaka frakcija koja je prisutna u otpadnoj hrpi ima podjednake mogućnosti sastavljati reprezentativni uzorak. Četvrtanje je postupak pravilne raspodjele otpadne hrpe na četiri jednaka dijela gdje se odbacuju dva dijagonalno suprotna dijela, a sa ponovnim miješanjem preostalog otpada nastavlja se sa postupkom do željene količine uzorka. Na navedeni način postiže se optimalna raspodjela prisutnih materijala i frakcija unutar samog uzorka zbog čega bi isti trebao predstavljati cjelinu iz koje je uzet [14].

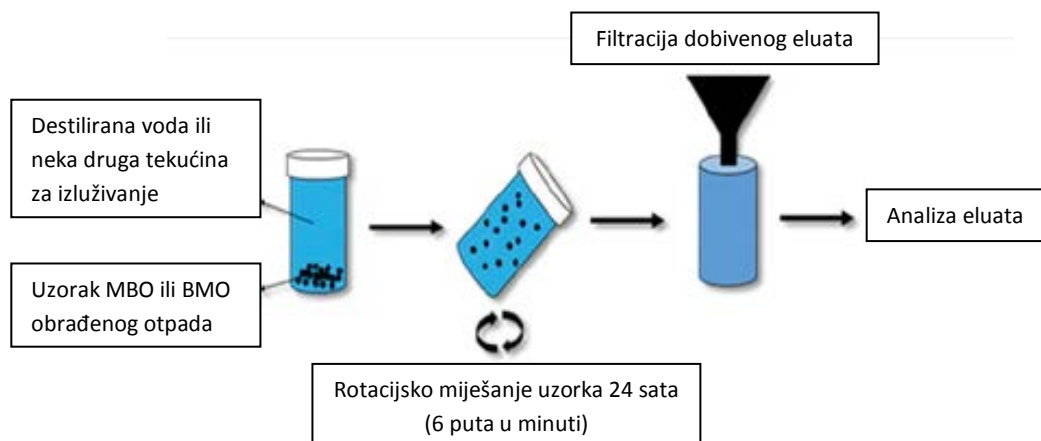
## **2.4 Test izlučivanja (eng. Leaching test)**

Testom izlučivanja dobiva se eluat koji oponaša ponašanje procjednih voda u tijelu odlagališta gdje se pod utjecajem univerzalnog otapala, tj. vode, oslobađaju brojne

organske i anorganske topljive tvari koje mogu imati štetne učinke na okoliš i njegove sastavnice [15]. Eluat nastaje prolaskom vode kroz odloženi otpad. Sastoji se od otopljenih organskih i suspendiranih tvari, te se smatra onečišćenom vodom. Eluat može nastati u prirodnim uvjetima na odlagalištu otpada, te kao rezultat laboratorijskih simulacija, tj. testova izluživanja ili procjeđivanja [16].

Shodno tome, da bi se procijenilo ponašanje procjednih voda u prirodi, tj. u tijelu odlagališta, a ujedno i njihov potencijalni utjecaj na okoliš, razvijene su brojne metode koje su normirane. U Hrvatskoj postoji nekoliko normi među kojima su: HRN EN 12457-1:2005 i HRN EN 12457-2:2005 [17]. Test izluživanja provodi se u različitim omjerima tekućeg i krutog (T/K) uz 24-satno konstantno miješanje uzorka. Kao najčešći omjer uzima se odnos krutog i tekućeg 1:10 prema normi HRN EN 12457-2:2005. Primjerice, u 100 g krutog otpada dodaje se 1 L (1000 ml) vode [18].

Testovi se provode i u svrhu karakterizacije otpada i to na temelju rezultata provedenih analiza za pojedine parametre eluata, te se uzima u obzir kao osnovni kriterij u klasifikaciji. Koristi se kada se što zornije nastoji odrediti sastav otpada ali i procjednih voda [19]. Testovi ovise o brojnim fizikalnim parametrima kao što su: „homogenost, veličina čestica, poroznost, propusnost krute faze koja utječe na brzinu protoka i vrijeme kontakta između otopine i krutine, te temperatura.“ [20]. Postupak testa izluživanja objašnjen je na slici 4 [21].



Slika 4 Slikovni opis testa izluživanja (eng. Leaching test) [21]

## 2.5 Centri za gospodarenje otpadom

Centri za gospodarenje otpadom su postrojenja koja primarno služe za obradu miješanog komunalnog otpada i koja kao takva sadrže tehnologije za prihvatanje, mehaničku i biološku obradu otpada, te u konačnici rješenja za odlaganje inertnog otpada koji se dobije kao krajnji rezultat nakon obrade i koji se odlaže na odlagalište komunalnog neopasnog otpada. Svaki centar za gospodarenje otpadom sastoji se od nekoliko infrastrukturnih elemenata u koje se ubrajaju prihvatne stranice, biološka i mehanička obrada otpada kao i postrojenja za pročišćavanje prihvatnih plinova i otpadnih procijedih voda. Centri se sastoje i od pretovarnih stanica koje su smještene na različitim lokacijama u okolnim gradovima, a koje ponajprije imaju ekonomsku svrhu. Zaključno, uloga pretovarnih stanica je sakupljanje otpada na uspostavljenim lokacijama s ciljem lakšeg i bržeg transporta do CGO-a [22].

Planom gospodarenja planirano je sveukupno jedanaest centara za gospodarenje otpadom no trenutno je aktivno samo dvoje, dok su dvoje u probnom radu. Svaki od njih gravitira potrebama različitih regija pa iz toga proizlazi da je jedan CGO predviđen za zbrinjavanje otpada više županija u nekoj regiji [23].

Vlada Republike Hrvatske 2023.g. donosi odluku o donošenju plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine u kojem se navode i opisuju statusi realizacije pojedinih centara za gospodarenje otpadom. U tablici 2 vidljivo je da su dva u funkciji, dva su u probnom radu, troje je u izgradnji s definiranim probnim radom, jedan je u tijeku postupka javne nabave, dok za trojicu ističu kako su u fazi pripreme dokumentacije za prijavu za EU sufinanciranje [10].

Tablica 2 Centri za gospodarenje otpadom prikazani prema statusu realizacije [10].

<b>Br.</b>	<b>Naziv</b>	<b>Status realizacije</b>
1.	CGO Marišćina	U funkciji
2.	CGO Kaštijun	U funkciji

---

3.	CGO Bikarac	U probnom radu
4.	CGO Biljane Donje	U probnom radu
5.	CGO Babina gora	CGO u izgradnji probni rad planiran u 2026.g.
6.	CGO Lečevica	CGO u izgradnji probni rad planiran u 2028.g.
7.	CGO Lučino razdolje	CGO u izgradnji probni rad planiran u 2026.g.
8.	CGO Piškornica	U tijeku javni postupak nabave za radove na izgradnji CGO-a.
9.	CGO Orlovnjak	Priprema dokumentacije za prijavu za EU sufinanciranje
10.	CGO Šagulje	Priprema dokumentacije za prijavu za EU sufinanciranje
11.	CGO Zagreb	Priprema dokumentacije za prijavu za EU sufinanciranje

---

## 2.6 MBO (mehaničko biološka obrada)

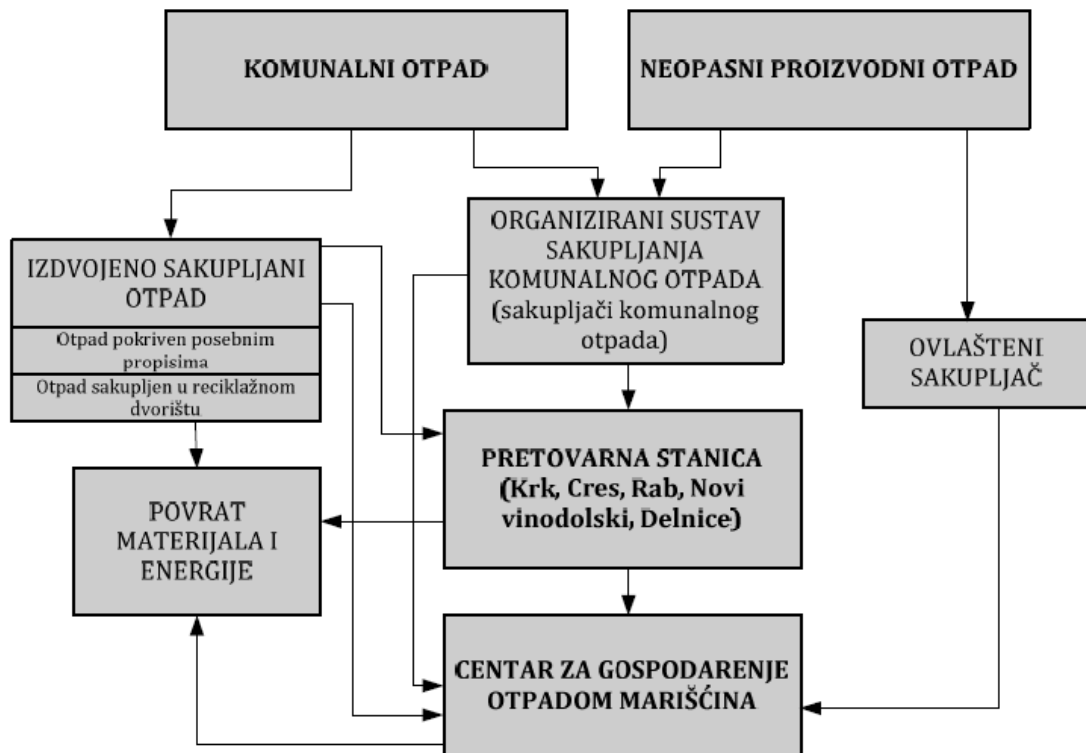
MBO (eng. MBT - *mechanical biological treatment*) je proces koji se provodi prije odlaganja otpada na odlagalište gdje se podvrgava prethodnoj obradi, u kojoj se primjenjuju različiti mehanički i biološki postupci i to s ciljem smanjivanja negativnog utjecaja na okoliš [24]. Mehanička obrada otpada sastoji se od postupaka kao što su: usitnjavanje, peletiranje, mljevenje, drobljenje, te izdvajanje korisnih metalnih frakcija na principu elektromagnetskih sila, dok se biološka obrada otpada sastoji od: kompostiranja, biosušenja, biostabilizacije i anaerobne digestije. U svakom MBO postrojenju na kraju ciklusa nastaju primarni i sekundarni produkti. Kao primarni produkti mehaničko biološke obrade otpada smatraju se: kompost, bio plin, kruto gorivo i biostabilizirani ostatak koji se mogu iskoristiti na brojne načine, dok se kao sekundarni produkti izdvajaju: otpadne vode, emisije u zrak, otpad razdijeljen na frakcije koji se može oporabiti i ostatak koji se trajno odlaže na odlagalište komunalnog otpada, te kao takav nije iskoristiv [23].

Glavne prednosti MBO obrade otpada su:

1. Količina odlagališnog filtrata u tijelu odlagalište se smanjuje,
2. Manja (je) produkcija odlagališnog plina,
3. Sporedni efekti na odlagalištu, kao što su razlijetanje papira i plastike, prisustvo ptica i glodavaca, razvoj neugodnih mirisa i prašine smanjuje se na minimum ili se u potpunosti izbjegava,
4. Iskorištavanje kapaciteta odlagališta otpada povećava se za cca. 40% [24].

## 2.7 CGO Marišćina

Centar za gospodarenje otpadom Marišćina je prvi izgrađeni centar te vrste koji je u funkciji od 2017. g. a svoju djelatnost obavlja na području Općine Viškovo u blizini grada Rijeke. U sklopu centra izgrađene su i pretovarne stanice na Krku, Cresu, Malom Lošinj, Delnicama, Novom Vinodolskom i Rabu. Kapacitet CGO-a je 350 t otpada po danu, te je procijenjeno da pokriva potrebe od oko 300 000 stanovnika na području Primorsko-goranske županije [25].



Slika 5 Plan gospodarenja otpadom za CGO Marišćina [26]

Prikuplja se miješani komunalni otpad i neopasan proizvodni otpad, te se isti dostavlja u pretovarne stanice ili se direktno odvozi prema CGO Marišćina ukoliko je mjesto prikuplja otpada na manjoj udaljenosti. Neopasan proizvodni otpad prikuplja se odvojeno od strane ovlaštenih sakupljača, te se prevozi direktno u CGO Marišćina, naravno uz prethodnu obradu, ukoliko je ista potrebna. Nakon što se otpad s više različitih lokacija odloži u pretovarnoj stanici (jednoj od pet), isti se usmjerava prema centru za gospodarenje otpadom Marišćina gdje se potom obrađuje, a ujedno je moguć i povrat materijala, te energije kao što je prikazano na slici 5 [26].

CGO Marišćina se prema tehničko-tehnološkim procesima dijeli na: ulazno-izlaznu zonu, zonu za odlaganje otpada i radnu zonu. Prostor za odlaganje sastoji se od ukupno tri odlagališne plohe koje su označene oznakama 1A, 1B i 1C. Plohe 1A i 1B su uređene sa svim pratećim sustavima. U prihvatnu jamu MBO postrojenja Marišćina moguće je uskladištiti 945 tona otpada. Navedena količina jednaka je trodnevnoj ulaznoj količini miješanog komunalnog otpada. Sukladno tome, na godišnjoj razini od ukupno 312 radnih dana, zaprimi se oko 100.000 tona otpada [27] [28].

#### **2.7.1 Tehničko-tehnološki procesi CGO Marišćina**

U tablici 3 prikazani su i objašnjeni postupci oporabe otpada (R) i postupci zbrinjavanja otpada (D) koji se primjenjuju u CGO Marišćina [29].

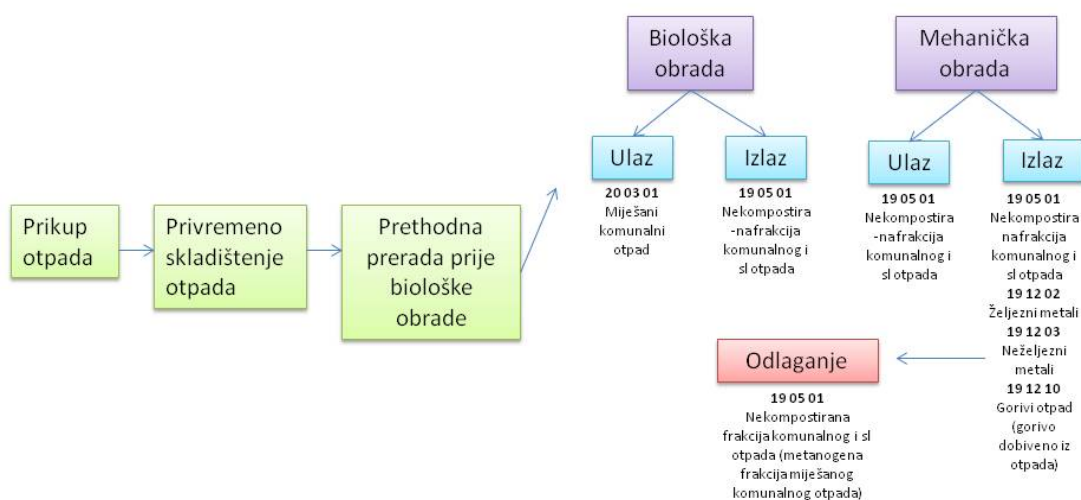
U stupcu „naziv tehnološkog procesa“ opisani su postupci (D, R, S, PP) kojima je otpad podvrgnut, dok stupac „oznaka procesa“ predstavlja prostorni razmještaj tehnoloških procesa u centru za gospodarenje otpadom Marišćina vidljivom na slici 7. Povrh toga, definirani su i kapaciteti CGO-a [28].



Tablica 3 Procesi i kapaciteti procesa po postupcima [28]

Br.	POSTUPAK	OZNAKA PROCESA	NAZIV TEHNOLOŠKOG PROCESA	KAPACITET PROCESA
1.	S	A1	Prihvat otpada	$\infty$
2.	D15	A2	Privremeno skladištenje otpada	8.477 m <sup>3</sup>
3.	D13	A3	Prethodna prerada prije biološke obrade	100.000 t/god
4.	D8	A4	Biološka obrada	100.000 t/god
5.	PP	A5	Priprema prije uporabe ili zbrinjavanja	72.440 t/god
6.	D1	B1	Odlaganje	605.902 m <sup>3</sup>
7.	R5	C1	Recikliranje/obnavljanje drugih anorganskih materijala	10.000 t/god
8.	R13	C2	Privremeno skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupka uporabe navedenim pod R1 – R12	155 m <sup>3</sup>

Shematski prikaz toka otpada iz CGO Bikarac vidljiv je na slici 6, na kojoj su ujedno navedeni i ključni brojevi koji ulaze u proces, te oni koji izlaze iz procesa. U MBO postrojenje ulazi miješani komunalni otpad k.b. 20 03 01 zajedno sa još nekim vrstama otpada i iz iste grupe: 20 03 02 - otpad s tržnica, 20 03 03 - ostaci od čišćenja ulica, 20 03 99 - komunalni otpad koji nije specificiran na drugi način. Nakon MBO obrade otpada nastaje: GIO (gorivo iz otpada) k.b. 19 12 10, željezni metali k.b. 19 12 03, neželjezni metali k.b. 19 12 03, te otpad namijenjen odlaganju na odlagalište k.b. 19 05 01 [28].



Slika 6 Shematski prikaz tehnoloških procesa i ključnih brojeva [28]

### 2.7.1.1 Biološka obrada CGO Marišćina

Budući da se otpad u CGO Marišćina ponajprije podvrgava biološkoj obradi otpada a tek nakon toga mehaničkoj, centar radi na principu BMO tehnologije (biološko mehanička obrada otpada), što u ovom slučaju podrazumijeva da proces obrade otpada započinje postupkom biosušenja. Ciljevi procesa biosušenja su stabilizacija i higijenzacija otpada, uklanjanje vlažnosti otpada čime se masa smanjuje za najmanje 25-30%, te povećanje kalorične vrijednosti otpada. Postrojenje za biološku obradu otpada nalazi se u istoj hali gdje se odvija i prihvata otpada te se sastoji od 12 bioreaktora čije komore se pune i prazne automatiziranim sustavima. Primjenjuju se temperature od 40-70°C a vrijeme zadržavanja otpada u komorama iznosi 7-15 dana, dok se u CGO Marišćina otpad zadržava desetak dana. [30].

Pod je perforiran i zaštićen, te je podijeljen na nekoliko simetričnih cjelina, njih čak 24, podjednake dimenzije koje iznose 3,75m x 24m. Ispod perforiranog poda, svaka sekcija ima zaseban ventilator koji ima ulogu upuhivanja ili odsisavanja zraka, a ujedno omogućuje ujednačen protok zraka čime se postupak sušenja ubrzava i provodi s većom učinkovitošću. Izmjenjivači toplote se koriste kako bi se toplina nastala u procesu biosušenja, ohladila u rashladnom tornju te predala u atmosferu [26] [28].

### **2.7.1.2 Mehanička obrada CGO Mariščina**

U postrojenje za mehaničku obradu otpada dovozi se biostabilizirani otpad koji je ujedno i higijenizirani, te čija je vlažnost značajno smanjena. U postrojenju se koriste uređaji i strojevi koji otpad odvajaju na različite frakcije. Nakon provedenog postupka biosušenja odvajanje otpada prema frakcijama je znatno olakšano iz razloga što je pristigli otpad suh. Iz biološki obrađenog otpada odvajaju se: GIO (gorivo iz otpada), metali, plastika, metanogena frakcija koja se odlaže na odlagalište i koja je pogodna a proizvodnju bioplina (metana) [28].

Mehanička obrada otpada sastoji se od: primarnog usitnjivača, sita, zračnog separatora, finalnog usitnjivača i magnetskog separatora. Uloga primarnog usitnjivača je da se otpad pripremi za ostale faze obrade na način da ga usitni na manje dimenzije. Bioosušena frakcija dimenzija od 20 do 50 mm se odvaja na situ, kao i frakcije većih dimenzija od 20-300 mm koje se transportnim trakama odvoze na daljnju obradu. Sitnija frakcija se transportnom trakom odvozi do kontejnera a nakon toga odlaže na odlagalište. Zračni separator ima zadatak odvojiti laku i tešku frakciju jednu od druge uz pomoć zračnog strujanja koje odvaja frakcije ovisno o specifičnoj težini [28].

Navedeni korak je izuzetno bitan jer direktno utječe na ispravan rad finalnog usitnjivača kojem ovaj postupak prethodi. Različitim postupcima zračnog separatora moguće je utjecati na sadržaj i kvalitetu lake frakcije a shodno tome i na kvalitetu GIO-a. Finalni usitnjivač je postupak kojim se laka frakcija dodatno usitnjava do određenih veličina između 20 mm i 100 mm, te se odvozi izvan CGO-a na iskorištavanje baš kao i kod magnetskog separatora gdje se odvajaju magnetski materijali kao što je željezo i sl., koji se odvojeno sakupljaju, te također izvoze kao vrijedna sirovina. Navedeni korisni materijali i sirovine podliježu materijalnoj i energetskej uporabi, te se ne odlažu na odlagalište [26].

### **2.7.1.3 Odlaganje otpada na bioreaktorsko odlagalište**

Otpad je nakon sušenja i mehaničke obrade (prosijavanje, odvajanje korisnih frakcija, itd.) spreman za odlaganje na odlagalište. Odlaze se metanogena frakcija miješanog komunalnog otpada koja je naziv dobila po tome što ima visoki potencijal za

proizvodnju metana, plina iz kojeg se naknadno može proizvoditi električna energija. Odložena metanogena frakcija predstavlja 35% ukupne količine otpada koji se prihvaća u CGO Marišćina, a vodi se pod ključnim brojem k.b. 19 05 01- nekompostirana frakcija komunalnog i sličnog otpada [28] [6].

Otpad se odlaže na bioreaktorsko odlagalište u kojem se odvija ubrzana anaerobna razgradnja metanogene frakcije otpada koja ne sadrži lako razgradivu komponentu ali je poprilično suha i djelomično stabilna što utječe na minimalnu proizvodnju plinova i procjednih voda za vrijeme odlaganja otpada na plohu. Ujedno se zbog toga minimizira mogućnost stvaranja neugodnih mirisa i prisutnost glodavaca, te drugih neželjenih životinja na odlagalištu. Bioreaktorsko odlagalište sastoji se od nekoliko ploha a pretpostavka je da se jedna ploha popunjava ukupno pet godina. Nakon zatvaranja pojedine plohe, kreće vlaženje otpada u tijelu odlagališta i to s ciljem stvaranja optimalnih uvjeta za početak produkcije znatnih količina metana što i jest svrha bioreaktorskog odlagališta. Postupkom vlaženja nastoji se postići optimalna vlažnost za što bolju i bržu razgradnju odloženog materijala ali i produkciju plinova koji se mogu energetske oporabiti [26].

#### **2.7.1.4 Vodonepropustnost bioreaktorskog odlagališta**

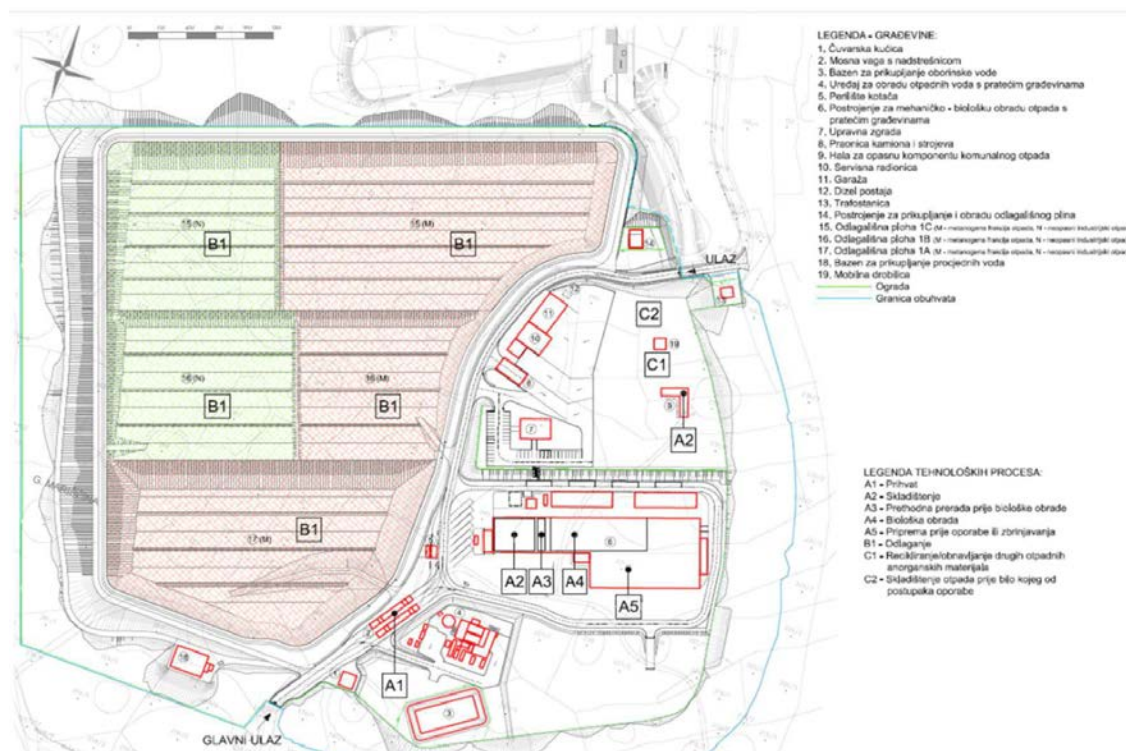
Temeljni brtveni sloj ima ulogu sprječavanja prodiranja vode u podzemlje, te se sastoji od: izravnavajućeg sloja od 50 cm, geosintetičkog glinenog sloja, HDPE geomembrane od 2,5 mm, zaštitnog geotekstila 1.200 g/cm<sup>2</sup>, drenažnog sloja od 50 cm i geomreže. U drenažnom sloju postavljene su perforirane polietilenske cijevi koje predstavljaju sustav odvodnje procjednih voda koje se odvođe iz tijela odlagališta do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Nakon popunjavanja plohe ona se prekriva pokrovnim brtvenim slojevima, te se sastoji od: plinodrenažnog sloja od 30 cm, geosintetičkog glinenog sloja, geodrena, pokrovnog zemljanog sloja od 100 cm i trave [26].

#### **2.7.1.5 Nacrt tehničko-tehničkih procesa CGO Marišćina**

Slika 7 prikazuje nacrt prostornog razmještaja tehnoloških procesa CGO Marišćina zajedno sa pratećim građevinama. Ukupno na lokaciji postoji 19 izgrađenih

građevina. Svaka od njih označena je na skici, te joj je pridodan odgovarajući redni broj: 1) Čuvarska kućica, 2) Mosna vaga s nadstrešnicom, 3) Bazen za prikupljanje oborinske vode, 4) Uređaj za obradu otpadnih voda s pratećim građevinama, 5) Perilište kotača, 6) Postrojenje za mehaničko - biološku obradu otpada s pratećim građevinama, 7) Upravna zgrada, 8) Praonica kamiona i strojeva, 9) Hala za opasnu komponentu komunalnog otpada, 10) Servisna radionica, 11) Garaža, 12) Dizel postaja, 13) Trafostanica, 14) Postrojenje za prikupljanje i obradu odlagališnog plina, 15) Odlagališna ploha 1C, 16) Odlagališna ploha 1B, 17) Odlagališna ploha 1A, 18) Bazen za prikupljanje procjednih voda, 19) Mobilna drobilica [27].

Od sveukupno osam navedenih tehnoloških procesa u CGO Marišćina, razlikuju se sljedeći: A1) Prihvat, A2) Skladištenje, A3) Prethodna obrada prije biološke obrade, A4) Biološka obrada, A5) Priprema prije uporabe ili zbrinjavanja, B1) Odlaganje, C1) Recikliranje/obnavljanje drugih otpadnih anorganskih materijala, C2) Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe [27].



Slika 7 Popis građevina i tehnoloških procesa unutar CGO-a Marišćina [27]

## 2.8 CGO Bikarac

Centar za gospodarenje otpadom Bikarac nalazi se na području Šibensko-kninske županije nekoliko kilometara od grada Šibenika, smještenog pored bivšeg odlagališta otpada gdje se otpad ranije odlagao. Postoje dvije pretovarne stanice: Biskupija i Pirovac u kojima se otpad skladišti prije finalnog transportiranja u CGO Bikarac. Cilj CGO-a je proizvoditi biostabilizirani materijal pogodniji za odlaganje s manjim negativnim efektima i učincima na okoliš i njegove sastavnice, ali shodno tome i proizvodnja komposta iz odvojeno prikupljenog biorazgradivog otpada. Otpad će se prikupljati i dovoziti iz ukupno 5 gradova (Šibenik, Knin, Vodice, Drniš, Skradin), te 15 općina na području Šibensko-kninske županije [31].

Centrom se nastoji uspostaviti cjeloviti sustav gospodarenja otpadom tzv. IVO koncept (Izbjegavanje - Vrednovanje - Odlaganje). CGO Bikarac radi na principu MBO tehnologije a s probnim radom je započeo krajem 2021.g. U sklopu projekta sanirano je staro odlagalište otpada na koje se otpad odlagao prije izgradnje centra. CGO Bikarac pokriva potrebe cca. 110 000 stanovnika, s kapacitetom ukupne obrade otpada od oko 40 000 tona godišnje. Cilj centra za gospodarenje otpadom CGO Bikarac je smanjiti količine otpada koji se u konačnici odlaže na odlagalište, te ujedno reducirati proizvodnju stakleničkih plinova. Naposljetku, kao krajnji cilj CGO-a Bikarac, ističe se iskorištavanje otpada u energetske svrhe čime se postiže energetska oporaba istog [32].

CGO Bikarac se prema tehničko-tehnološkim procesima dijeli na: prihvatnu zonu, mehaničku predobradu, biološku obradu (aerobna stabilizacija) organskog otpada i biološka obrada (kompostiranje) biorazgradivog otpada [33].

Tok miješanog komunalnog otpada započinje prihvatom u CGO Bikarac gdje se potom istovaruje na betonskoj prihvatnoj plohi. U MBO postrojenje dovoziti će se oko 40 000 t miješanog komunalnog otpada godišnje. Glomaznog otpada će biti oko 2 500 t/god, a izdvojeno sakupljenog reciklabilnog otpada oko 10 000 t/god. Od ukupne količine miješanog komunalnog otpada koji ulazi u MBO postrojenje, oko 17 000 t/god otpada će dolaziti na biološku obradu, a odvojeno prikupljenog biootpada će biti oko 600 t/god. [33].

### 2.8.1 Tehničko-tehnološki procesi CGO Bikarac

U tablici 4 prikazani su i objašnjeni postupci oporabe otpada (R) i postupci zbrinjavanja otpada (D) koji se primjenjuju u CGO Bikarac [29].

U stupcu „naziv tehnološkog procesa“ opisani su postupci (D i R) kojima je otpad podvrgnut, dok stupac „oznaka procesa“ predstavlja prostorni razmještaj tehnoloških procesa u centru za gospodarenje otpadom Bikarac vidljivom na slici 9. Povrh toga, definirani su i kapaciteti CGO-a [34].

Tablica 4 Procesi i kapaciteti procesa po postupcima [34]

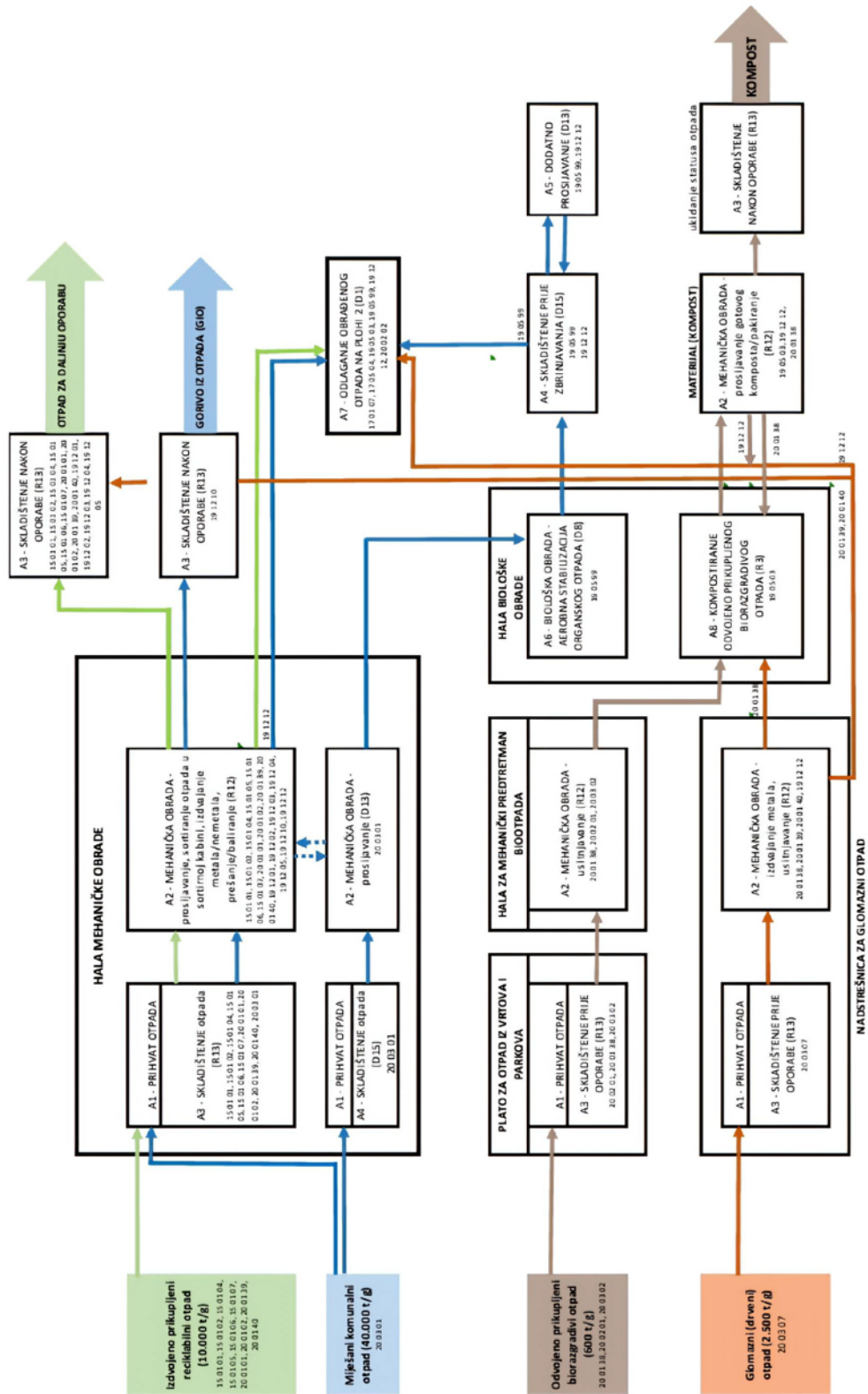
Br.	POSTUPAK	OZNAKA PROCESA	NAZIV TEHNOLOŠKOG PROCESA	KAPACITET PROCESA
1.	R12	A2	Razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupka oporabe navedenim pod R1 do R11 – mehanička obrada	53.000 t/god
2.	R13	A1	Prihvat otpada	53.000 t/god
		A3	Skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupka oporabe navedenim pod R1-R12	16.719 m <sup>3</sup>
3.	D15	A1	Prihvat otpada	40.00 t/god
		A4	Skladištenje otpada prije primjene bilo kojeg od postupka zbrinjavanja D1-D14	2.420 m <sup>3</sup>
4.	D13	A5	Spajanje ili miješanje otpada prije podvrgavanja bilo kojem postupku navedenim pod D1-D12 – mehanička obrada	40.000 t/god
5.	D8	A6	Biološka obrada otpada koja nije specificirana drugdje u ovim postupcima, a koja za	17.000 t/god

			posljedicu ima konačne sastojke i mješavine koje se zbrinjavaju bilo kojim postupkom D1-D12 – aerobna stabilizacija organskog otpada	
6.	D1	A7	Odlaganje obrađenog otpada (na odlagališu otpada potkategorije 2 – odlagalište a odlaganje otpada za stabiliziranu frakciju otpada nakon postupka mehaničko-biološke obrade)	37.000 m <sup>3</sup>
7.	R3	A8	Recikliranje/obnavljanje otpadnih organskih tvari koje se ne koriste kao otapala – kompostiranje odvojeno prikupljenog biorazgradivog otpada.	1.500 t/god

Shematski prikaz tehnoloških procesa CGO Bikarac vidljiv je na slici 8, na kojoj je ujedno prikazan tok otpada kroz postrojenje za MBO obradu otpada. Sukladno tome, navedeni su i ključni brojevi koji ulaze u proces, te oni koji izlaze iz procesa. U MBO postrojenje ulazi miješani komunalni otpad k.b. 20 03 01 zajedno sa još nekim reciklabilnim otpadom koji se izdvojeno prikuplja, slijedi biorazgradivi otpad k.b. 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02, te glomazni otpad 20 03 07 [34].

Nakon MBO obrade otpada nastaje: GIO (gorivo iz otpada) k.b. 19 12 10, otpad spreman za daljnju uporabu (k.b. 15 01 01, 15 01 02, 15 01 04, 15 01 05, 15 05 06, 15 01 07, 20 01 01, 20 01 02, 20 01 39, 20 01 40, 19 12 01, 19 12 02, 19 12 03, 19 12 04, 19 12 05,) kompost kojem se ukida status otpada i koji se može upotrijebiti u komercijalne svrhe, te otpad namijenjen odlaganju na odlagalište (k.b.17 01 07, 17 05 04, 20 02 02, 19 05 03, 19 05 99, 19 12 12) [34].





Slika 8 Shematski prikaz tehnoloških procesa CGO Bikarac [34]

### 2.8.1.1 Mehanička obrada CGO Bikarac

U mehaničkoj obradi miješanog komunalnog otpada i izdvojeno prikupljenog reciklabilnog otpada provodi se postupak oporabe R12 - Mijenjanje otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka oporabe R1 do R11. Navedenim tehnološkim procesom nastaju različite frakcije otpada. Na lokaciji primarno nastaje reciklabilni otpad i GIO gorivi otpad (gorivo dobiveno iz otpada), neiskoristivi dio otpada s ključnim brojem 19 12 12 - ostali otpad (uključujući mješavine materijala) od mehaničke obrade otpada, koji nije naveden pod 19 12 11\*. [29] [6].

Prvi korak u MBO centru za gospodarenje otpadom Bikarac je mehanička predobrada otpada koja se sastoji od dvije tehnološke linije. Prva od njih odnosi se na miješani komunalni otpad a druga na prethodno izdvojeni reciklabilni otpad [33].

Tehnološka linija za miješani komunalni otpad prihvaća miješani komunalni otpad, te je prvi korak u obradi otpada otvaranje vreća. Postupak je automatiziran a nastavlja se na rotacijsko sito koje ima ulogu u razdvajanju mokre i suhe frakcije. Mokra frakcija nastavlja s biološkom obradom dok suha frakcija podliježe daljnjoj mehaničkoj obradi. U MBO procesu uključen je i ljudski faktor i to na način da su izgrađene kabine za ručno sortiranje otpada. Cilj navedenih kabina je odvajanje korisnih sekundarnih sirovina ili materijala za proizvodnju GIO krutog goriva nakon čega se izdvojene sirovine baliraju i skladište [33].

Po završetku ručnog sortiranja otpad prolazi preko magnetskog separatora u kojem se odvaja metalna frakcija od nemetalne frakcije. U tehnološkoj liniji za obradu miješanog komunalnog otpada slijedi odvajanje manjih i većih frakcija na balističkom separatoru u kojem se otpad razdvaja na finu frakciju koja pada ispod sita i 3D frakciju koja se odvodi zajedno sa finom frakcijom na odlagalište. Upotrebljava se samo laka 2D frakcija iz koje se može proizvoditi GIO. Na optičkom separatoru koji se naziva NIR, vrši se razdvajanje visokokalorične od niskokalorične lake frakcije. Odvojena visokokalorična laka frakcija završava na stacionarnom usitnjivaču gdje se proizvodi GIO. Balistički separator i NIR separator imaju zaštitnu ulogu jer štite stacionarni usitnjivač od oštećenja koja mogu nastati uslijed obrade većih dijelova otpada [33].

Tehnološka linija za prethodno izdvojeni reciklabilni otpad uključuje poznate frakcije otpada kao što su: plastika, papir, karton, itd. Iako su u ovoj tehnološkoj liniji uključene poznate frakcije, proces prolaska izdvojenog reciklabilnog otpada kroz MBO postrojenje je gotovo isti kao i kod miješanog komunalnog otpada. Sukladno tome, otpad prolazi kroz rotacijsko sito kako bi se uklonile sve nečistoće i sitniji dijelovi otpada, u kabinama za ručno odvajanje otpada vrši se odvajanje sekundarnih sirovina po frakcijama. Također, otpad prolazi kroz magnetski separator nakon čega se sortirani reciklabilni otpad balira i odvozi u halu gdje se privremeno skladišti [33].

#### **2.8.1.2 Biološka obrada CGO Bikarac**

MBO postrojenje u centru za gospodarenje otpadom Bikarac provodi biološku obradu otpada u zasebnoj hali koja je podijeljena na dva dijela. Razlikuju se dva sektora za biološku obradu: MBO i PIBO [34].

MBO hala koristi se za obradu izdvojene organske frakcije iz miješanog komunalnog otpada, te se primjenjuje proces aerobne stabilizacija. Navedenim procesom dobiva se biostabilat, odnosno proizvod sličan kompostu (engl. *CLO - compost like output*), koji je namijenjen za odlaganje. [35] [33] Otpad se slaže u hrpe te se obrađuje u zatvorenom i ventiliranom dijelu postrojenja kako bi se na taj način smanjila mogućnost širenja neugodnih mirisa izvan samog centra za gospodarenje otpadom ali i kako otpad ne bi bio izložen vanjskim atmosferijama [34].

Cijeli proces aerobne stabilizacije može se opisati u dvije faze. U prvoj fazi se u periodu od 6 tjedana odložene hrpe otpada aeriraju, tj. zrače a potom i vlaže kako bi se potaknula ubrzana razgradnja organskih tvari. Tijekom prve faze smanjuje se volumen otpada za oko 30 %, te raste temperatura do 60°C čime se uništavaju patogeni organizmi i sjemeni materijal. Druga faza traje narednih 6 tjedana, te se naknadno gubi još 15% volumena. Temperatura opada, a finalni proizvod naziva se biostabilat (eng. *CLO - compost like output*) [34].

U sklopu biološke obrade otpada provodi se i proizvodnja komposta od biorazgradivog otpada kao gotovog komercijalnog proizvoda za prodaju ili korištenje u vrtlarstvu. Kompostiranje se provodi u PIBO hali [33] [34].

Kompostiranje biorazgradivog otpada je proces koji podrazumijeva obradu nekoliko frakcija otpada kao što su biorazgradivi kuhinjski i vrtni otpad, usitnjena frakcija glomaznog otpada kao strukturni element i izdvojeni biootpad (vrtovi, parkovi, tržnice, itd.). Sve frakcije se zajedno istovaruju na betonski plato predviđen za postupak kompostiranja. Istovareni otpad podliježe postupku homogenizacije i prevrtanju. Proces kompostiranja ne smije se miješati s procesom aerobne stabilizacije u kojem se obrađuje biorazgradivi otpad iz miješanog komunalnog otpada i to iz razloga jer se kompostiranjem nastoji proizvesti čisti komercijalni proizvod, tj. kompost koji se može koristiti za uzgoj cvijeća i sl. Obradom prethodno izdvojenog biootpada iz vrtova i parkova dobiva se čisti kompost, dok se kompostiranjem kuhinjskog otpada iz kućanstva proizvodi kompost s malim udjelom onečišćenja [33].

Zrak koji izlazi iz postrojenja prilikom aerobne stabilizacije, prolazi kroz dodatne procese pročišćavanja zraka gdje se u skruberu, a potom i u biofiltru uklanjaju sve onečišćujuće čestice koje su prisutne kao posljedica razgradnje i obrade otpada. Kako je temperatura zraka prilikom izlaska iz procesa poprilično visoka (60°C-70°C) zrak se hladi sa hladnim zrakom iz okoliša. Maksimalna temperatura ulaznog zraka koji smije na biofiltrar iznosi 42°C, te se ista kontinuirano prati [33].

#### **2.8.1.3 Nacrt tehničko-tehničkih procesa CGO Bikarac**

Slika 9 prikazuje nacrt prostornog razmještaja tehnoloških procesa CGO Bikarac zajedno sa svim pratećim građevinama. CGO Bikarac sadrži sljedeće tehnološke procese: A1) prihvata otpada, A2) razmjena otpada radi primjene bilo kojeg od postupaka oporabe navedenim pod R1 do R11-mehanička obrada (prosijavanje, ručno sortiranje, prešanje/baliranje, usitnjavanje), A2a) prosijavanje miješanog komunalnog otpada i izdvojeno prikupljenog reciklabilnog otpada na rotacijskom situ, A2b) uklanjanje metalnog otpada, usitnjavanje drvenog glomaznog otpada, A2c - priprema izdvojeno prikupljenog biorazgradivog otpada za proces kompostiranja - usitnjavanje strukturnog materijala/homogenizacija materijala, A3) skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka oporabe navedenim pod R1-R12, A3a) ulazni mKO/izdvojeno prikupljeni reciklabilni otpad, A3b) skladištenje GIO, A3c) skladištenje izdvojenih reciklata, A3d) skladištenje ulaznog glomaznog drvenog otpada, A3e) skladištenje ulaznog izdvojeno prikupljenog biorazgradivog otpada, A3f) skladištenje komposta, A4) skladištenje

otpada prije primjene bilo kojeg od postupaka zbrinjavanja D1-D14, A5) mehanička obrada – prosijavanje otpada, A6) aerobna stabilizacija organskog otpada, A7) odlaganje obrađenog otpada, A8) kompostiranje izdvojeno prikupljenog biorazgradivog otpada [34].



Slika 9 Prikaz građevina i tehnoloških jedinica, te mjernih mjesta emisija  
CGO Bikarac [34]

### 3. EKPRIMENTALNI DIO

#### 3.1 Materijali

U eksperimentalnom dijelu diplomskog rada korištena su dva uzorka prethodno obrađenog MBO i BMO otpada.

**Materijal A):** uzorak otpada iz CGO Marišćina koji je prethodno bio podvrgnut procesu biosušenja i mehaničkoj obradi koji se vodi pod ključnim brojem **19 05 01** - nekompostirana frakcija komunalnog i sličnog otpada. Ukupna masa otpada iznosila je 8,419 kg bez sušenja [28] [29] [6]. Slika 10.

**Materijal B):** uzorak otpada iz CGO Bikarac koji je prethodno bio podvrgnut procesu mehaničkog prosijavanja te procesu aerobne stabilizacije u sklopu biološke obrade otpada, koji se vodi pod ključnim brojem **19 05 99** - otpad koji nije specificiran na drugi način. Ukupna masa svježeg uzorka iznosila je 10,293 kg. [34] [29] [6]. Slika 10.

Oba analizirana uzorka, uskladištena su u podrumu Geotehničkog fakulteta već dulji period vremena pa shodno tome provedene analize vjerojatno neće odgovarati trenutnom stanju ali će iste poslužiti za potrebe pisanja diplomskog rada i provjeru učinkovitosti metode četvrtanja.



Slika 10 Uzorci otpada iz CGO Marišćina i Bikarac prije četvrtanja

## 3.2 Metode

### 3.2.1 četvrtanje uzoraka

Za dobivanje reprezentativnog uzorka provedeno je četvrtanje ukupne mase zaprimljenog otpada. Reprezentativni uzorak dobiven je miješanjem uzorka iz CGO-a Mariščina, a potom i CGO-a Bikarac. Svaka hrpa miješana je četiri puta dok se nije dobio ujednačen manji uzorak koji prema svojim svojstvima i karakteristikama predstavlja hrpu iz koje je uzet. Slika 11.



Slika 11 Dobivanje reprezentativnog uzorka

### 3.2.2 Nasumično uzorkovanje

Osim reprezentativnog uzorka, iz hrpe otpada uzeti su nasumični uzorci podjednake veličine. Uzorkovanje je provedeno na način da su uzorci uzimani iz različitih dijelova otpadne hrpe (plice, dublje, sredina), kako bi se na taj način u raspravi usporedile dobivene vrijednosti s vrijednostima reprezentativnog uzorka tj. kako bi se dokazalo da li postoje odstupanja između istih, te u kolikoj mjeri .

### 3.2.3 Laboratorijski test procjeđivanja

Laboratorijska metoda koja se koristila u diplomskom radu za ispitivanje uzorkovanih uzoraka je test procjeđivanja koji je izvođen prema Hrvatskom standardu HRN EN 12457-2:2005, u laboratoriju za inženjerstvo okoliša na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu.

Uzorci su se prije provedbe testa izluživanja podvrgnuli postupku sušenja do svoje stvarne mase. Proces sušenja odvijao se u peći (Instrumentaria Zagreb ST - 06), a stvarna masa otpada dokazana je svakodnevnom provjerom težine uzorka. Uzorci su sušeni na temperaturi od 60°C u vremenu od 24 sata. Svaki uzorak podvrgnut je najmanje dva ciklusa sušenja. Peć za sušenje uzoraka prikazana je na slici 12.



Slika 12 Peć za sušenje uzoraka

Tablica 5 i 6 prikazuje masu uzorkovanog reprezentativnog uzorka CGO Mariščina i CGO Bikarac u kilogramima, kao i vrijednosti troje nasumično odabranih uzorka iz izmiješane hrpe otpada. U tablici je navedena težina korištenih posuda, kao i težina posuda s uzorkom.



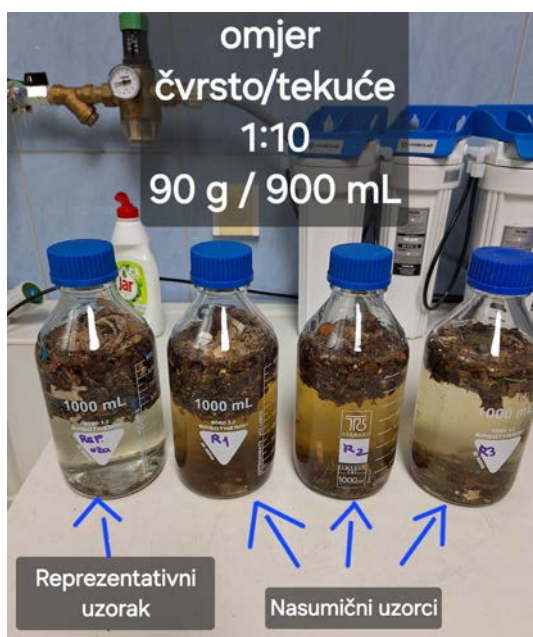
Tablica 5 Vaganje uzoraka CGO „Mariščina“

	Vaganje uzoraka „CGO Mariščina“			
	Nasumičan uzorak 1 (R1)	Nasumičan uzorak 2 (R2)	Nasumičan uzorak 3 (R3)	Reprezentativan uzorak
Težina Posude	0,849 kg	0,762 kg	0,774 kg	0,997 kg
Težina posude sa uzorkom	1,207 kg	1,129 kg	1,076 kg	1,549 kg
Težina uzorka	0,358 kg	0,367 kg	0,302 kg	0,552 kg

Tablica 6 Vaganje uzoraka CGO „Bikarac“

	Vaganje uzoraka „CGO Bikarac“			
	Nasumičan uzorak 1 (R1)	Nasumičan uzorak 2 (R2)	Nasumičan uzorak 3 (R3)	Reprezentativan uzorak
Težina Posude	0,998 kg	0,848 kg	0,774 kg	0,762 kg
Težina posude sa uzorkom	1,407 kg	1,111 kg	0,986 kg	1,197 kg
Težina uzorka	0,409 kg	0,263 kg	0,212 kg	0,435 kg

Kako uzeti uzorci nakon sušenja i dalje premašuju potrebnu masu od 90 g, provedeno je provesti dodatno četvrtanje kako bi testiranje bilo u skladu sa hrvatskim standardom HRN EN 12457-2:2005, tj. kako bi se zadovoljio omjer tekućeg i čvrstog T/K 10L/kg. Sukladno tome, 90 g uzorkovanog otpada stavljeno je u litarsku bocu, dok je kao tekućina korištena voda volumena 900 mL, čime je zadovoljen omjer tekućeg i krutog propisan normom. Slika 13.



Slika 13 Priprema uzoraka za test izluživanja

Po završetku pripreme uzoraka, isti se stavljaju na rotacijsko kolo koje je prikazano na slici 14. Rotacija uzoraka provodila se u trajanju od 24 sata prema normi HRN EN 12457-2:2005. Brzina okretaja rotacijskog kola iznosila je šest okretaja u minuti što je omogućilo ravnomjerno i umjereno miješanje uzoraka čime se oponašala prirodna pojava stvaranja procijedih voda u tijelu odlagališta. Nakon 24 sata rotiranja, uzorci su skinuti s kola, te su ostavljeni neko vrijeme u uspravnom položaju kako bi se kruti otpad istaložio.



Slika 14 Rotacijski kotač

Da bi se dobiveni eluat mogao podvrgnuti laboratorijskim analizama na pojedine parametre, čiji će se rezultati uspoređivati s graničnim vrijednostima propisanim u pravilniku o odlagalištima otpada, isti se najprije moraju filtrirati. U tu svrhu korišteni su „Syringe“ filteri veličine pora  $0,45\ \mu\text{m}$  kroz koje se injektirao eluat.

Navedeni promjer pora omogućuje uklanjanje većih čestica čime se olakšava kasnija analiza uzorka. Za kompletnu analizu svih propisanih parametara filtriran je eluat od ukupno 100 mL za reprezentativni kao i za svaki nasumično odabrani uzorak. Proces filtriranja prikazan je na slici 15.



Slika 15 Proces filtriranja uzorka

### 3.3 Analiza rezultata

U tablici 7 prikazane su granične vrijednosti za inertni otpad, neopasan otpad, te opasan otpad. Na temelju navedenih graničnih vrijednosti u raspravi će se provesti klasifikacija ovisno o dobivenim vrijednostima ispitivanih parametara. [4]

Tablica 7 Prikaz graničnih vrijednosti parametara eluata za inertan, neopasan i opasan otpad [4]

Klasifikacija	Inertni otpad	Neopasni otpad	Opasni otpad
T/K omjer	10 L/kg	10 L/kg	10 L/kg
Parametar	Koncentracija (mg/kg suhe tvari)		
As	0,5	2	25
Ba	20	500	300
Cd	0,04	1	5
Cr	0,5	10	70
Cu	2	50	100
Hg	0,01	0,2	2
Mo	0,5	50	30
Ni	0,4	10	40
Pb	0,5	10	50
Sb	0,06	0,7	5
Se	0,1	2,5	7
Zn	4	50	200
Cl <sup>-</sup>	800	75.000	25000
F <sup>-</sup>	10	150	500
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1000	100.000	50000
DOC	500	800	1000
Ukupne rast. tvari	4000	60.000	100000

Osim klasifikacije otpada u radu će se provesti izračun odstupanja nasumičnih uzoraka od reprezentativnih uzoraka. Odstupanje se računa na način da se od broja 100 oduzme dobivena vrijednost reprezentativnog uzorka te se podijeli s dobivenom vrijednosti nasumičnog uzorka. Krajnji rezultat množi se sa brojem 100 kako bi se dobivena vrijednost izrazila u postocima.

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

### **4.1 Analitički uređaji**

Pripremljeni uzorci analizirani su u laboratoriju za geokemiju okoliša na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu. U tu svrhu korišteni su slijedeći uređaji: Spektrometar (Perkin Elmer AAnalyst 800), Spektrofotometar Hach Lange DR 5000, Shimadzu TOC - Vcpn, Konduktometar HACH Sension 156.

#### **1. Spektrometar Perkin Elmer AAnalyst 800**

Atomski apsorpcijski spektrometar koji se sastoji od sustava plamenika i grafitne peći je uređaj koji se koristi za analizu nepoznatih elemenata prisutnih u ispitivanom uzorku. Radi na principu ioniziranja molekule koje se zatim pomoću električnog i magnetskog polja usmjeravaju na detektor [36]. U laboratoriju za geokemiju okoliša koristio se Perkin Elmer AAnalyst 800 spektrometarski uređaj. Ovom metodom određene su koncentracije arsena, kadmija, barija, kroma, žive, selen i sl

#### **2. Spektrofotometar Hach Lange DR 5000**

Uređaj se koristi za određivanje koncentracije analita u ispitivanom uzorku na temelju UV/VIS spektroskopije, u kojem se mjeri količina svjetlosti koja prolazi kroz analizirani uzorak smješten u transparentnoj kvarcnoj kivetu. Prolaskom upadnog svjetla kroz ispitivani uzorak, apsorbirao se dio svjetlost na različitim valnim duljinama, te se na temelju toga odredila koncentracija klorida, fluorida i sulfata u ispitivanom uzorku [37]. U laboratoriju za geokemiju okoliša koristio se Hach Lange DR 5000 spektrofotometarski uređaj.

### 3. Shimadzu TOC – Vcpn

Shimadzu TOC – Vcpn je analitički uređaj koji se koristi za analizu otopljenog organskog ugljika (DOC) [38]. Uređaj radi na principu zagrijavanja uzorka na visokim temperaturama pod čijim utjecajem dolazi do oksidacije organskog ugljika u ugljikov dioksid koji se potom mjeri na infracrvenom detektoru. Koncentracija oksidiranog ugljikovog dioksida jednaka je koncentraciji organskog ugljika otopljenog u ispitivanom uzorku [39].

### 4. Konduktometar HACH Sension 156

Konduktometar je uređaj kojim se mjeri električna provodljivost tekućina na temelju koje se može odrediti prisutnost otopljenih tvari (tj. ukupna rastopljena tvar) u ispitivanom uzorku [40]. Analiza je provedena u laboratoriju za geokemiju okoliša na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu. U tu svrhu korišten je uređaj HACH Sension 156.

#### 4.2 Rezultati

Rezultati provedenog testa izluživanja za otpad iz CGO-a Marišćina uvršteni su u tablici 8, a za CGO Bikarac u tablici 9. Ispitno izvješće br. 265/07-05-2024 iz laboratorija za geokemiju okoliša nalazi se u prilogu 1. diplomskog rada. U ispitnom izvješću prikazani su rezultati u mjernoj jedinici mg/L ili  $\mu\text{g}/\text{L}$ , prije pretvorbe u mg/kg koja je provedena u tablici 8 i 9.

Granična vrijednost parametara eluata odnosi se na omjer T/K 10 L/kg što je u skladu s normom HRN EN 12457-2:2005 koja se primjenjivala u provedenom testu izluživanja. Rezultati pojedinih parametara koji su navedeni u tablici 8 i 9, izraženi su u mg/kg. Kako su inicijalno dobiveni rezultati izraženi u mg/L ili  $\mu\text{g}/\text{L}$ , potrebno je provesti konverziju prema slijedećoj formuli kako bi se dobiveni rezultati mogli uspoređivati s graničnim vrijednostima propisanim u pravilniku o odlagalištima otpada, te u Direktivi vijeća 1999/31/EZ, gdje su također izraženi u mjernoj jedinici mg/kg [41].

**Izlužena tvar (mg/kg) = koncentracija izlužene tvari (mg/L) x T/K omjer (L/kg)**

Tablica 8 Usporedba dobivenih vrijednosti sa propisanim graničnim vrijednostima za neopasan otpad „CGO Mariščina“

Usporedba dobivenih vrijednosti s graničnim vrijednostima „CGO Mariščina“				
	Uzorak 1 (R1)	Uzorak 2 (R2)	Uzorak 3 (R3)	Reprezentativni uzorak
T/K omjer	10 L/kg	10 L/kg	10 L/kg	10 L/kg
Parametar	Koncentracija (mg/kg)			
Arsen	0,09041	0,101	0,06477	0,09031
Barij	4,685	6,429	6,472	3,484
Kadmij	0,00667	0,00425	0,00297	0,01597
Krom	1,33	1,96	1,42	2,43
Bakar	3,99	1,79	0,5	4,46
Živa	0,00022	0,00028	0,00006	0,00077
Molibden	0,1320	0,1295	0,09772	0,2408
Nikal	1,481	1,199	0,7032	1,349
Olovo	<0,00025	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Selen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Cink	9,7	17,15	4,67	10,38
Kloridi	13 660	12 000	6 470	15 690
Fluoridi	<b>170</b>	101	47	82
Sulfati	6 600	6 000	6 700	7 900
DOC	<b>20 520</b>	<b>14 420</b>	<b>8 718</b>	<b>16 890</b>
Ukupne rastopljene tvari	18 060	19 360	16 120	23 500

Legenda	
Boja	Klasifikacija otpada
	Inertni otpad
	Neopasan otpad
	Opasan otpad

Tablica 9 Usporedba dobivenih vrijednosti sa propisanim graničnim vrijednostima za neopasan otpad „CGO Bikarac“

Usporedba dobivenih vrijednosti s graničnim vrijednostima „CGO Bikarac“				
	Uzorak 1 (R1)	Uzorak 2 (R2)	Uzorak 3 (R3)	Reprezentativni uzorak
T/K omjer	10 L/kg	10 L/kg	10 L/kg	10 L/kg
Parametar	Koncentracija (mg/kg)			
Arsen	0,1355	0,1169	0,1121	0,1036
Barij	2,708	2,505	1,995	2,288
Kadmij	0,02249	<0,00002	0,02311	0,01589
Krom	1,15	1,14	1,16	1,09
Bakar	9,87	11,16	9,79	9,08
Živa	0,00035	<0,00009	0,00027	0,0001
Molibden	0,3149	0,4401	0,3420	0,2221
Nikal	1,236	1,179	1,145	1,083
Olovo	0,679	0,7236	0,8021	<0,0005
Selen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Cink	10,1	10,98	9,76	9,27
Kloridi	21 540	27 930	20 730	13 330
Fluoridi	75	62	66	56
Sulfati	2 050	2 350	1 900	1 450
DOC	<b>6 713</b>	<b>7 067</b>	<b>6 570</b>	<b>5 462</b>
Ukupne rastopljene tvari	16 010	16 140	14 010	12 110

Legenda	
Boja	Klasifikacija otpada
	Inertni otpad
	Neopasan otpad
	Opasan otpad

### 4.3 Rasprava

U tablici 8 i 9 prikazani su rezultati analiza za ispitivani uzorak iz CGO Marišćina, te CGO Bikarac. Svi uzorci pripremljeni su s T/K omjerom od 10 L/kg uz kontinuirano 24-satno miješanje na rotacijskoj miješalici. Uz tablice 8 i 9 nalazi se legenda koja daje objašnjenje klasifikacije otpada na temelju dobivenih rezultata. Naime, plavom bojom označene su vrijednosti parametara eluata koje uzorak obrađenog otpada klasificiraju kao inertni, zelenom bojom su označene one vrijednosti koje otpad klasificiraju kao neopasan, te žutom bojom one vrijednosti koje ispitani otpad klasificiraju kao opasan.

Na temelju dobivenih rezultata iz tablice 8 i 9 napravljeni su grafikoni s odstupanjima koji su prikazani u postotcima. Grafikoni se sastoje od pozitivnih te negativnih vrijednosti. Pozitivne vrijednosti na grafikonu označavaju da je nasumičan uzorak imao veću vrijednost od reprezentativnog uzorka, dok negativna vrijednost označava da je nasumičan uzorak imao manju vrijednost od reprezentativnog uzorka. Crveni pravokutnici na grafikonima označavaju velika odstupanja od reprezentativnog uzorka, koji su izdvojeni zbog bolje preglednosti. Oba reprezentativna uzorka uzorkovana su prema propisima, a vrijednosti parametara eluata, otpad klasificiraju kao neopasan i inertni što je u skladu s pravilnikom o odlagalištima otpada. Jedini parametar koji se klasificira kao opasan otpad je DOC. Ista situacija primijećena je i u nasumično odabranim uzorcima.

Grafikon 2 prikazuje rezultate uzoraka iz CGO Marišćina na kojem je uočeno kako skoro svi parametri nasumično odabranih uzoraka imaju veće vrijednosti od reprezentativnog uzorka, dok je na uzorku otpada iz CGO Bikarac uočeno suprotno odstupanje koje je prikazano na grafikonu 3. Sukladno navedenome, za manja odstupanja od max. 20% zaključeno je kako odgovaraju vrijednostima reprezentativnog uzorka, no u radu su osim manjih odstupanja zabilježene i puno značajnije oscilacije za pojedine parametre. Iz ukupno 16 ispitivanih parametra u uzorku iz CGO Marišćina, dvoje parametara (olovo i selen) u potpunosti odgovaraju vrijednostima reprezentativnog uzorka. Za parametre: arsen, barij, sulfati i ukupne rastopljene tvari uočena su odstupanja od 40-50%, dok su za parametre: krom, molibden, nikal, cink,



kloride, fluoride i DOC odstupanja u rasponu od 70-145%. Parametri kod kojih su zabilježena najveća odstupanja su: kadmij s odstupanjem od -437%, bakar s odstupanjem od -792% i živa s odstupanjem od -1183%. Bez obzira na velika odstupanja od reprezentativnog uzorka, vrijednosti parametara nasumično odabranih uzoraka u skladu s pravilnikom, te se niti jedan ne klasificira kao opasan otpad osim DOC parametra koji je povišen u svih osam uzoraka. S obzirom na sastav miješanog komunalnog otpada sasvim je normalno da će sadržati određene koncentracije metala i teških metala za koje se ovim istraživanjem dokazalo da je većina njih tek u tragovima. Poglavito se navedeno odnosi na parametre kao što su: živa, kadmij i olova. Parametar olova je u uzorku iz Bikarca nešto veći u nasumičnim uzorcima, ali je i dalje u graničnim vrijednostima, što se može pripisati lokalnoj onečišćenosti uzorka, budući da reprezentativni uzorak ukazuje da je olovo prisutno tek u tragovima.

S druge strane, parametri u uzorcima CGO Bikarac kao što su: krom, barij, nikal, selen, cink, odgovaraju vrijednostima reprezentativnog uzorka iz razloga što ne premašuju odstupanje od max. 20%. Za parametre: arsen, bakar, fluoridi, DOC i ukupno rastopljene tvari zabilježena su odstupanja od 20-25% čime ne odskakuju značajno od reprezentativnog uzorka. Parametri kod kojih su uočena značajnija odstupanja u rasponu od 30-100% su: olovo, živa, molibden, kloridi i sulfati. Najveće odstupanje od čak -79000% zabilježeno je kod parametra kadmij u samo jednom nasumičnom uzorku što u ovom slučaju ukazuje na manjak kadmija budući da je u pitanju negativna vrijednost. U ostalim uzorcima su koncentracije nešto više ali se otpad i dalje klasificira kao inertni, odnosno vrijednosti ukazuju da se predmetni element u uzorcima nalazi tek u tragovima pri čemu isti ne predstavlja problem.

Kako su analizom rezultata uočena najveća postotna odstupanja za teške metale: živa, olovo i kadmij u nastavku će se definirati mogući izvori i razlozi. Naime, u radu [42] se navodi kako su najčešći izvori žive u miješanom komunalnom otpadu nepropisno odložene baterije i drugi elektroničkih uređaji koji sadrže i druge metale u tragovima. Nadalje, u radu [43] ističu kako se u prethodnih 40-tak godina drastično smanjila upotreba žive pa shodno tome i njene koncentracije u okolišu. Navodi se kako je živa prisutna u miješanom komunalnom otpadu u određenim koncentracijama bez obzira na smanjenje korištenja žive od strane ljudi. Prisutnost žive u miješanom komunalnom otpadu pripisuju nedovoljno dobrom sustavu odvojenog prikupljanja

frakcija otpada koje potencijalno sadrže živu, kao što su primjerice gore navedeni elektronički uređaji. Kao zaključak istraživanja navodi se kako se otpad, bez obzira što sadrži određene koncentracije žive, ne bi trebao smatrati opasnim jer su u pitanju vrlo niske vrijednosti što je ujedno zaključak i našeg istraživanja. Za olovo i kadmij se u radu [44] određuju najvjerojatniji izvori koji su za kadmij: plastika i pigmenti, a za olovo: zapaljivi i nezapaljivi otpadci baterija, plastike i pigmenata. Zaključno sa svime navedenim, razlike u vrijednostima teških metala u ispitivanim uzorcima mogu se pripisati lokalnom onečišćenju uzorka zbog odbačenih frakcija koje sadrže manje količine teških metala, a koje mogu biti prisutne u miješanom komunalnom otpadu.

Znatno povišene vrijednosti eluata kod DOC parametara, zabilježene su u svih osam uzoraka. DOC predstavlja količinu organske tvari koja se može profiltrirati kroz filter veličine pora  $0,45\mu\text{m}$ , te se koristi kao indikator organskog onečišćenja [45]. Laboratorijskom analizom, ispitivani uzorci iz CGO Bikarac ukazali su na nešto niže vrijednosti DOC-a u odnosu na ispitivane uzorke CGO-a Mariščina. Pretpostavka je da su niže koncentracije rezultat procesa aerobne stabilizacije koji se provodi u CGO Bikarac kao dio biološke obrade otpada, za razliku od CGO-a Mariščina gdje se u biološkoj obradi koristi proces biosušenja, dok se biostabilizacija ne provodi. Povišene vrijednosti DOC parametra ukazuju na veliku količinu organskih tvari te je iz tog razloga potrebna dodatna biološka obrada. Ujedno, nije poznato da li se u uzorku iz Bikarca postupak aerobne stabilizacije sproveo do kraja što može utjecati na krajnje rezultate.

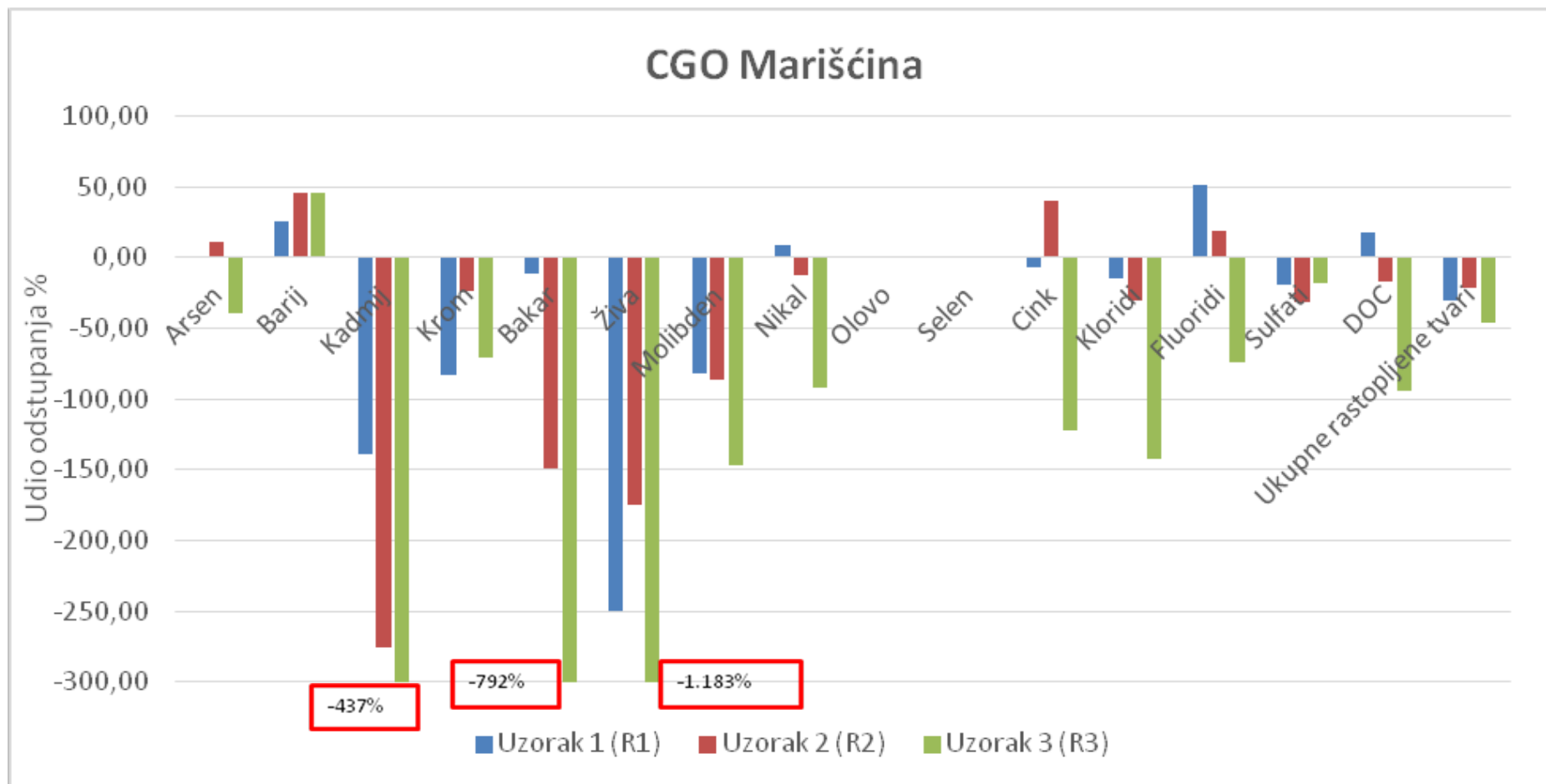
Kako se u diplomskom radu provodio test procjeđivanja u nastavku su dati neki primjeri u kojima se provodila slična laboratorijska simulacija, te kojom su ishođeni slični zaključci po pitanju DOC parametra i utjecaja korištenih omjera na dobivene rezultate koji se mogu razlikovati od stanja na odlagalištu:

U radu [19] čije istraživanje je također provedeno na Geotehničkom fakultetu u Varaždinu, testu izluživanja (eng. *Leaching test*) podvrgnut je uzorak iz CGO Mariščina. Istraživanjem je utvrđeno kako na dobivene rezultate utječe omjer krutog i tekućeg s obzirom da su koncentracije parametara višestruko manje u većem T/K omjeru od 10L/kg, u odnosu na isti uzorak manjeg omjera od 2L/kg gdje su tom

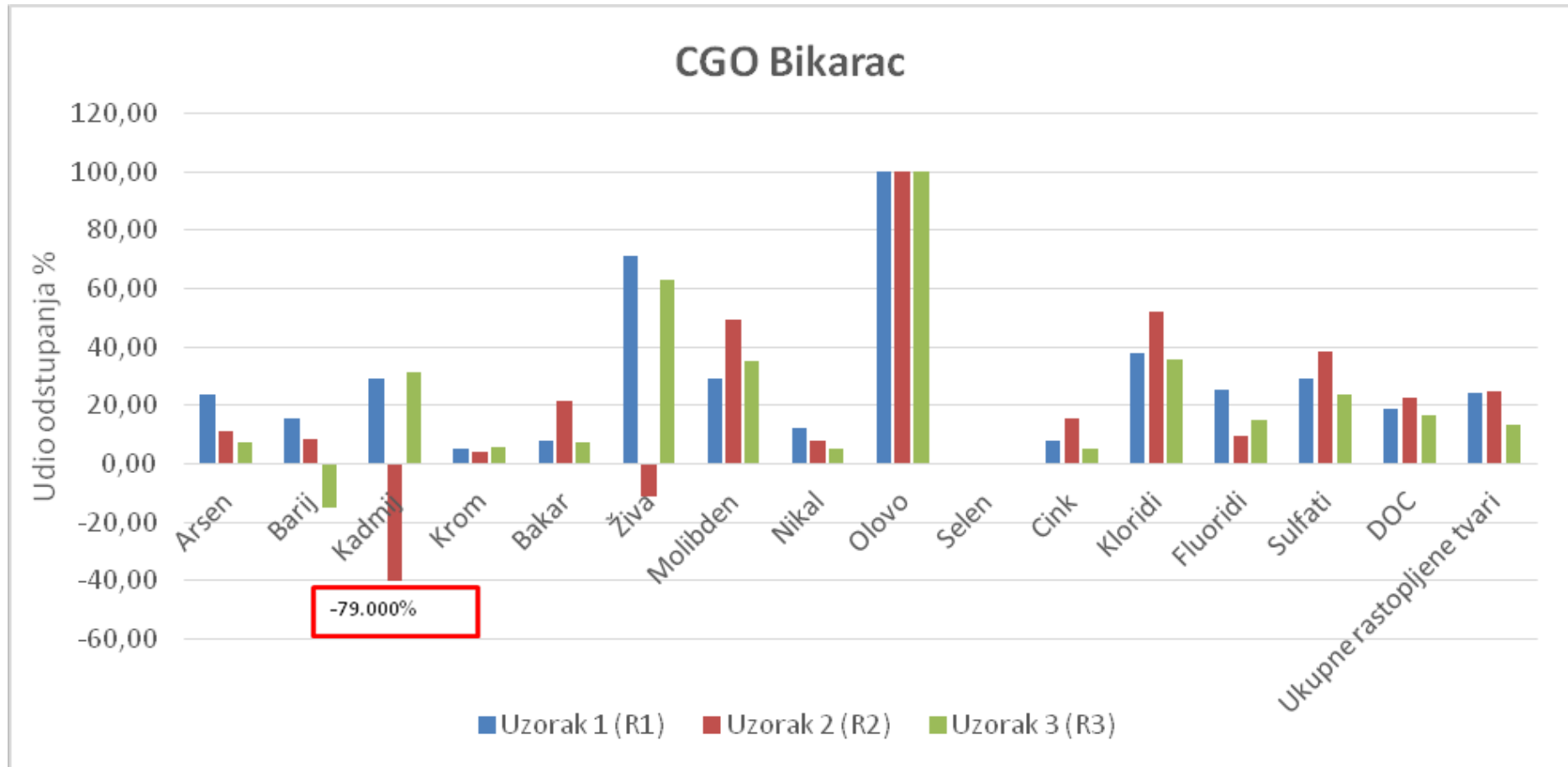
prilikom zabilježene znatno veće vrijednosti. Nadalje, u radu se navodi kako su u svim analiziranim uzorcima zabilježene veće koncentracije DOC parametra što ukazuje na znatan sadržaj organskih tvari, te na potrebu za daljnjom biološkom obradom otpada čime bi se vrijednosti DOC parametra trebale značajno reducirati.

Istraživanje provedeno u Španjolskoj [46] također je ukazalo na razlike u koncentracijama pri različitim omjerima prilikom testa izluživanja u kojem dolazi do ispiranja kontaminanta. U istraživanju je analizirana frakcija otpada nakon obrade u Španjolskom MBO postrojenju, koja je namijenjena za trajno odlaganje. Ispitivao se otpad koji je sačinjen od biorazgradivih frakcija (papir, karton, tekstil, drvo, kosti, sjemenke i miješani biorazgradivi materijali.). Korišteno je više različitih metoda i laboratorijskih analiza među kojima je i test izluživanja T/K u omjeru od 10L/kg (100 g uzorka i 1000 mL vode), koji je proveden na rotacijskoj miješalici u vremenu trajanja od 24 sata. Zaključili su da veličina čestica utječe na laboratorijske rezultate iz razloga što manja veličina (usitnjeni otpad) ima veću kontaktnu površinu koja dovodi do većeg oslobađanja i ispiranja tvari iz krutog u tekuće. Količina DOC-a primjenom testa izluživanja veća je za 22% u odnosu na druge metode. Nadalje, tvrde da se otpuštanje onečišćujućih tvari u laboratoriju može bitno razlikovati od uvjeta na odlagalištu gdje je protok vode sporiji, temperature su više i postoje razlike u pH vrijednostima.

Grafikon 2. Usporedba odstupanja vrijednosti parametara CGO Marišćina



Grafikon 3. Usporedba odstupanja vrijednosti parametara CGO Bikarac



## 5. ZAKLJUČAK

U diplomskom radu provedena je laboratorijska analiza na ukupno osam različitih uzoraka, od kojih su dva reprezentativna i šest nasumično odabranih. Dobivene vrijednosti parametra svakog nasumično odabranog uzorka uspoređivane su s vrijednostima reprezentativnog uzorka. Tom prilikom, primijećena su značajna postotna odstupanja od reprezentativnih uzoraka u rasponu od 20% do 250% za CGO Marišćina, s pikovima od čak -1183% za parametar žive, odnosno -792 za bakar i -437 za kadmij. U uzorku iz CGO Bikarac uočena su postotna odstupanja od 20% do 100% s pikom od čak -79000% koliko je odstupanje zabilježeno za parametar kadmija. Kako bi vrijednosti reprezentativnog uzorka trebale odgovarati vrijednostima nasumično odabranih uzoraka, što za neke parametre u ovom istraživanju nije bio slučaj, zaključuje se kako četvrtanje na tako malom uzorku izrazito heterogenog otpada nije dalo reprezentativne rezultate. U konačnici reprezentativni uzorak zbog navedenog ne predstavlja realno stanje otpada. U budućnosti bi se stoga moralo provesti istraživanje na parametre testa izluživanja koje bi obuhvatilo izlazne frakcije koje nastaju obradom miješanog komunalnog otpada. Rezultati istraživanja dali bi odgovor na moguće granice odstupanja pri provedbi osnovne karakterizacije otpada testom izluživanja.

## Prilog 1.



**Laboratorij za geokemiju okoliša**  
Geotehnički fakultet  
Sveučilišta u Zagrebu  
Hallerova aleja 7  
42 000 Varaždin  
Tel. 042 / 408 937  
Fax. 042 / 313 587  
E-mail: lgo@gfv.hr



### Ispitno izvješće: 265/07-05-2024

Uzorak:	vodeni eluat
Analitički broj uzorka:	265/1-8O <sub>ORGV</sub>
Naručitelj:	Aleksandra Anić Vučinić Zavod za inženjerstvo okoliša Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 VŽ 098/983-0917
Datum uzorkovanja:	---
Datum zaprimanja uzorka:	07.05.2024.
Uzorkovanje obavio:	naručitelj

#### Rezultati ispitivanja uzorka:

pokazatelj i mjerna jedinica	REF. MAR	R1 MAR	R2 MAR	R3 MAR
As µg/L	9,031	9,041	10,10	6,477
Ba µg/L	348,4	468,5	642,9	647,2
Cd µg/L	1,597	0,667	0,425	0,297
Co µg/L	16,65	15,02	17,71	7,114
Cr mg/L	0,243	0,133	0,196	0,142
Cu mg/L	0,246	0,399	0,179	0,050
Hg µg/L	0,077	0,022	0,028	0,006
Mo µg/L	24,08	13,20	12,95	9,772
Ni µg/L	134,9	148,1	119,9	70,32
Pb µg/L	<0,05	<0,025	<0,05	<0,05
Se µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn mg/L	1,038	0,970	1,715	0,467
Cl <sup>-</sup> mg/L	1569	1366	1200	647
F <sup>-</sup> mg/l	8,2	17,0	10,1	4,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	790	660	600	670
DOC mg/L	1689	2052	1442	871,8
TDS mg/L	2350	1806	1936	1612

Ispitno izvješće odnosi se samo na ispitivani uzorak. Zabranjeno umnožavanje bez pisanog odobrenja Voditelja laboratorija.

pokazatelj i mjerna jedinica	REF. VZO	R1 BIK	R2 BIK	R3 BIK
As µg/L	10,36	13,55	11,69	11,21
Ba µg/L	228,8	270,8	250,5	199,5
Cd µg/L	1,587	2,249	<0,002	2,311
Co µg/L	7,832	9,167	9,223	7,751
Cr mg/L	0,109	0,115	0,114	0,116
Cu mg/L	0,908	0,987	1,116	0,979
Hg µg/L	0,010	0,035	<0,009	0,027
Mo µg/L	22,21	31,49	44,01	34,20
Ni µg/L	108,3	123,6	117,9	114,5
Pb µg/L	<0,05	67,90	72,36	80,21
Se µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn mg/L	0,927	1,010	1,098	0,976
Cl <sup>-</sup> mg/L	1333	2154	2793	2073
F mg/L	5,6	7,5	6,2	6,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	145	205	235	190
DOC mg/L	546,2	671,3	706,7	657,0
TDS mg/L	1211	1601	1614	1401

Varaždin, 17.06.2024.

Voditelj laboratorija:  
prof.dr.sc. Anita Ptiček Siročić

KRAJ IZVJEŠĆA

---

Ispitno izvješće odnosi se samo na ispitivani uzorak. Zabranjeno umnožavanje bez pisanog odobrenja Voditelja laboratorija.

Stranica 2 od 2



## 6. LITERATURA

- [1] NN (narodne novine) 84/21,142/23. “Zakon o gospodarenju otpadom”. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/2848/Zakon-o-gospodarenju-otpadom> (accessed May 18, 2024).
- [2] European Environment agency, “Leachate pollution from landfills (Signal).” <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/emission-from-waste-management-facilities> (accessed May 31, 2024).
- [3] NN (narodne novine) 4/2023. Pravilnik o odlagalištima otpada. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023\\_01\\_4\\_68.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_01_4_68.html) (accessed Mar. 02, 2024).
- [4] Vijeće Europske unije, “Odluka o utvrđivanju kriterija i postupaka za prihvatanje otpada na odlagališta sukladno članku 16. i Prilogu II. Direktivi 1999/31/EZ,” vol. 17, no. 6, pp. 56–78, 2003.
- [5] Europski Parlament and Vijeće Europske Unije, “DIREKTIVA 2008/98/EZ EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 19. studenoga 2008. o otpadu i stavljanju izvan snage određenih direktiva,” *Službeni List Eur. unije*, vol. 15, no. 34, pp. 99–126, 2018.
- [6] NN (narodne novine) 106/2022. Pravilnik o gospodarenju otpadom. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022\\_09\\_106\\_1552.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2022_09_106_1552.html) (accessed Jun. 02, 2024).
- [7] Europski revizorski sud, “Mjere EU-a za odgovor na sve već količine opasnog otpada,” 2023. [https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/rw23\\_02/rw\\_hazardous\\_waste\\_hr.pdf](https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/rw23_02/rw_hazardous_waste_hr.pdf) (accessed Jun. 02, 2024).
- [8] Q. Xu, X. Jin, Z. Ma, H. Tao, and J. Hac, “Bioresource Technology Methane production in simulated hybrid bioreactor landfill,” *Bioresour. Technol.*, 2014, doi: 10.1016/j.biortech.2014.03.036.
- [9] EPA, “Bioreactor Landfills,” 2023. <https://www.epa.gov/landfills/bioreactor-landfills> (accessed Jun. 02, 2024).
- [10] NN (narodne novine) 84/2023. Odluka o donošenju plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. - 2028. godine. Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023\\_07\\_84\\_1334.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_07_84_1334.html) (accessed

Mar. 29, 2024).

- [11] M. E. Edjabou *et al.*, “Municipal solid waste composition: Sampling methodology, statistical analyses, and case study evaluation,” *Waste Manag.*, vol. 36, pp. 12–23, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.11.009.
- [12] Zavod za zaštitu okoliša i prirode, “Uzorkovanje i kemijska analiza otpada,” 2020. <https://www.haop.hr/hr/uzorkovanje-i-kemijska-analiza-otpada/uzorkovanje-i-kemijska-analiza-otpada> (accessed Apr. 21, 2024).
- [13] Haop, “Metodologija za određivanje sastava i količine komunalnog otpada.” [https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/specificni-dokumenti/publikacije/knjige/Metodologija\\_za\\_odredivanje\\_sastava\\_i\\_kolicina\\_komunalnog\\_otpada.pdf](https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/specificni-dokumenti/publikacije/knjige/Metodologija_za_odredivanje_sastava_i_kolicina_komunalnog_otpada.pdf) (accessed Jun. 18, 2024).
- [14] K. Nadeem, K. Farhan, and H. Ilyas, “Of Waste Resources Waste Amount Survey and Physio-Chemical Analysis of Municipal Solid Waste Generated in Gujranwala-Pakistan,” vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2016, doi: 10.4172/2252-5211.1000196.
- [15] S. Pantini, I. Verginelli, and F. Lombardi, “Analysis and modeling of metals release from MBT wastes through batch and up-flow column tests,” *Waste Manag.*, vol. 38, no. 1, pp. 22–32, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.12.002.
- [16] D. Barčić and V. Ivančlć, “Utjecaj odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac na onečišćenje okoliša,” *Sumar. List*, vol. 134, no. 7–8, pp. 347–359, 2010.
- [17] HRN EN 12457-2:2005, “Karakterizacija otpada - Izluživanje - Provjera izluživanja zrnatga otpadnog materijala i muljeva - 2. Dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10l/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 Mm,” 2005.
- [18] K. Kylefors, L. Andreas, and A. Lagerkvist, “A comparison of small-scale, pilot-scale and large-scale tests for predicting leaching behaviour of landfilled wastes,” *Waste Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 45–59, 2003, doi: 10.1016/S0956-053X(02)00112-5.
- [19] A. Mesarek, N. Hrnčić, A. A. Vučinić, and I. Petrović, “Analiza biološki i mehanički obrađenog miješanog komunalnog otpada metodom izluživanja,” *XVI. Međunarodni Simp. Gospod. otpadom 2022. Zagreb*.
- [20] U. Kalbe, W. Berger, and F. Simon, “Evaluation of leaching and extraction procedures for soil and waste,” vol. 28, pp. 1027–1038, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.03.008.

- [21] leachingtests.com, "Leaching test." <https://www.leachingtests.com/leaching-tests/> (accessed Apr. 27, 2024).
- [22] FZOEU, "Centri za gospodarenje otpadom." <https://www.fzoeu.hr/hr/centri-za-gospodarenje-otpadom/7593> (accessed Mar. 29, 2024).
- [23] B. Fuk, "Oprema i infrastruktura za održivo gospodarenje otpadom u jedinicama lokalne/regionalne samouprave (ii. dio)," *Sigurnost*, vol. 60, no. 3, pp. 283–288, 2018.
- [24] J. Sredojević, "Obrada i deponije otpada," Mašinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu, 2003, pp. 156–159.
- [25] FZOEU, "CGO Marišćina." <https://www.fzoeu.hr/hr/cgo-mariscina/7765> (accessed Mar. 29, 2024).
- [26] Ekoplus d.o.o. Rijeka, *PUO - Sažetak provedene procedure - CGO Marišćina*, vol. 66, no. 2. 2010.
- [27] D. Pasović, *Elaborat zaštite okoliša - Izmjena faze 0-1 CGO Marišćina*. Hidroplan d.o.o. za izgradnju i konzalting, 2022.
- [28] D. Pašović, "Elaborat gospodarenja otpadom - Marišćina," 2019, [Online]. Available: [https://kckzz.hr/wp-content/uploads/2019/12/EGO-MATVEJ-konačno\\_za-objavu2019.pdf](https://kckzz.hr/wp-content/uploads/2019/12/EGO-MATVEJ-konačno_za-objavu2019.pdf)
- [29] Agencija za zaštitu okoliša, "Postupci oporabe (R) i zbrinjavanja (D)." <http://roo-preglednik.azo.hr/ViewData.aspx?qid=8> (accessed Jun. 04, 2024).
- [30] C. A. Velis, P. J. Longhurst, G. H. Drew, R. Smith, and S. J. T. Pollard, "Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering," *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 11, pp. 2747–2761, 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2008.12.026.
- [31] FZOEU, "CGO Bikarac." <https://www.fzoeu.hr/hr/cgo-bikarac/7769> (accessed Apr. 16, 2024).
- [32] Ekovjesnik, "FZOEU financirat će projektnu dokumentaciju za energanu CGO Bikarac." <https://www.ekovjesnik.hr/clanak/6965/fzoeu-financirat-ce-projektnu-dokumentaciju-za-energanu-cgo-bikarac> (accessed Apr. 16, 2024).
- [33] MUNDO MELIUS d.o.o., "Stručna podloga zahtjeva za ishođenje okolišne dozvole - centar za gospodarenje otpadom Bikarac - ne tehnički sažetak," 2021.
- [34] E. Perković, *Elaborat gospodarenja otpadom - Bikarac*. 2021. [Online]. Available: <https://www.sibensko-kninska-zupanija.hr/upload/informacije/2716/ego-bikarac-cgo-1.pdf>

- [35] Regionalni centar čistog okoliša, “Postrojenje za mehaničko - biološku obradu otpada.” <https://rcco.hr/postrojenje-za-mehanicko-biolosku-obradu-otpada/> (accessed Jun. 06, 2024).
- [36] ChemTalk, “Mass Spectrometry & Mass Spectrometers”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://chemistrytalk.org/mass-spectrometry/>
- [37] ChemTalk, “What is a Spectrophotometer”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://chemistrytalk.org/spectrophotometer-chemistry-instrument/>
- [38] Shimadzu, “Total Organic Carbon Analysis”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.shimadzu.com/an/products/total-organic-carbon-analysis/index.html>
- [39] Evoqua, “A Guide to Total Organic Carbon Analysis”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://www.evoqua.com/en-GB/blog/guide-to-total-organic-carbon-analysis/>
- [40] Metroteka, “Konduktometri i njihovo umjeravanje”, Accessed: Jun. 12, 2024. [Online]. Available: <https://metroteka.com/blog/konduktometri-i-njihovo-umjeravanje/>
- [41] H. a van der Sloot *et al.*, “Environmental Criteria for Cement Based Products Phase I : Ordinary Portland Cement Phase II : Blended Cements and methodology for impact assessment,” *2011*, no. November 2011, p. 224, 2011.
- [42] C. D. A. Earle, R. D. Rhue, and J. F. K. Earle, “Mercury in a municipal solid waste landfill,” *Waste Manag. Res. J. a Sustain. Circ. Econ.*, vol. 17, no. 4, pp. 305–312, 1999, doi: 10.1177/0734242x9901700407.
- [43] R. Jędrusiak, M. Chuchro, B. Bielowicz, and A. Gielar, “Assessment of the stability of mercury concentration in municipal waste using data science tools,” *Geol. Geophys. Environ.*, vol. 49, no. 1, pp. 71–83, 2023, doi: 10.7494/geol.2023.49.1.71.
- [44] E. A. Korzun and H. H. Heck, “Sources and fates of lead and cadmium in municipal solid waste,” *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 40, no. 9, pp. 1220–1226, 1990, doi: 10.1080/10473289.1990.10466766.
- [45] realtechwater, “DISSOLVED ORGANIC CARBON (DOC)”, Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: <https://realtechwater.com/parameters/dissolved-organic-carbon/>
- [46] A. Molleda, A. López, M. Cuartas, and A. Lobo, “Release of pollutants in MBT landfills: Laboratory versus field,” *Chemosphere*, vol. 249, 2020, doi:

## **Popis slika**

Slika 1 Svojstva koja otpad čine opasnim [7].....	3
Slika 2 Primjer aerobnog biorektorskog odlagališta [9] .....	4
Slika 3 Primjer anaerobnog biorektorskog odlagališta [9].....	5
Slika 4 Slikovni opis testa izluživanja (eng. Leaching test) [21].....	10
Slika 5 Plan gospodarenja otpadom za CGO Marišćina [26] .....	13
Slika 6 Shematski prikaz tehnoloških procesa i ključnih brojeva [28].....	16
Slika 7 Popis građevina i tehnoloških procesa unutar CGO-a Marišćina [27] .....	19
Slika 8 Shematski prikaz tehnoloških procesa CGO Bikarac [35] .....	23
Slika 9 Prikaz građevina i tehnoloških jedinica, te mjernih mjesta emisija .....	27
Slika 10 Uzorci otpada iz CGO Marišćina i Bikarac prije četvrtanja.....	28
Slika 11 Dobivanje reprezentativnog uzorka.....	29
Slika 12 Peć za sušenje uzoraka .....	30
Slika 13 Priprema uzoraka za test izluživanja .....	31
Slika 14 Rotacijski kotač .....	32
Slika 15 Proces filtriranja uzorka.....	33

## **Popis tablica**

Tablica 1 granične vrijednosti parametara eluata za odlagalište neopasnog otpada [3]... 7	7
Tablica 2 Centri za gospodarenje otpadom prikazani prema statusu realizacije [10].....	11
Tablica 3 Procesi i kapaciteti procesa po postupcima [28].....	15
Tablica 4 Procesi i kapaciteti procesa po postupcima [35].....	21
Tablica 5 Vaganje uzoraka CGO „Marišćina“.....	31
Tablica 6 Vaganje uzoraka CGO „Bikarac“ .....	31
Tablica 7 Prikaz graničnih vrijednosti parametara eluata.....	33
Tablica 7 Usporedba dobivenih vrijednosti sa propisanim graničnim vrijednostima za neopasan otpad „CGO Marišćina“ .....	36
Tablica 8 Usporedba dobivenih vrijednosti sa propisanim graničnim vrijednostima za neopasan otpad „CGO Bikarac“ .....	37

## **Popis korištenih skraćenica**

CGO- Centar gospodarenja otpadom

MBO- Mehaničko biološka obrada

BMO- Biološko mehanička obrada

MKO- Miješani komunalni otpad

HRN- Hrvatske norme

CLO- Compost like output

MBT- Mechanical biological treatment

L/S- liquid/solid ratio

T/K- omjer tekućeg/krutog

GIO- Gorivo iz otpada

UV- Ultraljubičasto svjetlo

UV-VIS- Ultraljubičasta spektroskopija