

# Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Kaštijun

---

Fugaš, Lorena

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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:130:313349>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LORENA FUGAŠ

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG  
OTPADA CGO KAŠTIJUN

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva za  
\_\_\_\_\_ u \_\_\_\_\_ sati.

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred ispitnim  
povjerenstvom u Varaždinu.

Varaždin, \_\_\_\_\_.

Predsjednik ispitnog  
povjerenstva:  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

#### Članovi povjerenstva

1)	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović	
2)	Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić	
3)	Dr.sc. Vitomir Premur	

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG OTPADA  
CGO KAŠTIJUN

KANDIDAT:

MENTOR:

LORENA FUGAŠ

izv.prof.dr.sc. IGOR PETROVIĆ



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: LORENA FUGAŠ

Matični broj: 2788 - 2017./2018.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG OTPADA  
CGO KAŠTIJUN

Rad treba sadržati: 1. Uvod

2. Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun

3. Materijal i metode

4. Rezultati


5. Zaključak

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.


Zadatak zadan: 18.03.2020.

Rok predaje: 03.07.2020.

Mentor:

  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

Predsjednik Odbora za nastavu:

  
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

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

### **Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Kaštijun**

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv.prof.dr.sc. Igora Petrovića**.

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, 18. 06. 2020.

Lorena Fugaš

---

(Ime i prezime)



---

(Vlastoručni potpis)

## IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

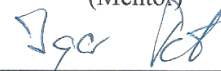
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

### **Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Kaštijun**

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

U Varaždinu, 18.06.2020.

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović  
(Mentor)



---

(Vlastoručni potpis)

## **Sažetak:**

Lorena Fugaš

Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Kaštijun

Komunalni otpad vrlo je raznolika kategorija otpada. Može ovisiti o različitim čimbenicima poput tipa naselja, razine komunalne infrastrukture, standarda stanovništva, turističke sezone i slično. Na raznolikost komunalnog otpada utječe i sastav otpada. U komunalnom otpadu nalazi se organski i anorganski otpad, ali moguć je i opasan otpad. Organski otpad čine otpadci od hrane, papir i karton, plastična ambalaža, tekstil, koža, itd. Anorganski otpad čine staklo i razni ambalažni otpad.

Komunalni se otpad, u CGO Kaštijun, podvrgava raznim postupcima obrade, a jedna od izlaznih frakcija jest sitna frakcija ostatnog otpada koja je pogodna za odlaganje na bioreaktorsko odlagalište otpada.

Cilj ovog rada bio je utvrditi osnovne fizikalne parametre sitne frakcije otpada s CGO Kaštijun. Provedenim analizama pokazalo se da u uzetom uzorku sitne frakcije otpada najviše prevladava plastika i biorazgradivi otpad, te da nije pronađen opasni otpad. S inženjerskog aspekta može se istaknuti da će se zbog visokog udjela organske tvari mehanički parametri otpada s vremenom mijenjati, kao i da se mogu očekivati značajna slijeganja u tijelu odlagališta. Nadalje, zbog visokog udjela vlaknastih komponenata vjerojatno je primjenljiv Kolsch-ov model posmične čvrstoće otpada.

**Ključne riječi:** komunalni otpad, sadržaj sitne frakcije, CGO Kaštijun, gospodarenje otpadom



**Abstract:**

Lorena Fugaš

The average composition of the fine fraction of municipal solid waste from WMC Kaštijun

Municipal waste is a highly diverse category of waste. It can depend on various factors such as a settlement type, the level of communal infrastructure, the living standard of population, a tourist season etc. The diversity of municipal waste is also affected by the composition of waste. Municipal waste mostly contains organic and inorganic waste, but hazardous waste can also be found. Organic waste consists of food waste, paper and cardboard, plastic packaging, textiles, leather etc. Inorganic waste consists of glass and various packaging waste.

In WMC Kaštijun, municipal waste is subjected to various treatment procedures and one of the output fractions is a small fraction of residual waste which is suitable for disposal in a bioreactor landfill.

The aim of this paper is to determine the basic physical parameters of the fine fraction of waste from WMC Kaštijun. The conducted analysis shows that in the sample taken from small waste fractions plastic and biodegradable waste predominate and that there is no hazardous waste. From an engineering point of view, it can be pointed out that due to the high content of organic matter, the mechanical parameters of the waste will change over time. Also, significant subsidence in the body of the landfill can be expected. Due to the high proportion of fibrous components, Kolsch's shear strength model of waste is probably applicable.

**Keywords:** municipal solid waste, composition of fine fraction, WMC Kaštijun, waste management

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
1.1. Podrijetlo i količine otpada .....	4
1.2. Stopa recikliranja komunalnog otpada.....	5
2. Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun .....	6
2.1. Postupci gospodarenja otpadom, pripadajući tehnološki procesi, vrste i količine otpada .....	9
2.2. Svrha i metode obavljanja tehnoloških procesa .....	13
2.3. Obveze praćenja emisija .....	14
3. Materijal i metode.....	15
3.1. Uzorkovanje sitne frakcije otpada .....	15
3.2. Određivanje vlažnosti.....	16
3.3. Razdvajanje uzoraka po sastavnim komponentama .....	17
3.4. Određivanje udjela organske tvari .....	17
3.5. Razvrstavanje razdvojenih komponenti otpada prema obliku na 1D, 2D i 3D .....	19
3.6. Granulometrijska analiza.....	20
4. Rezultati.....	21
4.1. Određivanje vlažnosti.....	21
4.2. Razdvajanje uzoraka po sastavnim komponentama .....	22
4.3. Određivanje udjela organske tvari .....	24
4.4. Razvrstavanje razdvojenih komponenti otpada prema obliku na 1D, 2D i 3D .....	25
4.5. Granulometrijska analiza.....	26
5. Zaključak .....	27
6. Zahvala .....	28
7. Popis literature .....	28
8. Popis slika .....	29
9. Popis tablica .....	29
10. Popis i objašnjenje kratica korištenih u tekstu.....	30

# 1. Uvod

Tema ovog završnog rada vezana je za utvrđivanje prosječnog udjela pojedinih komponenti otpada (npr. plastika, papir, staklo, metal...) na uzorcima otpada iz Centra za gospodarenje otpadom (CGO) Kaštijun.

Centar za gospodarenje otpadom sklop je više međusobno funkcionalno i/ili tehnološki povezanih građevina i uređaja za obradu komunalnog otpada.

Otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Posjednik otpada je proizvođač ili pravna i fizička osoba koja je u posjedu otpada.

Komunalni otpad je otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva. [1]

Miješani komunalni otpad je otpad iz kućanstva i otpad iz trgovina, industrije i ustanova koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, iz kojeg posebnim postupkom nisu izdvojeni pojedini materijali (kao što je papir, staklo i dr.) te je u Katalogu otpada označen kao 20 03 01. [1]

Gospodarenje otpadom skup je djelatnosti sakupljanja, prijevoza, uporabe i druge obrade otpada, uključujući nadzor nad tim postupcima te nadzor i mjere koje se provode na lokacijama nakon zbrinjavanja otpada, te radnje koje poduzimaju trgovac otpadom ili posrednik (Slika 1.1.). [1]



Slika 1.1. Sustav gospodarenja otpadom [3]

Pojam kružnog gospodarstva ili cirkularne ekonomije (zeleno gospodarstvo) predstavlja model proizvodnje i potrošnje koji uključuje dijeljenje, posudbu, ponovno korištenje, popravljanje, obnavljanje i reciklažu postojećih proizvoda i materijala u što duljem vremenskom periodu kako bi se stvorila dodatna, duža vrijednost i dulji životni vijek proizvoda što dovodi do smanjenja količina otpada. (Slika1.2.). Cilj je koristiti materijale u kružnom procesu na način da otpad u jednoj industriji postaje sirovina u drugoj industriji. [9][2]

Europska komisija usvojila je novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo koji najavljuje inicijative tijekom cijelog životnog ciklusa određenog proizvoda. Inicijative su usmjerene na dizajn proizvoda, upotrebu u procesu kružne ekonomije, poticanje održive potrošnje i zadržavanje korištenih resursa u gospodarstvu EU što duže. [7]



Slika 1.2. Shema kružnog gospodarstva [9]

## 1.1. Podrijetlo i količine otpada

U Republici Hrvatskoj, trenutno stanje gospodarenja otpadom je predstavljeno dokumentom koji se zove Plan gospodarenja otpadom za vremenski period od 2017. do 2022. godine [10]. Ovaj dokument sadrži akcijski plan s ciljevima i mjerama za daljnji razvoj gospodarenja otpadom zaključno sa 2022. godinom, uključujući trenutne ciljeve određene Akcijskim planom za kružno gospodarstvo EU [6]. Prema ovome dokumentu, 2014. godine u RH zabilježeno je 3,7 milijuna tona proizvedenog otpada što uključuje komunalni i industrijski otpad. Od ukupne količine otpada, neopasan otpad iznosio je 97%, a opasni otpad preostalih 3%.

Gledajući na podrijetlo proizvedenog otpada, najveći dio otpada čini kruti komunalni otpad, odnosno otpad iz kućanstava što iznosi 31%. Kada se gleda na poslovne i industrijske aktivnosti, najveće količine otpada dolaze iz uslužnog i građevinskog sektora, svaki s udjelom od 17%. Slijede ih prerađivačka industrija sa udjelom od 12% te aktivnosti skupljanja, obrade, zbrinjavanja i oporabe otpada s udjelom od 11%. Preostale poslovne aktivnosti čine 12% ukupne količine proizvedenog otpada. Bitna stavka jest činjenica da su podaci o prijavljenim količinama proizvedenog otpada u određenim sektorima još uvijek nepotpuni, poput podataka iz sektora građevine i poljoprivrede. Osim navedenog, dio ostatka, poput otpada iz poljoprivrede, šumarstva, eksploatacije mineralnih sirovina, se ne smatra otpadom i iz tog razloga se ne prijavljuje. Ukupna količina biorazgradivog komunalnog otpada u 2018. godini iznosila je 1 109 011 tona. [12]

Za usporedbu, na Slici 1.3., prikazane su ukupne količine proizvedenog komunalnog otpada u razdoblju od 1995. do 2018. godine. [12]



Slika 1.3. Godišnje količine nastalog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u vremenskom razdoblju od 1995. do 2018. godine. [12]

Kada se promatraju mjesta odakle potječu količine komunalnog otpada, bitno je uočiti razliku između kontinentalnog i priobalnog dijela, pogotovo zbog utjecaja turizma. [6]

## 1.2. Stopa recikliranja komunalnog otpada

Stopa recikliranja komunalnog otpada u RH 2015. godina bila je 18%, a 2016. godine bila je 21%. U RH nije bilo primjene energetske uporabe ili spaljivanja komunalnog otpada, što znači da je većina komunalnog otpada tj. 79% u 2016. godini odlagana na odlagalištima bez predobrade. Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/2013) stopa recikliranja u RH, u periodu od 2017. do 2022. godine mora doseći 50% recikliranog komunalnog otpada. [6]

## 2. Županijski centar za gospodarenje otpadom Kaštijun

Županijski centar za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Kaštijun, osnovan je 2007. godine i nalazi se 5 kilometara jugoistočno od grada Pule. Lokacija je smještena u slabo naseljenom priobalnom ravničarskom predjelu na blagoj uzvisini od 47 mnm, površine 16,4 ha (164 000 m<sup>2</sup>) i nepravilnog je oblika. Centar je u vlasništvu RH, a pravo na građenje ima tvrtka Kaštijun d.o.o. Pula. Izgrađen je sukladno Prostornom planu Istarske županije (Sl. novine IŽ 02/02, 01/05, 04/05-pročišćeni tekst, 10/08, 7/10, 13/12, 9/16 i 14/16-pročišćeni tekst) i Prostornom planu uređenja grada Pule (Sl. novine br. 12/06, 8/14-pročišćeni tekst, 10/15-pročišćeni tekst, 5/16, 8/16-pročišćeni tekst). Nalazi se pored lokacije postojećeg odlagališta komunalnog otpada Kaštijun, pored grada Pule, koje se, otvaranjem Centra, sanira i prenamjenjuje tj. zatvara. Putem pretovarnih stanica, Centar prihvaća ostatni komunalni otpad (otpad nakon primarne reciklaže) sa aglomeracija Buzet, Labin, Pazin, Poreč, Rovinj i Umag koji su prikupili isporučitelji javne usluge sakupljanja komunalnog otpada. Komunalni se otpad, zatim, odvozi posebnim kamionima na portu Centra. Također, Centar od građana zaprima odvojeno prikupljen otpad iz komunalnog otpada koji je nastao u kućanstvima i građevini te neopasan otpad od pravnih subjekata registriranih za sakupljanje i prijevoz otpada. [4]

ŽCGO Kaštijun projektiran je i izgrađen u skladu s hrvatskim i EU propisima i direktivama, vrstama i količinama otpada koje je potrebno obraditi te aktivnostima koje se odvijaju u Centru. U Centru se odvijaju sljedeći procesi: preuzimanje i prihvrat prikupljenog komunalnog otpada; biološka obrada; mehanička obrada; biološka obrada na biorektorskoj plohi i obrada otpadnih voda. [5]

Proces se odvija na sljedeći način:

1. Prihvrat otpada – odvija se na samom ulazu u Centar gdje se otpad važe na elektroničkoj vagi i bilježe se sljedeće informacije: registracija vozila, datum i vrijeme dolaska vozila, naziv tvrtke koja obavlja djelatnost sakupljanja i dovoza otpada, adresa te tvrtke, težina vozila dobivena vaganjem.



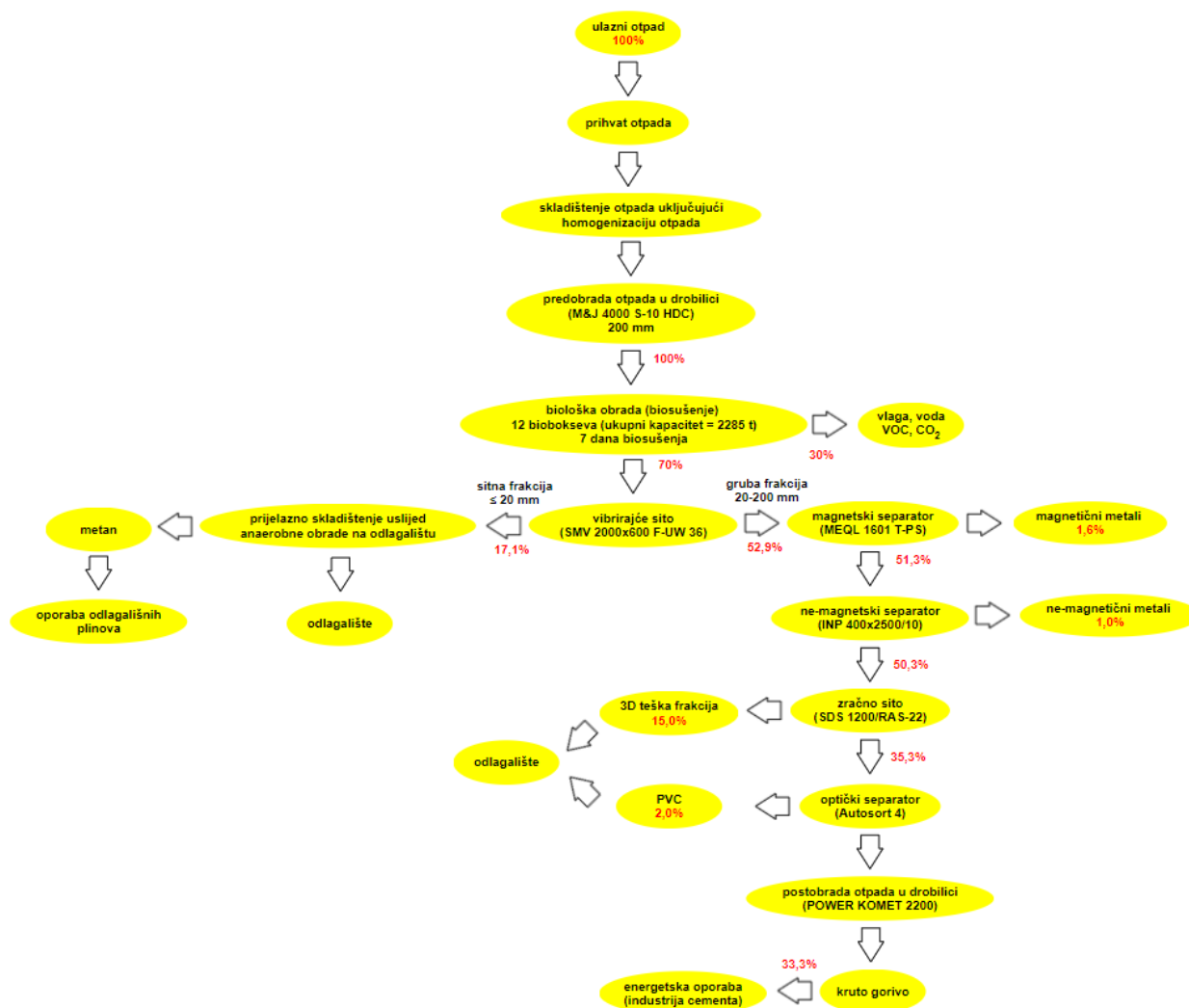
2. Skladištenje otpada – nakon provjere na ulazu, kamioni sa miješanim komunalnim otpadom usmjeravaju se u prihvatnu jamu MBO postrojenja, koja je projektirana tako da može zaprimiti trodnevni nominalni kapacitet.
3. Predobrada prije biološke obrade – odvija se na istom mjestu gdje je prihvatna jama, ovaj proces uključuje drobljenje zaprimljenog otpada prije biološke obrade. Iz prihvatne jame, otpad se dizalicom prebacuje u drobilicu gdje se rezačem na pokretnom mostu drobi do veličine 200 mm i pada ispod drobilice i pokretnog mosta u privremeni bunker.
4. Biološka obrada – postrojenje za biološku obradu (biosušenje) smješteno je na istom mjestu kao i odjel za prihvrat i predobradu otpada prije biološke obrade. Ciljevi biosušenja su:
  1. Stabilizacija i higijenzacija organskih tvari
  2. Uklanjanje vode
  3. Povećanje kalorijske vrijednosti otpada.

Postrojenje za sušenje koristi dvanaest bioreaktora, a utovar i istovar su automatizirani pomoću dizalice. Usitnjeni otpad koji se treba podvrgnuti procesu biosušenja dolazi iz privremenog bunkera. Po završetku biosušenja, bioosušeni materijal iz svakog reaktora transportira se na valjkasti transporter koji dozira otpad u priključeni odjeljak za daljnju mehaničku obradu.

5. Predpostupci/ obrada prije odlaganja/ uporaba – u mehaničkom odjeljku koriste se brojni uređaji za odvajanje različitih frakcija ulaznog otpada, kao što su gorivo iz otpada (GIO), metali, plastika, teška interferirajuća frakcija i tzv. metanogena frakcija koja je prikladna za dobivanje bioplina.
6. Skladištenje – nakon procesa mehaničko biološke obrade, razne frakcije tj. proizvodi za preradu, pohranjuju se odvojeno prema njihovim svojstvima i vrsti na lokaciji namijenjenoj za mehaničku obradu.
7. Odlaganje komposta – osušeni miješani komunalni otpad nakon podvrgavanja procesu u MBO postrojenju odlaže se na odlagalištu predviđenom za zbrinjavanje metanogene frakcije tj. komposta. U stabiliziranom stanju, ova frakcija prolazi kroz pohranu prije nego što se konačno anaerobno razgradi na odlagalištu.

8. Dobivanje energije iz krutog goriva – proizvedeno kruto gorivo koristi se u industriji cementa kao alternativno gorivo s kontrolom kvalitete.
9. Vrijedni izdvojeni metali – magnetični i nemagnetični metali predaju se ovlaštenom sakupljaču na recikliranje. [6]

Slika 2.1. shematski prikazuje proces obrade otpada s uravnoteženom masom MBO postrojenja u Centru.



Slika 2.1. Višestupanjska shema obrade otpada s uravnoteženom masom MBO postrojenja u ŽCGO Kaštijun. [6]

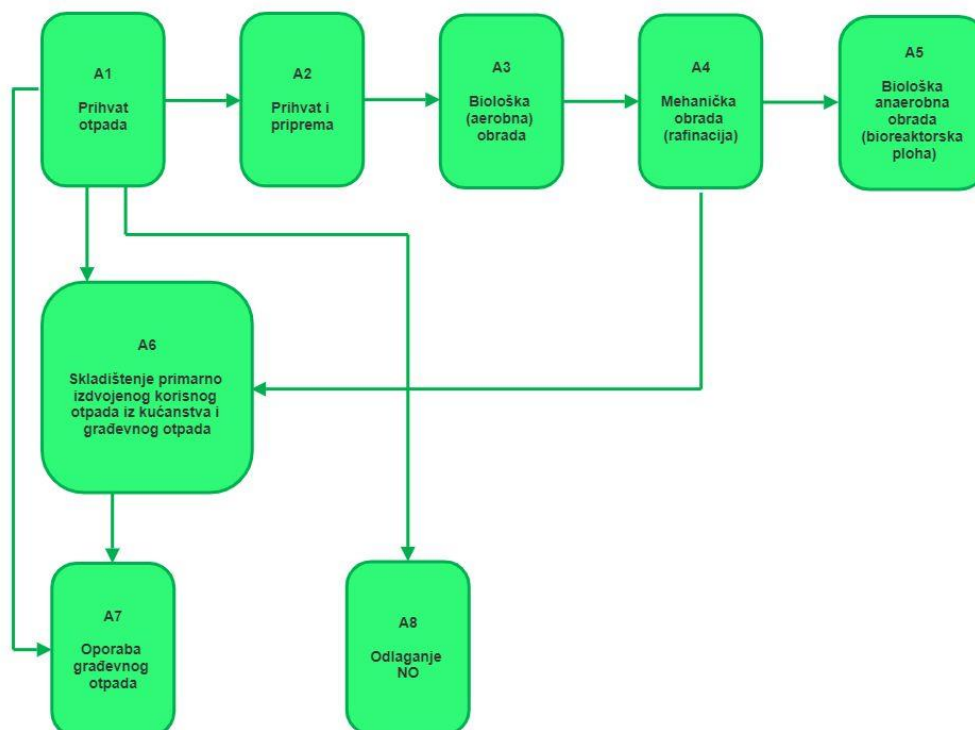
## 2.1. Postupci gospodarenja otpadom, pripadajući tehnološki procesi, vrste i količine otpada

U Centru za gospodarenje otpadom Kaštijun odvija se ukupno pet postupaka gospodarenja otpadom. To su postupci oporabe (R) i zbrinjavanja (D) podijeljeni na osam tehnoloških procesa (A). Na Slici 2.2. vidljiv je prostorni razmještaj tehnoloških procesa koji se odvijaju u Centru. To su: A1 – prihvat otpada, A2 – usitnjavanje otpada, A3 – biološka obrada (aerobna), A4 – mehanička rafinacija, A5 – biološka obrada (anaerobna), A6 – reciklažno dvorište, A7 – obrada građevinskog otpada i A8 – odlagalište.



Slika 2.2. Nacrt prostornog razmještaja tehnoloških procesa [4]

Na Slici 2.3. shematski je prikaz prethodno navedenih tehnoloških procesa koji se odvijaju u Centru.



Slika 2.3. Shema tehnoloških procesa [4]

Prvi postupak je tehnološki proces prijama otpada. Proces se označava oznakom A1, no postupak nema oznaku jer ne spada u postupke oporabe (R) ili zbrinjavanja (D). U ovom procesu dovozi se ili razmjenjuje otpad s pretovarnih stanica isporučitelja usluge sakupljanja komunalnog otpada, odvija se direktni dovoz sakupljenog komunalnog i neopasnog otpada, uz to i prihvata odvojeno prikupljenog otpada koji nastaje u kućanstvu.

Sljedeći procesi su: proces prijama i pripreme, odnosno, usitnjavanja otpada (oznaka A2), biološka ili aerobna obrada (oznaka A3), mehanička obrada ili refinacija (oznaka A4) i biološka anaerobna obrada (bioreaktorska ploha) (oznaka A5). navedeni procesi spadaju u procese oporabe i označavaju se sa oznakom R3. Postupci oporabe oznake R3 uključuju recikliranje ili obnavljanje otpadnih organskih

tvori koje nisu u upotrebi kao otapala (uključujući kompostiranje i druge procese biološke pretvorbe). Cilj je oporabiti biorazgradive i ne-biorazgradive organske tvari, a mogu uključivati: sortiranje i recikliranje otpadnog papira; sortiranje, preradu i recikliranje plastičnog otpada; fermentaciju biorazgradivog otpada za proizvodnju bioplina.

Treći postupak je tehnološki proces oznake procesa A6, odnosno skladištenje primarno izdvojenog otpada iz kućanstva i građevnog otpada. Ovaj proces spada u postupke uporabe R13 koji uključuju skladištenje otpada prije bilo kojeg od postupaka uporabe R1 do R12 (osim privremenog skladištenja otpada na mjestu nastanka, prije sakupljanja), a obuhvaća i privremeno skladištenje otpada koji će biti oporabljjen.

Četvrti tehnološki proces oznake A7, jest uporaba građevnog otpada čiji kapacitet procesa iznosi 180 000 t/god. Ovaj proces spada u postupke uporabe R5 koji označava recikliranje ili obnavljanje drugih otpadnih materijala, a obuhvaća postupke uporabe anorganskog, nemetalnog otpada koji nije pokriven postupcima R6, R8 i R10. Količinski je obuhvaćen znatan dio i široki raspon vrsta otpada. Najznačajniji su otpad iz termičkih procesa (troska, pepeo, prašina), otpad od građenja i rušenja, otpad iz rudarstva i vađenja mineralnih sirovina. Procesi obrade su različiti, kao na primjer: sortiranje i recikliranje staklenog otpada; prerada i ponovno korištenje otpada od građenja i rušenja; korištenje kao sirovine u industrijskim procesima; u uređajima za miješanje asfalta; korištenje za podzemna skladišta u rudnicima...

Peti i posljednji tehnološki proces oznake A8, jest odlaganje neopasnog otpada, a kapacitet procesa iznosi 240 000 m<sup>3</sup>. Dopuštena količina svih vrsta otpada koji se u jednom trenutku mogu nalaziti na lokaciji gospodarenja otpadom iznosi 7 486 tona i unaprijed je određena i propisana. Ovaj proces spada u postupke zbrinjavanja i ima oznaku D1 što znači da se otpad odlaže na tlu, odnosno odlagalištu, a obuhvaća nadzemna odlagališta za konačno zbrinjavanje otpada. Uključuje i odlagališta inertnog i neopasnog otpada, te ostale oblike odlaganja poput jalovišta, gomile otpadnih minerala i stijena u ekstraktivnoj industriji. [4][8]

Slika 2.4. prikazuje mapu ŽCGO Kaštijun na kojoj je vidljiv prostorni razmještaj svih sastavnica Centra gdje se odvijaju prethodno opisani procesi te upravna zgrada i trafostanica.



Slika 2.4. Mapa ŽCGO Kaštijun [5]

## 2.2. Svrha i metode obavljanja tehnoloških procesa

Svaki postupak koji se odvija u Centru ima svoju svrhu. Postupak prihvata otpada odvija se u cilju pripreme komunalnog otpada (KO) prije nego što se isti oporabljuje u centru. Komunalni otpad se kamionima Centra transportira iz pretovarnih stanica sa aglomeracija Buzet, Labin, Pazin, Poreč, Rovinj i Umag, dok se otpad sa aglomeracije Pula direktno se dovozi u Centar tzv. kamionima „smećarima“. Navedeni kamioni imaju karakteristiku da se onemogućí rasipanje i prolijevanje, tj. ispuštanje otpada u okoliš i širenje prašine i neugodnih mirisa. Centar, također, prihvaća i neopasni otpad (NO) kojega pravne registrirane osobe za ovakvu djelatnost dovoze vlastitim prijevoznim sredstvima. Mjesto na kojem se prihvaća otpad jest porta na ulazu, gdje se nalaze dvije vage, na kojima se prilikom preuzimanja vrši kontrola, provjera i vaganje otpada. Nakon vaganja, kontrole i provjere otpad se, ovisno o vrsti, upućuje na dalju obradu i odlaganje. Postupci oporabe oznake R3, nakon prihvata, uključuju istovar u prihvatnu jamu postrojenja za mehaničko biološku obradu (MBO) gdje se otpad privremeno skladišti, podvrgava usitnjavanju, a zatim se provodi aerobna biološka digestija u za to posebno namijenjenim boksevima. Predobradom (usitnjavanjem i homogenizacijom) se osigurava optimalniji proces obrade. Otpad se suši aerobnom biološkom digestijom kako bi se stabilizirao biorazgradivi otpad, koji se dalje odvozi na anaerobnu obradu u bioreaktorskoj kazeti. Ista se, nakon što se potpuno napuni, zatvara brtvenim slojem. Zatim se, uz dodavanjem vode aktivira proces razgradnje organske tvari gdje se dobiva bioplin. Bioplin je zapravo odlagališni plin, koji se sustavom otplinjavanja odvodi u energetska postrojenja gdje se koristi za proizvodnju električne energije. Skladištenje, postupak oznake R13, je postupak privremenog skladištenja otpada prije postupaka obrade. Oporaba, postupak oznake R5, je postupak obrade građevnog otpada. Konačno zbrinjavanje otpada jest posljednji postupak, oznake D1. [4]

### 2.3. Obveze praćenja emisija

Sukladno tehnološkim procesima koji se odvijaju u Centru za koji je izdano važeće rješenje o okolišnoj dozvoli i Prilogu IV. Pravilnika o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15), nužno je provoditi praćenje emisija u okoliš i praćenje stanja okoliša. Potrebno je kontrolirati meteorološke parametre, emisije tvari u zrak (odlagališni plin), procjedne, površinske, oborinske i podzemne vode i mjere kontrole stabilnosti tijela odlagališta te mjere sprječavanja i smanjenja onečišćenja okoliša. [4]



### 3. Materijal i metode

#### 3.1. Uzorkovanje sitne frakcije otpada

Uzorci sitne frakcije ( $< 25 \text{ mm}$ ) komunalnog otpada uzeti su iz Centra za gospodarenje otpadom Kaštijun. Uzorci su uzeti u ponedjeljak, 4. veljače 2019. godine, u 15 sati. Po preuzimanju isti su zapakirani u plastične vreće, a zatim pohranjeni u vakuumske vreće iz kojih je priručnom pumpom isisan zrak kako bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa i proces biorazgradnje. (Slika 3.1.)



Slika 3.1.: Uzorak sitne frakcije komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun u Laboratoriju za inženjerstvo okoliša

Po dolasku u laboratorij Fakulteta, uzorci preuzeti u ŽCGO Kaštijun stavljeni su na sušenje u sušioniku na  $60^{\circ}\text{C}$  u trajanju od 24 sata. (Slika 3.2.)



Slika 3.2.: Uzorci sitne frakcije komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun u sušioniku

### 3.2. Određivanje vlažnosti

Vlažnost uzoraka određena je prema ASTM D 2216 standardu za određivanje vlažnosti tla. Uzorci su izvagani prije sušenja i nakon sušenja u sušioniku u trajanju od 24 sata na 60°C. Vaganjem prije i nakon sušenja, dobivena je razlika u masi koja pokazuje količinu vode koja je bila vezana u uzorku.

### 3.3. Razdvajanje uzoraka po sastavnim komponentama

Kako bi se odredio sastav otpada, ručno su izdvojene pojedine sastavne komponente (Slika 3.3.) te je vaganjem određen maseni udio pojedinih komponenti u otpadu.



Slika 3.3.: Razdvajanje uzorka komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun na komponente

### 3.4. Određivanje udjela organske tvari

Udio organske tvari u uzorku određen je prema ASTM D 2974 standardu za određivanje vlažnosti, udjela pepela i organske tvari treseta i drugog organskog tla. Pripremljen je reprezentativni uzorak otpada sa srednjim vrijednostima udjela pojedinih komponenti u otpadu (Slika 3.4.), a udio organske tvari određen je za svaku pojedinu komponentu zasebno. Komponente uzorka vagane su prije i nakon žarenja u periodu od 24 sata u peći za žarenje na 440°C (Slika 3.5.).



Slika 3.4.: Komponente reprezentativnog uzorka prije i nakon žarenja



Slika 3.5.: Uzorak u peći za žarenje



### 3.5. Razvrstavanje razdvojenih komponenti otpada prema obliku na 1D, 2D i 3D

Za potrebe razvrstavanja komponenti otpada prema obliku korištene su kategorije definirane u [11]. Obzirom na oblik i prevladavajuće dimenzije (dužina, širina, visina), čestice otpada podijeljene su na kategorije 1D, 2D i 3D (Slika 3.6.).



Slika 3.6.: Komponente uzorka iz ŽCGO Kaštijun razdvojene prema obliku (s lijeva na desno: metali, papir i karton, drvo)

### 3.6. Granulometrijska analiza

Određivanje granulometrijskog sastava izvedeno je prema ASTM D 422 standardu za analizu veličina čestica tla. Uzorci otpada su, prije provedbe ispitivanja, sušeni u sušioniku u trajanju od 24 sata na 60°C. Sijanje uzoraka je izvršeno pomoću uređaja za trešnju i sita različitih otvora okaca. Za sijanje uzoraka korištena su sita otvora 100 mm, 75 mm, 50 mm, 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm i 0,5 mm. (Slika 3.7.).



Slika 3.7.: Sita i prosijani uzorak iz ŽCGO Kaštijun

## 4. Rezultati

### 4.1. Određivanje vlažnosti

Razlika u masi, dobivena vaganjem uzorka prije i nakon sušenja u sušioniku, pokazuje količinu vode koja je bila vezana u uzorku. Dobiveni rezultati prikazani su Tablicom 1. Iz rezultata je vidljivo kako je vlažnost uzoraka u rasponu od 20,48% do 6,33%. Dakle, srednja vrijednost vlažnosti sitne frakcije komunalnog otpada s ŽCGO Kaštijun iznosi 13,65%.

Napomena: Prilikom izračuna srednje vrijednosti, zanemarene su najviša i najniža dobivena vrijednost.

Tablica 1.: Vlažnost uzoraka komunalnog otpada sitne frakcije iz ŽCGO Kaštijun.

Broj uzorka	w	w
	[%]	Srednja vrijednost [%]
1	20,48	13,65
2	14,02	
3	13,42	
4	18,00	
5	14,67	
6	13,86	
7	8,50	
8	13,94	
9	15,93	
10	11,88	
11	12,64	
12	6,33	
13	13,27	

## 4.2. Razdvajanje uzoraka po sastavnim komponentama

Izdvojenim sastavnim komponentama uzorka, vaganjem je određen maseni udio pojedinih komponenti u otpadu. Uz dobivene rezultate, dodatno je izračunat i prikazan ukupni maseni udio biorazgradivih komponenti u otpadu. Rezultati ispitivanja prikazani su u Tablicama 2., 3. i 4.

U Tablici 2. za prvi uzorak, najznačajniji je maseni udio plastike koji iznosi 44,82% što govori da je plastični otpad glavna sastavnica u ukupnoj količini ovog uzorka. U masenom udjelu još se ističu metali sa 10,43% masenog udjela i papir i karton sa 13,73%. Značajan postotak od 16,3% otpada na ostali otpad. Kod masenog udjela biorazgradivog dijela uzorka, najznačajniji su papir i karton u iznosu od 13,73%.

Tablica 2.: Prvi uzorak

Komponenta	Maseni udio	Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	44,82	
Tekstil i odjeća	4,99	4,99
Staklo	5,89	
Metali	10,43	
Papir i karton	13,73	13,73
Drvo	1,39	1,39
Kosti i koža	0,03	0,03
Kamenje	1,10	
Keramika	0,62	
Guma	0,00	
Kuhinjski otpad	0,97	0,97
Ostali otpad	16,03	5,83
<b>Ukupno</b>	<b>100,00</b>	<b>26,94</b>

U Tablici 3., za drugi uzorak, plastika također zauzima najznačajniji maseni udio u iznosu od 44,85%. U ovom uzorku, značajno je manje metala, no papir i karton se ističu i u ovom uzorku sa 19,65%, kao i ostali otpad (prašina, zemlja, pijesak, nedefinirano...) sa 26,69%. U masenom udjelu biorazgradivog dijela uzorka, i dalje su glavna sastavnica papir i karton sa 19,65%.



Tablica 3.: Drugi uzorak

Komponenta	Maseni udio	Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	35,02	
Tekstil i odjeća	3,47	3,47
Staklo	5,27	
Metali	2,87	
Papir i karton	19,65	19,65
Drvo	0,60	0,60
Kosti i koža	1,45	1,45
Kamenje	0,73	
Keramika	1,80	
Guma	0,03	
Kuhinjski otpad	2,43	2,43
Ostali otpad	26,69	9,71
<b>Ukupno</b>	<b>100,00</b>	<b>37,31</b>

Tablica 4. prikazuje srednju vrijednost za prethodna dva uzorka. Srednja vrijednost potvrđuje kako je plastika glavna sastavnica otpada u ispitivanom uzorku i iznosi 39,92%. Bitna je i količina biorazgradivog dijela otpada papira i kartona u iznosu od 16,69%. Značajniji postotak odnosi se na ostali otpad i iznosi 21,36%.

Tablica 4.: Srednja vrijednost

Komponenta	Maseni udio	Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	39,92	
Tekstil i odjeća	4,23	4,23
Staklo	5,58	
Metali	6,65	
Papir i karton	16,69	16,69
Drvo	1,00	1,00
Kosti i koža	0,74	0,74
Kamenje	0,91	
Keramika	1,21	
Guma	0,02	
Kuhinjski otpad	1,70	1,70
Ostali otpad	21,36	
<b>Ukupno</b>	<b>100,00</b>	<b>32,13</b>

### 4.3. Određivanje udjela organske tvari

Razlika u masi pokazuje udio organske tvari po pojedinim komponentama u reprezentativnom uzorku komunalnog otpada. Rezultati su prikazani u Tablici 5. Najveći udio organske tvari odnosi se na drvo (98,63%), zatim na kuhinjski otpad (97,98%), slijedi plastika (94,74%), tekstil (88,72%), papir (79,04%), kosti (71,71%) itd. Značajan udio organske tvari nalazi se i u nerazvrstanom otpadu (81,19%). Ukupni udio organske tvari u uzorku iznosi 76%.

Tablica 5: Udio organske tvari u sitnoj frakciji uzorka iz ŽCGO Kaštijun

Komponenta	Udio organske tvari
	[%]
Plastika	94,74
Tekstil	88,72
Staklo	0,75
Metali	7,75
Papir	79,04
Drvo	98,63
Kosti	71,71
Kamenje	4,97
Keramika	3,08
Guma	48,31
Kuhinjski	97,98
Ostalo	81,19

#### 4.4. Razvrstavanje razdvojenih komponenti otpada prema obliku na 1D, 2D i 3D

Iz Tablice 6., vidljivo je da je, za slučaj razvrstavanja razdvojenih komponenti otpada prema 1D, 2D i 3D obliku čestica, najzastupljenija komponenta otpada plastika sa 71,43%, 37,86% odnosno 42,38% masenog udjela s obzirom na ukupnu masu 1D, 2D i 3D čestica svih komponenti otpada zajedno.

Tablica 6.: 1D, 2D, 3D distribucija komponenti otpada

				Maseni udio s obzirom na ukupnu masu izdvojenih 1D, 2D, 3D komponenata			Maseni udio s obzirom na ukupnu masu izdvojene komponente		
	1 D	2 D	3 D	1 D	2 D	3 D	1 D	2 D	3 D
	g	g	g	%	%	%	%	%	%
<b>Plastika</b>	20	1393	1081	71.43	37.86	42.38	0.80	55.85	43.34
<b>Tekstil i odjeća</b>	1	138	125	3.57	3.75	4.90	0.38	52.27	47.35
<b>Staklo</b>	0	221	128	0.00	6.01	5.02	0.00	63.32	36.68
<b>Metali</b>	0	4	409	0.00	0.11	16.03	0.00	0.97	99.03
<b>Papir i karton</b>	0	711	336	0.00	19.33	13.17	0.00	67.91	32.09
<b>Drvo</b>	3	29	30	10.71	0.79	1.18	4.84	46.77	48.39
<b>Kosti i koža</b>	1	3	43	3.57	0.08	1.69	2.13	6.38	91.49
<b>Kamenje</b>	0	0	57	0.00	0.00	2.23	0.00	0.00	100.00
<b>Keramika</b>	0	76	0	0.00	2.07	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>Guma</b>	0	1	0	0.00	0.03	0.00	0.00	100.00	0.00
<b>Kuhinjski otpad</b>	3	16	88	10.71	0.43	3.45	2.80	14.95	82.24
<b>Ostali otpad</b>	0	1087	254	0.00	29.55	9.96	0.00	81.06	18.94
<b>Ukupno</b>	<b>28</b>	<b>3679</b>	<b>2551</b>						

## 4.5. Granulometrijska analiza

Rezultati prosijavanja prikazani su u obliku granulometrijskih krivulja na Slici 4.5. Sveukupno je ispitano 15 uzoraka, dok je na Slici 4.1. prikazana granulometrijska krivulja srednjih vrijednosti rezultata za sve uzorke zajedno.



Slika 4.1 Granulometrijski sastav otpada sitne frakcije iz ŽCGO Kaštijun

Na temelju rezultata granulometrijske analize može se zaključiti da se radi o loše graduiranom krupnozrnatom materijalu.

## 5. Zaključak

Cilj ovog rada bio je utvrditi osnovne fizikalne parametre sitne frakcije otpada s CGO Kaštijun. Ispitivanje na uzorcima sitne frakcije komunalnog otpada iz Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun pokazalo je da je srednja vlažnost uzorka 13,65%. Promatrajući sastavne komponente u otpadu, najviše ima plastike, zatim biorazgradive komponente papira i kartona te ostalog otpada. Najzastupljenija organska tvar u uzorku jest drvo, a zatim kuhinjski otpad, plastika, tekstil, papir, kosti, ostali otpad itd. Prema obliku 1D, 2D i 3D kategorije također je najzastupljenija plastika. Granulometrijska analiza pokazala je da se radi o loše graduiranom krupnozrnatom materijalu.

S inženjerskog aspekta može se istaknuti još i sljedeće:

- utvrđeno je da ispitivani otpad sadrži visoki udio organske tvari uslijed čega će na odlagalištu otpada doći do njegove intenzivne razgradnje. Posljedično se može očekivati da će protekom vremena doći do promjene vrijednosti mehaničkih (stišljivost i posmična čvrstoća) i hidrauličkih (koeficijent propusnosti) parametara
- zbog visokog udjela vlaknastih komponenata vjerojatno je primjenljiv Kolsch-ov model posmične čvrstoće otpada koji u procjeni posmične čvrstoće otpada uz frikcijsku komponentu uzima u obzir i vlačnu komponentu.

Sa stanovišta energetske uporabe utvrđeno je da ispitivani materijal sadrži visok udio organske tvari što ga čini pogodnim za proizvodnju bioplina na bioreaktorskom odlagalištu otpada.

## 6. Zahvala

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost projektom UIP- 2017-05-5157.

## 7. Popis literature

- [1] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, NN 94/13
- [2] Vlada Republike Hrvatske, Pravilnik o katalogu otpada, NN 90/15
- [3] Anić Vučinić A., Osnove gospodarenja otpadom, Predavanja i skripta, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2017.
- [4] Fundurulja D., IPZ Uniprojekt TERRA d.o.o (27.11.2017.): Elaborat gospodarenja otpadom tvrtke KAŠTIJUN d.o.o., Forum 1, 52100 Pula, za obavljanje djelatnosti oporabe i zbrinjavanja otpada na lokaciji gospodarenja otpadom Županijski centar za gospodarenje otpadom Istarke županije "Kaštijun" Premanturska cesta 215, 52100 Pula, Zagreb
- [5 ] Kaštijun, ŽCGO Kaštijun; Datum pristupa: 30.04.2020.:  
<https://www.kastijun.hr/hr/zeleno-srce-istre/zcgo/>
- [6] Šarc R., Petrović K., Relić I., Lorber K.: Mechanical – Biological Waste Treatment Plants in Croatia, Waste Management - Volume 8, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, Neuruppin, 2018.
- [7] Europska komisija: Okoliš: Kružna ekonomija: Novi Akcijski plan za kružno gospodarstvo za čistiju i konkurentniju Europu, Datum pristupa: 05.05.2020.:  
<https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
- [8] Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, Agencija za zaštitu okoliša: Upute za određivanje i tehnički opisi postupaka oporabe (R) i zbrinjavanja (D) otpada, veljača 2008., Zagreb
- [9] Europa EU: Kružno gospodarstvo: Definicija, vrijednosti i korist; Datum pristupa: 20.05.2020.:  
<https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist>
- [10] Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske NN 3/2017-120
- [11] Velkushanova K., Faculty of Engineering and the Environment: Characterisation of wastes towards sustainable landfilling by some physical and mechanical properties with an emphasis on solid particles compressibility, University of Southampton, 2011.
- [12] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike: Izvješće o komunalnom otpadu za 2018. godinu, Zagreb, prosinac 2019.

## 8. Popis slika

Slika 1.1. Sustav gospodarenja otpadom .....	2
Slika 1.2. Shema kružnog gospodarstva .....	3
Slika 1.3. Godišnje količine nastalog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u vremenskom razdoblju od 1995. do 2018. godine.....	5
Slika 2.1. Višestupanjska shema obrade otpada s uravnoteženom masom MBO postrojenja u ŽCGO Kaštijun.....	8
Slika 2.2. Nacrt prostornog razmještaja tehnoloških procesa.....	9
Slika 2.3. Shema tehnoloških procesa .....	10
Slika 2.4. Mapa ŽCGO Kaštijun .....	12
Slika 3.1.: Uzorak sitne frakcije komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun u Laboratoriju za inženjerstvo okoliša .....	15
Slika 3.2.: Uzorci sitne frakcije komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun u sušioniku .....	16
Slika 3.3.: Razdvajanje uzorka komunalnog otpada iz ŽCGO Kaštijun na komponente .....	17
Slika 3.4.: Komponente reprezentativnog uzorka prije i nakon žarenja .....	18
Slika 3.5.: Uzorak u peći za žarenje .....	18
Slika 3.6.: Komponente uzorka iz ŽCGO Kaštijun razdvojene prema obliku (s lijeva na desno: metali, papir i karton, drvo).....	19
Slika 3.7.: Sita i prosijani uzorak iz ŽCGO Kaštijun .....	20
Slika 4.1 Granulometrijski sastav otpada sitne frakcije iz ŽCGO Kaštijun .....	26

## 9. Popis tablica

Tablica 1.: Vlažnost uzoraka komunalnog otpada sitne frakcije iz ŽCGO Kaštijun. ....	21
Tablica 2.: Prvi uzorak.....	22
Tablica 3.: Drugi uzorak .....	23
Tablica 4.: Srednja vrijednost .....	23
Tablica 5: Udio organske tvari u sitnoj frakciji uzorka iz ŽCGO Kaštijun .....	24
Tablica 6.: 1D, 2D, 3D distribucija komponenti otpada.....	25

## 10. Popis i objašnjenje kratica korištenih u tekstu

ŽCGO – Županijski centar gospodarenja otpadom

MBO – Mehaničko biološka obrada

KO – Komunalni otpad

NO – Neopasan otpad

mnm – metara nad morem

RH – Republika Hrvatska

EU - Europska unija