

Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Marišćina

Androić, Tatjana

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:130:129108>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

TATJANA ANDROIĆ

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG OTPADA
CGO MARIŠĆINA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

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

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:
izr. prof. dr. sc. Igor Petronić

Članovi povjerenstva

- 1) izr. prof. dr. sc. Igor Petronić
- 2) izr. prof. dr. sc. Aleksandra Anić Vučković
- 3) dr. sc. Vitomir Braun, v. ped.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

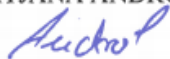
TATJANA ANDROIĆ

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG OTPADA
CGO MARIŠĆINA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

TATJANA ANDROIĆ



MENTOR:

izv. prof. dr. sc. IGOR PETROVIĆ

VARAŽDIN, 2020.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: TATJANA ANDROIĆ

Matični broj: 2834 - 2017./2018.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PROSJEČNI SASTAV SITNE FRAKCIJE KOMUNALNOG OTPADA
CGO MARIŠĆINA


Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Centar za gospodarenje otpadom Marišćina
3. Materijal i metode
4. Rezultati
5. Zaključak
6. Literatura
Zahvala
Popis tablica
Popis slika

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

Zadatak zadan: 10.03.2020.

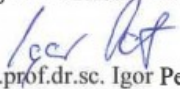
Rok predaje: 03.09.2020.

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 MARIŠĆINA

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, 31. 08. 2020.

____ Tatjana Androić _____
(Ime i prezime)

____  _____
(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

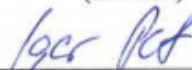
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Mariščina

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, 25.08.2020.

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



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

IME I PREZIME AUTORA: Tatjana Androić

NASLOV RADA: Prosječni sastav sitne frakcije komunalnog otpada CGO Marišćina

U uvodnom dijelu ovog rada navedeno je što je komunalni otpad, postotak i količine sakupljenog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj na godišnjoj razini kao i čimbenici koji ovise o količinama otpada.

U sljedećem naslovu opisuje se Centar za gospodarenje otpadom Marišćina iz kojeg su dopremljeni uzorci otpada i na kojima su provedena istraživanja osnovnih geotehničkih parametara u Laboratoriju za istraživanje okoliša Geotehničkog fakulteta.

Rezultati istraživanja prikazani su u završnom dijelu rada.

Cilj ovog rada bio je utvrditi osnovne fizikalne parametre sitne frakcije otpada s CGO Marišćina. Na ispitivanim uzorcima otpada utvrđen je visok udio organske tvari uslijed čega se može očekivati da će se mehanički parametri otpada s protekom vremena mijenjati. Nadalje, utvrđeno je da zbog iznimne sitnozrnosti većinu uzorka nije moguće razvrstati te stoga za sitnu frakciju otpada s CGO Marišćina vjerojatno nije primjenljiv Kolsch-ov model posmične čvrstoće otpada.

Ključne riječi: komunalni otpad, CGO Marišćina, sastav i količine komunalnog otpada

ABSTRACT

NAME AND SURNAME OF THE AUTHOR: Tatjana Androić

TITLE: Average composition of fine fraction of municipal solid waste from WMC Marišćina

The introductory part of this paper defines municipal waste and states the percentage and quantities of collected municipal waste in the Republic of Croatia on an annual basis, as well as factors that depend on the amount of waste.

The following title describes Marišćina Waste Management Centre from which waste samples were taken and whose basic geotechnical parameters were determined in the Laboratory for Environmental Research at the Faculty of Geotechnical Engineering.

The results of the research are presented in the final part of the paper.

The aim of this study was to determine the basic physical parameters of the fine fraction of waste from WMC Marišćina. A high proportion of organic matter was found on the tested waste samples, as a result of which it can be expected that the mechanical parameters of the waste will change over time. Furthermore, it was found out that due to the exceptional fineness of the most samples it was not possible to classify them and therefore Kolsch model of shear strength of waste is probably not applicable to the fine fraction of waste from WMC Marišćina.

KEYWORDS: municipal waste, WMC Marišćina, composition and quantity of municipal waste

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CENTAR ZA GOSPODARENJE OTPADOM MARIŠĆINA	5
2.1. OPIS POSTROJENJA ZA MEHANIČKO- BIOLOŠKU OBRADU	6
2.2. BIOSUŠENJE.....	8
2.3. POSTROJENJE ZA BIOLOŠKU OBRADU.....	8
3. MATERIJAL I METODE	10
4. REZULTATI	15
4.1. VLAŽNOST	15
4.2. SASTAV OTPADA PO KOMPONENTAMA	18
4.3. GRANULOMETRIJSKA ANALIZA	22
4.4. ORGANSKA TVAR	23
4.5. RAZVRSTAVANJE KOMPONENTI PREMA OBLIKU NA 1D, 2D i 3D	25
5. ZAKLJUČAK	29
6. LITERATURA	30
ZAHVALA	31
POPIS TABLICA	32
POPIS SLIKA	33

1. UVOD

Komunalni otpad prema definiciji iz Zakona o održivom gospodarenju otpadom je otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, a ne uključuje proizvodni otpad i otpad iz poljoprivrede i šumarstva. Komunalni otpad obuhvaća otpad koji odgovara vrstama otpada iz podgrupe 15 01 (ambalaža, uključujući odvojeno sakupljenu ambalažu iz komunalnog otpada) i grupe 20 (otpad iz kućanstva i slični otpad iz obrta, industrije i ustanova, uključujući odvojeno sakupljene sastojke) Kataloga otpada [1]. U 2018. godini 99% stanovništva Republike Hrvatske imalo je organizirano sakupljanje komunalnog otpada, također 88% jedinaca lokalne samouprave provodi odvojeno sakupljanje komunalnog otpada [1]. Odvojeno sakupljanje komunalnog otpada, prvenstveno papir, staklo, metal i plastika, provodi se sakupljanjem s kućnog praga, putem zelenih otoka i reciklažnih dvorišta. Prema privremenim podacima Zavoda za zaštitu okoliša i prirode za 2018. godinu utvrđeno je da je ukupno proizvedeno 1.157 120,97 tona komunalnog otpada. Ukupna stopa odvojenog sakupljanja u 2018. godini u sklopu javne usluge i usluge povezane s javnom uslugom iznosila je 10,76% [1]. Postotke odvojenog sakupljanja komunalnog otpada moguće je vidjeti u Tablici 1.

Tablica 1: Stopa odvojenog sakupljanja otpada u 2018. godini u sklopu javne usluge i usluge povezane s javnom uslugom, preuzeto s:
http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjesca/komunalni/OTP_Izvj%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu_2018%20FV_0.pdf

Županija sakupljanja otpada	Stopa odvojenog sakupljanja u 2018. godini u sklopu javne usluge i usluge povezane s javnom uslugom [%]
Bjelovarsko- bilogorska	5,03
Brdsko- posavska	2,15

Dubrovačko- neretvanska	4,81
Grad Zagreb	10,0
Istarska	11,24
Karlovačka	3,24
Koprivničko- križevačka	8,67
Krapinsko- zagorska	13,04
Ličko- senjska	0,26
Međimurska	42,29
Osječko- baranjska	9,36
Požeško- slavonska	7,45
Primorsko- goranska	15,20
Sisačko- moslavačka	3,55
Splitsko- dalmatinska	2,04
Šibensko- kninska	1,62
Varaždinska	20,84
Virovitičko- podravska	8,70
Vukovarsko srijemska	5,45
Zadarska	2,39
Zagrebačka	14,54

Prema podacima iz 2018. godine o ukupno proizvedenom otpadu očekivano je da postoji nerazmjer između priobalnih i kontinentalnih županija, nerazmjer se osobito ističe za vrijeme ljetnih mjeseci, a razlog tome je turistička sezona. U posljednjih 6 godina broj turističkih noćenja u Hrvatskoj se znatno povećao, a time se i povećala proizvodnja komunalnog otpada i to za čak 86% [1]. Rezultati istraživanja pomažu u planiranju infrastrukture za odvoz otpada i usluge sakupljanja otpada u turističkim područjima. Od priobalnih županija najviše se ističe Primorsko-goranska i to sve zahvaljujući stanovnicima i gostima otoka Krka, koji primarno odvajaju više od 45% otpada u čemu velike zasluge ima komunalno društvo koje im to omogućava [2].

Čimbenici koji utječu na sastav i količine komunalnog otpada su:

a) postojeće stanje- od sredine pa prema kraju 20. stoljeća masa krutog otpada povećala se pet puta u usporedbi s početkom 20. stoljeća, a istovremeno se ukupan broj svjetske populacije nije upeterostručio,

b) broj stanovnika- promatrajući demografiju različitih zemalja uočeno je kako je u visokorazvijenim zemljama mala brzina novorođenih, u zemljama razvoja veća je nego u visoko razvijenim zemljama, dok je u nerazvijenim zemljama najveći broj novorođenih,

c) bruto domaći proizvod- jedna od sastavnica koja utječe na količinu komunalnog otpada, a čije je predviđanje u narednom razdoblju krajnje neizvjesno zbog stanja gospodarstva. Na osnovu postojećih podataka uspostavljena je povezanost između kretanja BDP-a i specifične količine otpada po stanovniku. Uzimajući u obzir doprinos pojedinog sektora nastanku BDP-a, orijentacijski se može uzeti u obzir pretpostavka kako svaka promjena BDP od $\pm 1\%$ utječe na promjenu specifične količine otpada od $\pm 0,45\%$,

d) indeks potrošnje- tj. utjecaj osobne potrošnje direktno je vezan uz nastajanje komunalnog otpada. Uzimajući u obzir strukturu izdataka, može se na osnovu pojednostavljene povezanosti izvesti međuzavisnost ovog faktora sa specifičnom količinom otpada koja nastaje po stanovniku. Tako se za promjenu potrošnje od $+1\%$, mijenja proizvedena količina otpada za cca 3% . U narednom razdoblju predviđa se spori i vrlo blagi rast osobne potrošnje, tako da će njen utjecaj u konačnici biti na povećanje specifične količine otpada do $1,5\%$,

e) sezonske varijacije= turizam- odnos turističke aktivnosti i miješanog komunalnog otpada vrijedno je proučavanja iz najmanje tri razloga. Naime, turistički sektor poprilično intenzivno generira količine miješanog komunalnog otpada u odnosu na ostale sektore poput poljoprivrede zbog povećanog broja stanovništva i potrošnje. Nadalje, zbog internacionalne odlike turizma dolazi do uvoza otpada u odlaznu zemlju čime se dodatno opterećuje sustav s novim količinama otpada. Na koncu, nepropisno gospodarenje miješanim komunalnim otpadom negativno utječe na sastavnice okoliša, a samim time i na poželjnost turističke destinacije,

f) geografija područja- geografska lokacija utječe na sastav otpada na način da se koristi u većoj mjeri materijal koji je dostupan (npr. drvo ili čelik), učestalost čišćenja ulica koja mogu iznositi i 10 % od ukupne količine otpada (pogotovo ako su gradovi u sušnim područjima), sastav pepela (ovisno o načinu grijanja, koji se energent koristi u kućanstvima) npr. populacija stanovnika Kine koji koriste ugljen kao energent za grijanje prostorija ima 47 % udio pepela u otpadu dok dio grada koji koristi prirodni plin sudjeluje sa svega 10%,

g) dodatni faktori- kao što su smanjenje seoskog stanovništva, povećanje urbanog stanovništva, starenje stanovništva, migracijske prilike, kultura trošenja i kupovanja, razvoj zakonske regulative u cilju smanjenja nastanka otpada, razvoj znanosti i tehnologija u dobivanju proizvoda koji se mogu u potpunosti reciklirati kao i proizvoda s manje ambalaže. Utjecaj ovih faktora ocijenjen je na način da će pridonijeti smanjenju količina otpada po stanovniku do 0,7% u narednih 15-tak godina [3].

Centri za gospodarenje otpadom ključni su za uspostavu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. To su postrojenja koja su međusobno funkcionalno ili tehnološki povezana i postrojenja za obradu komunalnog otpada u kojima se količina neiskoristivog otpada koji ostaje nakon cjelovitog procesa svodi na minimum inertnog otpada pogodnog za odlaganje.

Poznavanje sastava otpada ima važnu ulogu u učinkovitom gospodarenju otpadom iz razloga što se na temelju sastava odabire tehnologija obrade i zbrinjavanja. Nakon uzorkovanja otpada provode se laboratorijske analize kao što su određivanje sadržaja vlage, granulometrijskog sastava, prisutnost organske tvari i drugo.

2. CENTAR ZA GOSPODARENJE OTPADOM MARIŠĆINA

Centar za gospodarenje otpadom Marišćina (Slika 1) središnji je dio integralnog sustava gospodarenja otpadom u Primorsko- goranskoj županiji [4]. Integralni sustav gospodarenja otpadom temelji se na smanjenju količine proizvedenog otpada na mjestu nastanka, iskorištavanju sastojaka za nastanak sekundarne sirovine ili u energetske svrhe, te trajnog odlaganja uz primjenu važećih propisa u Republici Hrvatskoj i EU [4]. Uz centar sagrađeno je i postrojenje za mehaničko- biološku obradu komunalnog nesortiranog otpada i pretovarne stanice na otocima Cresu, Krku i Rabu, te u okolici Rijeke odnosno u Novom Vinodolskom i Delnicama.

CGO omogućuje:

- prihvata sortiranog i nesortiranog otpada,
- mehaničko-biološku obradu otpada,
- odlaganje ostatnog dijela sa što manjim udjelom organske tvari,
- smanjenje količine odloženog otpada na manje od 35% ulazne mase,
- obradu tekućih i plinovitih ostataka na odgovarajućim instalacijama,
- obradu neopasnog industrijskog otpada [4].

U CGO prema otpadu se postupi prema IVO konceptu (izbjegavanje – vrednovanje - odlaganje) što znači da se nakon primarne selekcije otpad kao što je papir, staklo, plastika i limenke recikliraju ili oporabljuju, a sav ostali otpad obrađuje se mehaničko- biološkom obradom. Ostatni otpad se trajno odlaže u prostoru odlagališta koje mora imati brtveni sloj zbog zaštite podzemnih voda i podzemlja [4].



Slika 1: Prikaz postrojenja ŽCGO Mariščina [4]

2.1. OPIS POSTROJENJA ZA MEHANIČKO- BIOLOŠKU OBRADU

Mehaničko- biološka obrada je proces obrade komunalnog otpada koji određene frakcije komunalnog otpada odvaja mehaničkim putem, dok druge obrađuje biološkim procesima, tako da smanjuje ostatnu frakciju, stabilizira ju i priređuje za moguće upotrebe. Obrada se sastoji od mehaničke obrade, razvrstavanje otpada s obzirom na veličinu čestica, i biološke obrade. Svaki proces zahtijeva primarno odvajanje opasnih tvari, a rezultat obrade je smanjenje volumena otpada, a samim tim i smanjenje stakleničkih plinova [5].

Postrojenje CGO Mariščina dimenzionirano je za obradu 100. 000 t otpada godišnje, a sastoji se od:

- prihvatnog bunkera,
- mehaničke predobrade,
- biološke obrade,

- mehaničke rafinacije – proizvodnja goriva iz otpada (GIO - eng. SRF, Solid Recovered Fuel) [5].

Kao rezultat obrade u MBO postrojenju dobiva se:

- gorivo iz otpada (GIO visoke ili srednje/niske kvalitete),
- korisni materijali za daljnju uporabu (željezni i neželjezni metali),
- biorazgradivi materijal i škart, pogodni za proizvodnju bioplina [5].

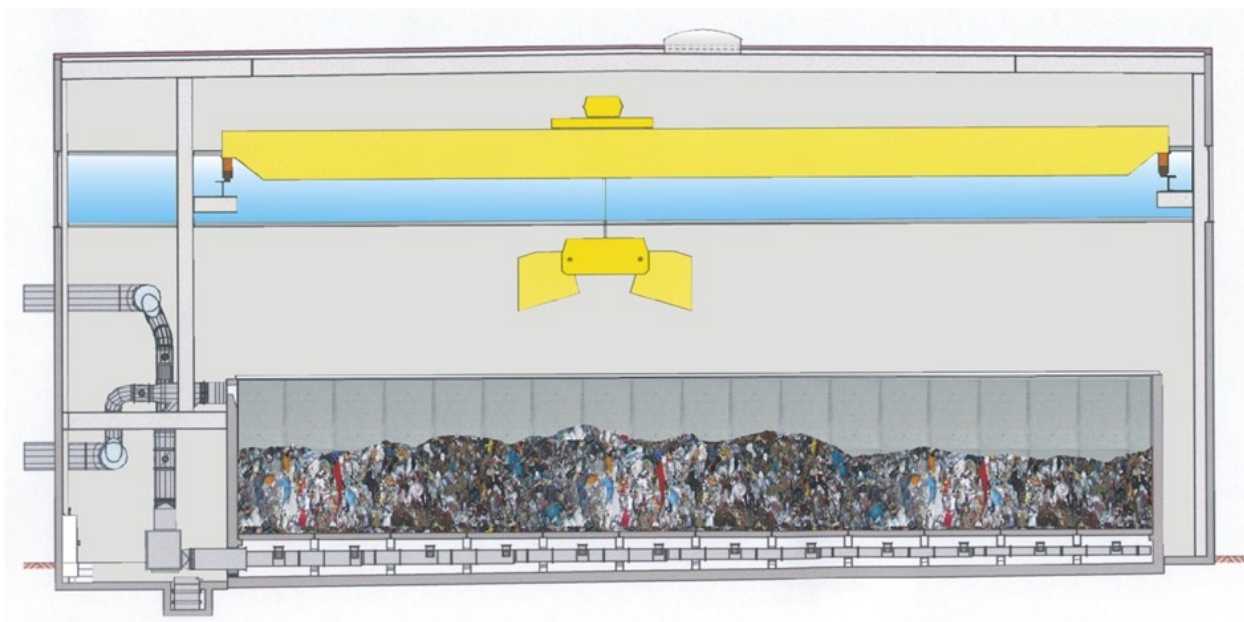
Otpad se u CGO dostavlja na dnevnoj bazi u otpadnim transportnim kamionima ili poluprikolicama s automatskim istovarom iz pretovarnih stanica. Kamioni se kod dolaska u Centar važu i nakon toga se otpad prevozi u postrojenje za prihvata gdje se prazni u prihvatni bunker. Na postrojenju postoji ukupno 7 vrata za prihvat otpada. Vrata su brzo zatvarajuća što onemogućava širenje neugodnih mirisa. Također na ulaznim vratima postavljeni su i topovi vodene magle koji sprečavaju izlazak prašine i insekata tijekom trajanja istovara otpada [5]. U samom postrojenju rukovanje otpadom izvodi se kranom. Neke od funkcija kрана su miješanje različitih sastavnih otpadnih frakcija, vađenje neželjenih materijala iz otpadnog volumena [5]. Kranom se prihranjuje otpad u predusitnjivač gdje se usitnjava do 200 mm. Usitnjivač se miče širinom zgrade, a usitnjeni otpad se skladišti u bunkere koji se nalaze ispod usitnjivača. Prijemni i prihvatni bunker međusobno su povezani sabirnim kanalima za procjednu vodu. Kako u prostoriji ne bi došlo do širenja neugodnih mirisa zrak se usisava i odvodi prema filterima za pročišćavanje mirisa.

Postrojenje za biosušenje se nalazi u istoj hali kao dio postrojenja za prihvat otpada. Ciljevi biosušenja su:

- stabilizacija i higijenzacija organske materije,
- uklanjanje vode,
- povećanje kalorične ogrjevne vrijednosti otpada [5].

2. 2. BIOSUŠENJE

Otpad koji je spreman za biosušenje prima se iz privremenog bunkera (Slika 2) [5]. Biosušenjem se iz frakcije uklanja voda i proizvodi se biotoplinska energija. Bitno je ukloniti što veći postotak vode jer je ogrjevna vrijednost suhog otpada viša od vlažnog. Tijekom procesa biosušenja iz ukupne se mase komunalnog otpada gubi 25- 30 % od ulazne težine u vidu isparene vode [5]. Isisani se zrak nakon prolaza kroz otpad tretira putem biofiltera, nakon kojih se pročišćen i bez ikakvog neugodnog mirisa ispušta u atmosferu. Produkt je stabilan, suh i higijenziran proizvod bez neugodna mirisa s visokom kalorijskom vrijednosti [5].



Slika 2: Komora za biosušenje s kranom i perforiranim podnim pločama [5]

2.3. POSTROJENJE ZA BIOLOŠKU OBRADU

Biološka obrada bazira se na djelovanju mikroorganizama pri čemu dolazi do razgradnje organske frakcije otpada. Razgradnja se odvija u komori za biosušenje koja je zavarena za ulaz zraka i vlage [5]. Dovod zraka kod razgradnje mikroorganizama kontroliran je prema

prilagođenim biološkim zahtjevima, odnosno postoji automatski sustav koji kontrolira protok volumena i temperaturu zraka.

Da bi biološka obrada bila potpuna proces mora proći kroz tri faze, a to su:

1. faza: postizanje radne temperature,
2. faza: faza glavne redukcije (biološko sušenje),
3. faza: hlađenje i sušenje stabilata [5].

Svaka komora ima perforirane podne ploče ispod kojih je podijeljeni prostor u obliku tlačnih komora što omogućuje da se dovod zraka kontrolira za svaki segment zasebno i da se materijal homogeno osuši i prozrači. Svaka komora predstavlja zasebnu jedinicu stoga proces u jednoj komori ne ovisi o procesu druge komore. Zavisno o temperaturi materijala koji se obrađuje u komorama potrebno je odrediti četiri moguća toka zraka:

- svježi zrak (crpi se iz hala MBO postrojenja),
- svježi zrak (iz prolaza za aeraciju),
- cirkulacija zraka komore (mala cirkulacija zraka),
- recirkulacija ohlađenog zraka [5].

Svjež zrak je potreban kako bi se osigurala opskrba kisikom za aerobne biološke procesa, pa čak i za hlađenje materijala na kraju sedmodnevnog biološkog sušenja. Mala cirkulacija protoka zraka pomaže u zagrijavanju otpada na početku biološkog procesa. Velika cirkulacija protoka zraka pomaže u uklanjanju ispušnog zraka iz sustava [5]. Pomoću kružnog protoka zraka, postoji homogeni ventilacijski protok unutar materijala. Ovim protokom zraka, volumen pora materijala može se održavati na optimumu, a proces sušenja se ubrzava [5].

3. MATERIJAL I METODE

Uzorci sitne frakcije uzeti su iz ŽCGO Marišćina u ponedjeljak 04. veljače 2019. godine u 11: 15 sati (Slika 3). Kako bi se spriječilo širenje neugodnih mirisa i odvijanje biorazgradnje uzorci su zapakirani u plastične vreće, a potom u vakuumske vreće iz kojih se pomoću priručne pumpe isisao zrak (Slika 4). Istog dana uzorci su dopremljeni u Laboratorij za istraživanje okoliša Geotehničkog fakulteta.



Slika 3: Uzorak sitne frakcije ŽCGO Marišćina



Slika 4: Reprezentativni uzorak u vakuumskoj vreći

U utorak 05. veljače 2019. godine uzorci su izvagani i stavljeni na sušenje u sušionik na 60 °C na 24 sata.

Zbog određene sličnosti koju ima otpad s materijalima tla, često se postupa tako da se pri analiziranju njegovih svojstava koriste laboratorijski i in situ pokusi kakvi su uobičajeni pri geotehničkim radovima [4]. Tako se i vlažnost otpada određivala prema ASTM D 2216 standardu za određivanje vlažnosti tla. Razlika u masi prije i nakon sušenja u sušioniku na 60 °C pokazuje količinu vode koja je bila vezana u uzorku. Vlažnost ovisi o nekoliko čimbenika kao što su lokalne klimatske prilike, količina vlage koja nastaje u biološkim procesima, prekrivanje i tako dalje [6]. Za svaku seriju uzoraka određena je srednja vrijednost vlažnosti.

Da bi odredili sastav otpada iz uzorka su ručno izdvojene pojedine sastavne komponente. Izdvajanje se vrši četvrtanjem tako da se uzorak podijeli na četiri jednaka dijela, dva nasumična uzorka ponovno se miješaju u jedan uzorak, i na tom uzorku radimo daljnja ispitivanja, a preostala dva miču se sa strane. Uzorci se sijanjem na sitima različitih veličina promjera otvora prosijavaju i vaganjem se određuje maseni udio pojedinih komponenti u otpadu.

Osim kod određivanja sastava otpada četvrtanje se vrši i kod određivanja granulometrijskog sastava. Granulometrijska analiza izvedena je prema ASTM D 422 standardu za analizu veličina čestica. Sijanje uzoraka izvršeno je pomoću uređaja za trešnju i sita različitih otvora (Slika 5). 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. Radi lakših očitavanja vrijednosti i bolje preglednosti prikazane su samo rubne granulometrijske krivulje, a sve preostale krivulje položene su između prikazanih rubnih krivulja. Također, prikazana je i srednja vrijednost rezultata za sve uzorke zajedno. Ispitalo se ukupno 25 uzoraka.



Slika 5: Tresalica

Biološka svojstva otpada sklona su promjenama uslijed starenja otpadnog materijala što dovodi do promjene kemijskih, mehaničkih i drugih svojstava. Najvažnija biološka karakteristika komunalnog otpada je da tijekom procesa starenja gotovo sve organske komponente mogu biološki prijeći u plinove i relativno inertne organske i anorganske krutine što dovodi do nastanka neugodnih mirisa, razmnožavanja muha i bakterija [6]. Ukupna količina plina koja će nastati najviše ovisi o postotku organske tvari koja se nalazi u otpadu. Udio organske tvari u uzorku određen je prema ASTM D 2974 standardu. Komponente uzoraka su vagane prije i poslije 24-verosatnog žarenja u mufolnoj peći (Slika 6) na 440 °C. Udio organske tvari određen je za svaku pojedinu komponentu zasebno. Razlika u masi pokazuje udio organske tvari po pojedinim komponentama u uzorku otpada.



Slika 6: Uzorak u mufolnoj peći



Slika 7: Komponente reprezentativnog uzorka prije i poslije žarenja

S obzirom na oblik i prevladavajuće dimenzije (visina, širina i dužina) čestice otpada dijele se na 1D, 2D i 3D (Slika 8). Za potrebe razvrstavanja otpada prema obliku korištene su kategorije definirane u sklopu doktorske disertacije Konstantine Velkushanove, naslova „Characterisation of wastes towards sustainable landfilling by some physical and mechanical properties with an emphasis on solid particles compressibility“ [7]. Vaganjem je utvrđen maseni udio pojedinih komponenti u odnosu na ukupnu masu svih komponenti i maseni udio pojedinih kategorija komponenti u odnosu na ukupnu masu te komponente.



Slika 8: Komponente uzorka razdvojene prema obliku (s lijeve na desno: plastika, staklo, tekstil)

4. REZULTATI

4. 1. VLAŽNOST

Uzorci na kojima se određivala vlažnost bili su podijeljeni u tri vreće. Tablica 2 prikazuje prvu vreću, Tablica 3 drugu, i Tablica 4 treću vreću.

Vlažnost određujemo tako da početnu masu vlažnog otpada oduzmemo od mase otpada nakon sušenja na 60 °C da dobijemo masu vode u uzorku. Dobivenu masu vode dijelimo s početnom masom vlažnog uzorka i množimo sa 100 da dobijemo postotak. Na kraju se radi srednja vrijednost svih uzoraka s time da se maksimalna i minimalna vrijednost odbacuju.

Tablica 2: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- prva vreća

uzorak broj	tara	tara + m _w	m _w	tara + m _s	m _s	w	w	w
	g	g	g	g	g	g/g	%	srednja (%)
1	990	2933	1943	2763	1773	0,09	8,75	8,71
2	933	2738	1805	2579	1646	0,09	8,81	
3	771	1943	1172	1838	1067	0,09	8,96	
4	567	1717	1150	1607	1040	0,09	9,57	
5	761	2199	1438	2075	1314	0,09	8,62	
6	980	2232	1252	2116	1136	0,09	9,27	
7	566	1669	1103	1609	1043	0,05	5,44	

8	1133	3105	1972	2922	1789	0,09	9,28	
9	383	2442	2059	2292	1909	0,07	7,29	



Slika 9: Reprezentativni uzorak pripremljen za sušenje

Tablica 3: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- druga vreća

uzorak broj	tara	tara + m _w	m _w	tara + m _s	m _s	w	W	w
	g	g	g	g	g	g/g	%	srednja (%)
1	1132	2414	1282	2275	1143	0,11	10,84	10,41
2	566	1303	737	1230	664	0,10	9,91	

3	997	2536	1539	2376	1379	0,10	10,40	
4	987	2419	1432	2265	1278	0,11	10,75	
5	383	2011	1628	1843	1460	0,10	10,32	
6	933	2547	1614	2389	1456	0,10	9,79	
7	990	2574	1584	2412	1422	0,10	10,23	
8	761	1943	1182	1815	1054	0,11	10,83	
9	980	2254	1274	2119	1139	0,11	10,60	
10	771	1750	979	1672	901	0,08	7,97	
11	567	1397	830	1307	740	0,11	10,84	

Tablica 4: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- treća vreća

uzorak broj	tara	tara + m_w	m_w	tara + m_s	m_s	w	w	w
	g	g	g	g	g	g/g	%	srednja (%)
1	1133	2657	1524	2492	1359	0,11	10,83	9,68
2	566	1568	1002	1486	920	0,08	8,18	
3	997	2729	1732	2567	1570	0,09	9,35	
4	987	2639	1652	2480	1493	0,10	9,62	
5	383	1631	1248	1497	1114	0,11	10,74	

6	933	2544	1611	2382	1449	0,10	10,06
7	990	3026	2036	2841	1851	0,09	9,09
8	761	1753	992	1658	897	0,10	9,58
9	980	2187	1207	2079	1099	0,09	8,95
10	567	1714	1147	1599	1032	0,10	10,03

Iz ovih podataka vidljivo je da je najveći postotak vlažnosti imao uzorak u drugoj vreći. Srednja vrijednost svih triju uzoraka je 9,60%

4.2. SASTAV OTPADA PO KOMPONENTAMA

Ispitana su dva uzorka. Tablica 5 prikazuje vrijednosti za prvi uzorak, a Tablica 6 vrijednosti drugog uzorka. Srednja vrijednost prikazana je u Tablici 7.

Tablica 5: Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka- prvi uzorak

komponenta	maseni udio	maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	6,37	
Tekstil i odjeća	0,18	0,18
Staklo	11,90	
Metali	1,11	

Papir i karton	4,61	4,61
Drvo	1,20	1,20
Kosti i koža	0,28	0,28
Kamenje	2,68	
Keramika	0,15	
Guma	0,00	
Kuhinjski otpad	3,14	3,14
Ostali otpad > 2mm	43,84	26,43
Ostali otpad < 2mm	24,55	8,57
Ukupno	100,00	44,41



Slika 10: Uzorak iz ŽCGO Mariščina razdvojen na komponente

Tablica 6: Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka- drugi uzorak

komponenta	maseni udio	maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	6,49	
Tekstil i odjeća	0,26	0,26
Staklo	9,34	
Metali	0,78	
Papir i karton	4,80	4,80
Drvo	1,17	1,17
Kosti i koža	0,13	0,13
Kamenje	2,85	
Keramika	0,78	
Guma	0,26	
Kuhinjski otpad	1,17	1,17
Ostali otpad > 2mm	41,12	24,79
Ostali otpad < 2mm	30,87	10,77
Ukupno	100,00	43,08

Tablica 7: Srednja vrijednost masenog udjela biorazgradivog otpada

komponenta	maseni udio	maseni udio biorazgradivog dijela uzorka
	[%]	[%]
Plastika	6,43	
Tekstil i odjeća	0,22	0,22
Staklo	10,62	
Metali	0,94	
Papir i karton	4,71	4,71
Drvo	1,18	1,18
Kosti i koža	0,20	0,20
Kamenje	2,76	
Keramika	0,46	
Guma	0,13	
Kuhinjski otpad	2,15	2,15
Ostali otpad > 2mm	42,48	25,61
Ostali otpad < 2mm	27,71	9,67
Ukupno	100,00	43,75

Iz tablica je vidljivo da najveći postotak u uzorku zauzima ostali otpad (otpad kojeg nije bilo moguće razlikovati) veći od 2 mm i srednja vrijednost udjela iznosi 25,61%. Osim ostalog otpada u uzorku prevladavaju ostali otpad manji od 2 mm i papir i karton. Ukupni maseni udio biorazgradivog dijela uzorka je 43,75%.

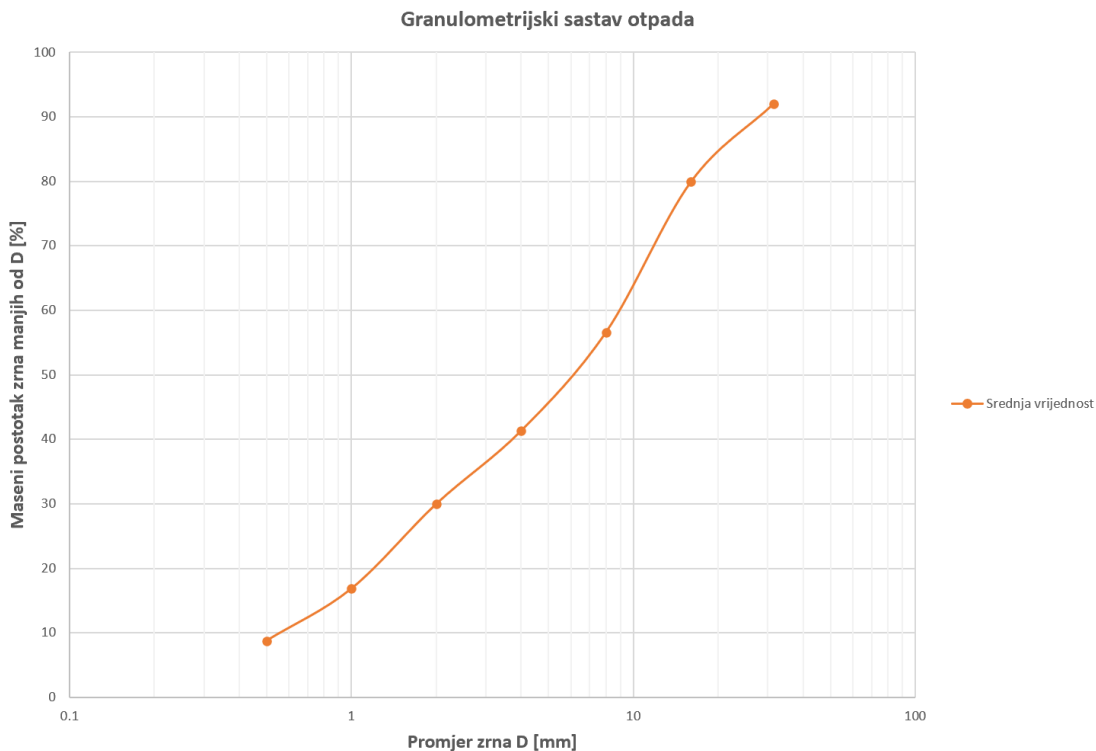
4.3. GRANULOMETRIJSKA ANALIZA

Na temelju granulometrijskih krivulja koje su prikazane na Slici 11 možemo izračunati koeficijent jednoličnosti C_u i koeficijent zakrivljenosti C_c ispitivanog materijala.

Vrijednost koeficijenta jednoličnosti C_u za srednju vrijednost je: 22,5.

Vrijednost koeficijenta zakrivljenosti C_c za srednju vrijednost je: 1,11.

Prema izračunatim vrijednostima zaključujemo da je ispitani materijal dobro graduiran.



Slika 11: Granulometrijski sastav otpada- srednja vrijednost



Slika 12: Sita i prosijani uzorci

4.4. ORGANSKA TVAR

Organska tvar se određuje žarenjem u mufolnoj peći na 440 °C kroz 24 sata. Izvaži se i zapiše masa tare, nakon toga izvaži se i zapiše masa suhog uzorka i tare. Nakon žarenja se ponovo izvaži masa uzorka i tare i izračuna se koji postotak inertne tvari je ostao, odnosno koliko organske tvari je izgorjelo, na način da se od mase prije paljenja oduzme masa nakon paljenja i dobije se masa izgorjene tvari koja se mora podijeliti s masom prije paljenja.

Tablica 8: Određivanje udjela organske tvari u reprezentativnom uzorku

			prije paljenja u peći za žarenje		nakon paljenja na 440 °C			
	oznaka posude	tara	tara + m _s	m _s	tara + m _s	m _s	Δm	organski udio
		g	g	g	g	g	g	%
Plastika	7	22,02	25,32	3,30	22,92	0,89	2,41	72,98
Tekstil	7c	13,00	13,14	0,14	13,03	0,04	0,10	73,40
Staklo	13	21,04	26,36	5,32	26,35	5,31	0,,01	0,14

Metali	x	11,93	12,25	0,33	12,16	0,24	0,09	27,88
Papir	H4	20,35	22,79	2,44	20,87	0,51	1,93	78,99
Drvo	I	22,14	22,74	0,60	22,21	0,07	0,54	89,09
Kosti	-	18,53	18,61	0,09	18,58	0,05	0,04	41,72
Kamenje	10	20,63	22,13	1,51	22,12	1,49	0,02	1,08
Keramika	7a	13,46	13,72	0,26	13,69	0,23	0,03	10,64
Guma	202	20,32	20,37	0,05	20,35	0,03	0,02	38,43
Kuhinjski otpad	9	20,24	21,43	1,19	20,49	0,24	0,94	79,60
> 2 mm	velika	261,00	282,00	21,00	268,00	7,00	12,66	60,29
< 2 mm	15	29,96	43,78	13,82	38,07	8,11	4,83	34,89
				50,04		24,21		

Tablica prikazuje da najveći organski udio ima drvo koji iznosi 89,09%, slijede ga kuhinjski otpad sa 79,60%, papir 78,99%, tekstil 73,40% i plastika 72,98%. Među najmanjim udjelima nalazi se kamenje s 10,64% i staklo s 0,14%. Treba naglasiti da se kod kamenja i stakla zapravo radi o organskoj tvari koja je bila slijepljena sa staklom i kamenjem, dok je samo staklo i kamenje anorganskog porijekla.

4. 5. RAZVRSTAVANJE KOMPONENTI PREMA OBLIKU NA 1D, 2D i 3D

Kategorija 1D predstavlja otpad kojem je moguće odrediti samo dužinu (npr. grančica). U 2D kategoriju spada otpad kojem je moguće odrediti širinu i dužinu, dok je za 3D kategoriju moguće uz dužinu i širinu odrediti i visinu. Ispitivanje se radilo samo na onom dijelu uzorka koji se je mogao razvrstati. Ispitivanje je također napravljeno na dva uzorka, a rezultati su prikazani u Tablici 9 i Tablici 10, dok Tablica 11 prikazuje srednju vrijednost.

Tablica 9: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- prvi uzorak

Komponenta	Maseni udio s obzirom na ukupan 1D, 2D i 3D			Maseni udio s obzirom na komponentu		
	1 D	2 D	3 D	1 D	2 D	3 D
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Plastika	12,35	23,21	8,96	1,45	89,86	8,70
Tekstil i odjeća	1,23	0,26	1,79	5,00	35,00	60,00
Staklo	0,00	48,30	0,00	0,00	100,00	0,00
Metali	61,73	1,12	5,97	41,67	25,00	33,33
Papir i karton	0,00	14,83	14,93	0,00	79,20	20,00
Drvo	24,69	1,87	8,96	15,38	38,46	46,15
Kosti i koža	0,00	0,07	4,18	0,00	6,67	93,33
Kamenje	0,00	0,00	43,28	0,00	0,00	100,00

Keramika	0,00	0,60	0,00	0,00	100,00	0,00
Guma	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kuhinjski otpad	0,00	9,73	11,94	0,00	76,47	23,53
Ukupno	100,00	100,00	100,00			

Tablica 10: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- drugi uzorak

Komponenta	Maseni udio s obzirom na ukupan 1D, 2D i 3D			Maseni udio s obzirom na komponentu		
	1 D	2 D	3 D	1 D	2 D	3 D
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Plastika	27,78	27,27	11,99	2,00	84,00	14,00
Tekstil i odjeća	0,00	1,30	0,00	0,00	100,00	0,00
Staklo	0,00	46,75	0,00	0,00	100,00	0,00
Metali	16,67	0,26	8,56	10,00	6,67	83,33
Papir i karton	0,00	16,23	20,55	0,00	67,57	32,43
Drvo	55,56	3,25	3,42	22,22	55,56	22,22
Kosti i koža	0,00	0,00	1,71	0,00	0,00	100,00
Kamenje	0,00	0,00	37,67	0,00	0,00	100,00

Keramika	0,00	0,65	8,56	0,00	16,67	83,33
Guma	0,00	0,39	2,40	0,00	30,00	70,00
Kuhinjski otpad	0,00	3,90	5,14	0,00	66,67	33,33
Ukupno	100,00	100,00	100,00			

Tablica 11: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- srednja vrijednost

Komponenta	Maseni udio s obzirom na ukupan 1D, 2D i 3D			Maseni udio s obzirom na komponentu		
	1 D	2 D	3 D	1 D	2 D	3 D
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Plastika	20,06	25,24	10,47	1,72	86,93	11,35
Tekstil i odjeća	0,62	0,78	0,90	2,50	67,50	30,00
Staklo	0,00	47,52	0,00	0,00	100,00	0,00
Metali	39,20	0,69	7,27	25,83	15,83	58,33
Papir i karton	0,00	15,53	17,74	0,00	73,38	26,22
Drvo	40,12	2,56	6,19	18,80	47,01	34,19
Kosti i koža	0,00	0,04	2,95	0,00	3,33	96,67
Kamenje	0,00	0,00	40,48	0,00	0,00	100,00

Keramika	0,00	0,62	4,28	0,00	58,33	41,67
Guma	0,00	0,19	1,20	0,00	15,00	35,00
Kuhinjski otpad	0,00	6,82	8,54	0,00	71,57	28,43
Ukupno	100,00	100,00	100,00			

Iz tablice srednjih vrijednosti maseni udio s obzirom na ukupan uzorak najveći postotak ukupno gledajući za sve tri kategorije ima plastika. Najveći postotak u 1D kategoriji kao što se i predviđalo ima drvo (40,12%), u 2D kategoriji prednjači staklo (47,52%), dok se u 3D kategoriji ističe kamenje (40,48%).

S obzirom na pojedinu komponentu u 1D kategoriji ističe se metal (25,83%), u 2D staklo (100%) i u 3D ponovo kamenje (100%).

5. ZAKLJUČAK

Glavni ciljevi gospodarenja otpadom su svesti nastajanje otpada na najmanju moguću mjeru, to ne vrijedi samo za proizvodni proces već sustavno, tijekom čitavog životnog ciklusa proizvoda i njegovih komponenti kao i pretvaranje otpada u novi resurs. Centri za gospodarenje otpadom temelje se na smanjenju količine proizvedenog otpada na mjestu nastanka, iskorištavanju sastojaka za nastanak sekundarne sirovine ili u energetske svrhe. U Centrima s otpadom se postupa prema IVO konceptu (izbjegavanje – vrednovanje - odlaganje).

U ŽCGO Marišćina se kao rezultat obrade u mehaničko-biološkom postrojenju dobivaju: gorivo iz otpada, korisni materijali za daljnju uporabu i biorazgradivi materijal i škart za proizvodnju bioplina. Do razgradnje organske frakcije dolazi biološkom obradom otpada.

Iz podataka dobivenih istraživanjem vidljivo je da postotni udio biorazgradivog otpada u reprezentativnom uzorku iznosi 43,75% , što ga čini pogodnim za proizvodnju bioplina. Uzorak nakon obrade nema veliku vlažnost te će se za potrebe proizvodnje bioplina na odlagalištu ispitivanom otpadu morati dodati voda. Granulometrijska analiza je pokazala da je ispitivani materijal dobro graduiran. Budući da ispitivani otpad za potrebe proizvodnje bioplina sadrži visoki udio organske tvari očekuje se da će protekom vremena na odlagalištu otpada doći do promjene mehaničkih i hidrauličkih parametara odloženog otpada. Nadalje, iako je u dijelu ispitivanog uzorka utvrđen stanovit udio vlaknaste komponente, doprinos vlačne komponente posmičnoj čvrstoći te primjenljivosti Kolsch- ovog modela posmične čvrstoće otpada potrebno je dodatno ispitati.

6. LITERATURA

[1] Požgaj, Đ., Puntarić, E., Kušević- Vukšić, M. & Kufrin, J.: Izvješće o komunalnom otpadu za 2018. godinu. Zagreb, prosinac 2019. KLASA 351-02/19-75/01. URBROJ: 517-1923

[2] Turizam i otpad na Zelenom otoku, preuzeto: 19. 7. 2020.

<http://www.ekootokkrk.hr/blog/turizam-i-otpad-na-zlatnom-otoku>

[3] Đurina, M. Analiza sastava komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj: diplomski rad. Varaždin, 2017.

[4] Ekoplus- ŽCGO Marišćina, Ključ zelenije budućnosti, preuzeto: 28. 3. 2020.

<https://www.ekoplus.hr/mariscina.php>

[5] HIDROPLAN d. o. o.: Županijski centri za gospodarenje otpadom Marišćina faza 2, Postrojenje za mehaničko- biološku obradu otpada, Glavni strojarski projekt- izmjena i dopuna. GP02/ D- T, ZOP IG02/ D, TD 11/ 2014

[6] Veinović, Ž., Kvasnička, P. (2007.): Površinska odlagališta otpada, Interna skripta. Zagreb, Rudarsko geološko naftni fakultet

[7] 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.

ZAHVALA

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

Prije svega zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Igoru Petroviću na pomoći, strpljenju i svim savjetima pri izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem se i svojim ukućanima, dečku i prijateljima koji su mi uljepšali studentske dane i bez koji ni jedan moj uspjeh ne bi bio moguć. Također veliko hvala svim profesorima i asistentima Geotehničkog fakulteta na lijepim i nezaboravnim trenucima.

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Stopa odvojenog sakupljanja otpada u 2018. godini u sklopu javne usluge i usluge povezane s javnom uslugom

Tablica 2.: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- prva vreća

Tablica 3.: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- druga vreća

Tablica 4.: Određivanje vlažnosti uzorka otpada- treća vreća

Tablica 5.: Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka- prvi uzorak

Tablica 6.: Maseni udio biorazgradivog dijela uzorka- drugi uzorak

Tablica 7.: Srednja vrijednost masenog udjela biorazgradivog otpada

Tablica 8.: Određivanje udjela organske tvari u reprezentativnom uzorku

Tablica 9.: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- prvi uzorak

Tablica 10.: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- drugi uzorak

Tablica 11.: Prikaz masenog udjela s obzirom na ukupni uzorak i na pojedinu komponentu- srednja vrijednost

POPIS SLIKA

Slika 1.: Prikaz postrojenja ŽCGO Mariščina

Slika 2.: Komora za biosušenje s kranom i perforiranim podnim pločama

Slika 3.: Uzorak sitne frakcije ŽCGO Mariščina

Slika 4.: Reprezentativni uzorak u vakuumskoj vreći

Slika 5.: Tresalica

Slika 6.: Uzorak u mufolnoj peći

Slika 7.: Komponente reprezentativnog uzorka prije i poslije žarenja

Slika 8.: Komponente uzorka razdvojene prema obliku (s lijeve na desno: plastika, staklo, tekstil)

Slika 9.: Reprezentativni uzorak pripremljen za sušenje

Slika 10.: Uzorak iz ŽCGO Mariščina razdvojen na komponente

Slika 11.: Granulometrijski sastav otpada- srednja vrijednost

Slika 12.: Sita i prosijani uzorci