

Sastav i osnovni geotehnički parametri bioosušenog komunalnog čvrstog otpada

Composition and basic geotechnical parameters of biodried municipal solid waste

*D. Bosilj^{*1}, I. Petrović¹, N. Hrnčić¹, N. Kaniški¹*

¹*Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin*

^{*}*E-mail: dino.bosilj@gfv.unizg.hr*

SAŽETAK

Jedan od učestalih načina obrade komunalnog otpada je biološko-mehanička obrada (BMO). Ova metoda obrade razvijena je s ciljem kako bi se smanjila količina otpada koji se odlaže na odlagalište te kako bi se smanjili negativni učinci odlaganja na okoliš. Nakon provedene BMO otpada kao krajnji produkti obrade mogu se izdvojiti reciklabilni materijali, gorivo iz otpada (GIO) i ostatni dio otpada s još uvijek značajnim udjelom organskog otpada. Ova frakcija pogodna je za odlaganje na posebno uređena, tzv. bioreaktorska odlagališta. Bioreaktorsko odlagalište je sustav u kojem se optimizacijom parametara razgradnje (prvenstveno se misli na održavanje optimalne vlažnosti tijela odlagališta recirkulacijom filtrata) ubrzava mikrobiološka razgradnja kako bi se ostvarila brža stabilizacija odlagališta i maksimizirala količina nastalog odlagališnog plina. Nastali plin moguće je ekstrahirati iz tijela odlagališta te iskoristiti u energetske svrhe. Osnovni preduvjet ispravnog funkcioniranja bioreaktorskog odlagališta je poznavanje sastava odloženog otpada, kao i poznavanje njegovih osnovnih geotehničkih parametara. Stoga se u ovom radu daje prikaz i usporedba utvrđenog sastava i osnovnih geotehničkih parametara ostatne frakcije BMO otpada iz Županijskih centara za gospodarenje otpadom Kaštijun i Marišćina.

ABSTRACT

One of the common methods of processing municipal waste is biological-mechanical processing (BMT). This treatment method was developed with the aim of reducing the amount of waste that is disposed of in the landfill and to reduce the negative effects of disposal on the environment. After the BMT of waste has been carried out, recyclable materials, fuel from waste (RDF) and the remaining part of waste with a still significant proportion of organic waste can be separated as the final products of processing. This fraction is suitable for disposal in specially arranged, so-called bioreactor landfills. A bioreactor landfill is a system in which, by optimizing the decomposition parameters (primarily referring to maintain optimal humidity of the landfill body by recirculating the filtrate), microbiological decomposition is accelerated in order to achieve faster stabilization of the landfill and maximize the amount of landfill gas generated. The resulting gas can be extracted from the body of the landfill and used for energy purposes. The basic prerequisite for the proper functioning of the bioreactor landfill is knowledge of the composition of the disposed waste, as well as knowledge of its basic geotechnical parameters. Therefore, this paper presents a description and comparison of the established composition and basic geotechnical parameters of the remaining fraction of BMT waste. The above parameters were determined on the remaining waste from the Kaštijun and Marišćina County Waste Management Centers.

KLJUČNE RIJEČI: biorektorsko odlagalište, mehanička obrada, biološka obrada, metanogena frakcija

KEY WORDS: bioreactor landfill, mechanical treatment, biological treatment, methanogenic fraction

UVOD

Vlada Republike Hrvatske propisala je koncept hijerarhije gospodarenja otpadom sukladno Okvirnoj direktivi o otpadu 2008/98/EZ te se u tom konceptu navodi da se najmanje poželjnom opcijom smatra odlaganje otpada dok se kao najpoželjnija opcija navodi sprječavanje nastanka otpada. Također je propisano da osim ove mogućnosti postoje i druge tehnologije koje su dio strategije gospodarenja otpadom za oporabu i recikliranje materijala ili proizvodnju energije iz otpada.

Jedna od tehnologija koja je u posljednje vrijeme sve prisutnija kod obrade otpada je biološko-mehanička obrada otpada (BMO). Cilj ove tehnike je redukcija otpada na odlagalištima te isto tako redukcija nepovoljnih učinaka na sastavnice okoliša koje prouzrokuje odlaganje. Jedan od bioloških postupaka obrade je i tzv. postupak biosušenja. Biosušenje je usmjereno na maksimalno uklanjanje vode iz otpadnog materijala pomoću topline koja nastaje razgradnjom organske tvari djelovanjem mikroorganizama, a koja se u posljednjih nekoliko godina u svijetu koristi kao metoda obrade otpadnog materijala bogatog organskom tvari (Wang i dr., 2020).

Nakon završene BMO otpada krajnji produkti koji nastaju obradom su reciklabilni materijali, gorivo iz otpada (GIO) i ostatni dio otpada koji još uvijek sadrži značajan dio organske tvari. Ostatni dio otpada bogat organskom frakcijom pogodan je za odlaganje na posebno uređena biorektorska odlagališta. Biorektorsko odlagalište je sustav u kojem se optimizacijom parametara razgradnje ubrzava mikrobiološka razgradnja kako bi se postigla brža stabilizacija odlagališta te kako bi se maksimizirala količina nastalog odlagališnog plina. Plin koji se razvija može se iz tijela odlagališta ekstrahirati te se isti može iskoristiti u energetske svrhe. Kako bi bili sigurni u ispravno funkcioniranje biorektorskog odlagališta, vrlo je bitno poznavati sastav odloženog otpada kao i njegove osnovne geotehničke parametre.

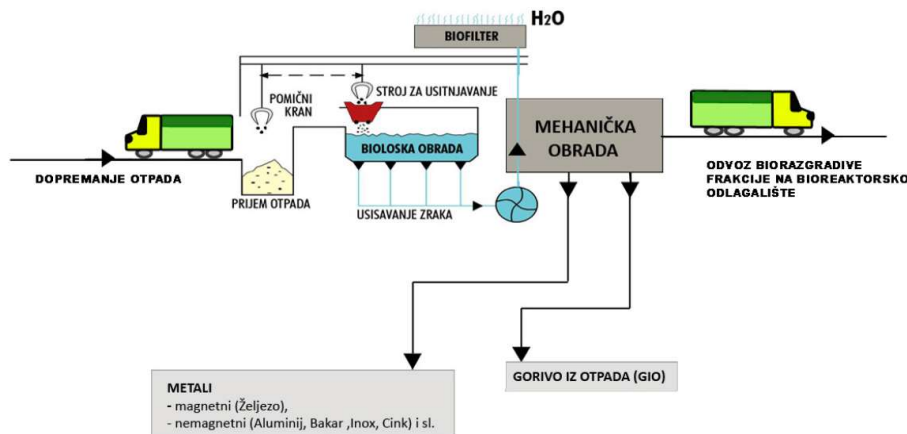
U ovom radu daje se prikaz i usporedba utvrđenog sastava kao i osnovni geotehnički parametri ostatne frakcije BMO otpada. Parametri i sastav utvrđeni su na uzorcima ostatnog otpada iz Županijskih centara za gospodarenje otpadom Kaštijun i Marišćina, a koji su uzorkovani u veljači 2019. godine.

MATERIJALI I METODE

Tehnologije obrade otpada u ŽCGO Kaštijun i Marišćina

Županijski centri za gospodarenje otpadom Marišćina i Kaštijun koriste slične tehnologije obrade te će se u ovom radu prikazati tehnologija obrade za ŽCGO Kaštijun. ŽCGO Kaštijun ubraja se pod postrojenja koja se bave zbrinjavanjem neopasnog otpada s kapacitetom većim od 50 t/dan. Glavna djelatnost postrojenja se odvija u tehnološkoj jedinici (Slika 1) za biološko-mehaničku obradu otpada u sklopu kojeg se nalaze podjedinice za: - prihvata otpada i mehaničku predobradu, - jedinica za

biološku obradu, - te jedinica za mehaničku rafinaciju (Rješenje o okolišnoj dozvoli, 2015).



Slika 1. Princip rada postrojenja Kaštijun (Fundurulja, 2017)

Prihvata otpada i mehanička rafinacija

Komunalni otpad koji je dopremljen u postrojenje odlaže se u jame za prihvata otpada koje se nalaze u halama te se pomoću kрана transportira do dijela postrojenja u kojem se provodi predobrada. Hale u kojima se istovaruje otpad opremljene su vratima koja imaju mogućnost brzog otvaranja i zatvaranja prilikom istovara otpada. Dio postrojenja u kojem se vrši predobrada opremljen je posebnim noževima koji služe za otvaranje vrećica u kojima se nalazi otpad. Zatim, otpad dalje ide na razdvajanje različitih frakcija prema veličini čestica i to pomoću rotacijskog sita. Po završenom postupku separacije veličine čestica, materijal ide na daljnju obradu.

Proces biološke obrade

Otpadni materijal koji je prošao proces prethodne obrade dalje ide na biološku obradu tj. u dio u kojem se odvija biosušenje te se otpadni materijal odlaže u bioreaktore. Glavni cilj procesa biosušenja je stabilizacija i higijenzacija organske tvari, uklanjanje vlage te povećanje kalorijske vrijednosti otpada. Postrojenje za biološku obradu ŽCGO Kaštijun opremljeno je s 12 bioreaktora u kojima se odvija aerobna razgradnja organske komponente. Kod procesa aerobne biorazgradnje dolazi do stvaranja topline koja je produkt razgradnje organske komponente te ta toplina služi za smanjenje sadržaja vlage u otpadu i sušenje otpada i to u što kraćem vremenu. Optimalna temperatura otpadne mase kreće se između 50-60 °C. U bioreaktorima se koristi aerobni sustav prozračivanja koji omogućava dovod potrebne količine kisika mikroorganizmima koji razgradnjom stvaraju potrebnu toplinu za uklanjanje sadržaja vlage iz otpada. U radu Velis i dr. (2009) navedeno je da postupak biosušenja traje između 7 i 15 dana. U ŽCGO Kaštijun postupak traje 7 dana. U postrojenju za biosušenje, svaki bioreaktor je opremljen s hermetičkim poklopcem. Bioreaktori su zatvoreni tijekom biološkog procesa koji se u njima odvija. Obzirom da se postupak biosušenja provodi u zatvorenom sustavu, na taj način neugodni mirisi, prašina i pare koje nastaju za vrijeme odvijanja postupka ne šire se postrojenjem. Kako bi se u svaki dio bioreaktora dovela potrebna količina zraka, te kako bi se omogućilo adekvatno

prozračivanje čitave mase uzorka, ploče na kojima se nalazi otpadni materijal su perforirane. Kao izlazni produkt nakon biosušenja dobiva se bioosušeni materijal s niskom razinom vlage. Nakon provedenog postupka biosušenja, materijal je spreman za daljnju mehaničku obradu. U sklopu postrojenja za biosušenje s vanjske strane nalazi se biofilter za obradu izlaznih plinova.

Proces mehaničke rafinacije

Nakon završenog postupka biosušenja, bioosušeni otpad se dalje transportira do postrojenja za mehaničku rafinaciju. Na trakama za transport izdvaja se sitni materijal (<20 mm) koji je inertan i uglavnom bez ogrijevne vrijednosti. Dio otpadnog materijala koji nije izdvojen na transportnim trakama prvo prolazi kroz uređaje za separaciju te dolazi do izdvajanja željeznih i neželjeznih metala. Ostatak koji nije izdvojen u ovoj fazi čine „teške čestice“ (teški i inertni materijali) te „lake“ čestice (koje imaju vrlo visoku kalorijsku vrijednost i tu se ubrajaju papir i plastika). Navedene komponente tj. lake čestice se koriste za proizvodnju goriva iz otpada. Na kraju mehaničke separacije može se još dodatno instalirati optički separator koji izdvaja kloriranu plastiku te uređaj za usitnjavanje kako bi se povećala specifična površina te kako bi gorivo bilo što kvalitetnije.

Uzorkovanje frakcija otpada iz ŽCGO Marišćina i Kaštijun

Uzorci sitne frakcije bioosušenog komunalnog otpada preuzeti su u veljači 2019. godine iz ŽCGO Marišćina i Kaštijun (Slika 2). Sitna frakcija bioosušenog komunalnog otpada koja je korištena za ispitivanje zapakirana je u vakuumske vreće iz koji je pomoću priručne pumpe uklonjen zrak kako bi se spriječila biorazgradnja uzoraka i razvitak neugodnih mirisa. Doprema i skladištenje uzoraka u laboratorij izvršena je isti dan kada je provedeno i uzorkovanje uzoraka. Kako bi se spriječila razgradnja uskladištenih uzoraka, isti su 24 sata sušeni na 60 °C u sušioniku te ponovno zapakirani u vakuumske vreće iz kojih je isisan zrak.



Slika 2. Sitna frakcija otpada iz ŽCGO Kaštijun i Marišćina

Zatečena vlažnost uzoraka otpada

Laboratorijsko određivanje sadržaja vode (vlage) provedeno je prema standardu ASTM D 2216 za određivanje vlažnosti tla, stijena i sličnih materijala gdje je smanjenje mase sušenjem posljedica gubitka vode. Određivanje sadržaja vlage provedeno je na temelju sušenja uzoraka u sušioniku na 60 °C zbog visokog sadržaja organske tvari. Uzorci su vagani prije i nakon sušenja kako bi se mogao izračunati gubitak vode (ASTM D 2216).

Sastav otpada i sadržaj organske komponente

Određivanje sastava i udjela organske komponente provedeno je na način da su iz čitavih uzoraka ručno razdvojene sastavne komponente koje su potom izvagane kako bi se mogao odrediti maseni udio sastavnih komponenti otpada. Iz uzoraka su izdvojene sljedeće komponente: staklo, metali, plastika, tekstil i odjeća, karton i papir, kosti, koža, drvo, kamenje, keramika, guma, kuhinjski otpad te nerazvrstani otpad.

Postupak utvrđivanja udjela organske komponente u otpadnom materijalu koji nije razvrstan izvršen je na temelju ASTM D 2974 standarda koji služi za određivanje količine vlage, udjela pepela i organske tvari treseta drugih organskih tala žarenjem u peći na 440 °C kroz 24 sata (Slika 3).

Na temelju masenog udjela pojedinih komponenti te udjela organske tvari ostalog nerazvrstanog otpada, izračunati su ukupni maseni udjeli biorazgradivih dijelova te njihove srednje vrijednosti.



Slika 3. Određivanje organskog udjela u peći za žarenje

Granulometrijski sastav

Postupak na temelju kojeg je određen granulometrijski sastav izvršen je prema ASTM D 422 standardu. Prosijavanje uzoraka provedeno je pomoću tresalice i sita različitih otvora. Kod uzoraka iz Kaštijuna čestice su bile dosta veće te je za prosijavanje korišten set sita s većim otvorima okaca. Kod prosijavanja ovih uzoraka korištena su sita s otvorima od 100 mm do 0,5 mm. Zatim je provedeno određivanje granulometrijskog sastava na uzorcima iz Marišćine te s obzirom da se radilo o manjim česticama kod ovih uzoraka su korištena sita s otvorima od 31,5 mm do 0,5 mm.

Postupak utvrđivanja suhe gustoće čvrstih čestica, minimalne i maksimalne gustoće suhih uzoraka

Obzirom da je veličina čestica uzoraka iz ŽCGO Kaštijun bila puno veća nego kod uzoraka iz ŽCGO Marišćina, na ovim uzorcima nije bilo moguće provesti daljnje analize zbog specifičnosti opreme Laboratorija za inženjerstvo okoliša. S druge strane, na uzorcima iz ŽCGO Marišćina čestice sitne frakcije bile su dovoljno malih dimenzija da se na njima izvrše daljnja ispitivanja.

Postupak određivanja gustoće čvrstih čestica na uzorcima sitne frakcije iz ŽCGO Marišćina proveden je u skladu sa standardom ASTM D 5550 koristeći plinski piknometar. Utvrđivanje minimalne gustoće provedeno je prema ASTM D 4254 standardu. Utvrđivanje maksimalne gustoće provedeno je prema ASTM D 4253 standardu.

REZULTATI I RASPRAVA

Vlažnosti uzoraka

Kao što je već ranije navedeno, postupak utvrđivanja vlažnosti uzoraka izvršen je prema ASTM D 2216 standardu te se postupak bazira na utvrđivanju razlike u masama uzoraka prije i nakon sušenja. Rezultati određivanja vlažnosti uzoraka prikazani su u Tablici 1. Na temelju podataka iz Tablice 1 vidljivo je da se vlažnost uzoraka iz ŽCGO Kaštijun kreću između 6,33% i 20,48% sa srednjom vrijednošću vlažnosti sitne frakcije od 13,65%. Vlažnosti uzoraka otpada za sitnu frakciju iz ŽCGO Marišćina kreću se između 5,44% i 10,84% sa srednjom vrijednošću 9,60%. Budući da se kod vlažnosti manje od 20% mikrobiološke aktivnosti zaustavljaju može se zaključiti da je s aspekta sušenja u oba postrojenja proces bio učinkovit.

Tablica 1. Vlažnost uzoraka iz ŽCGO Mariščina i Kaštijun

Uzorci	Mariščina		Kaštijun	
	w (%)	Srednja (%)	w (%)	Srednja (%)
1	10,14	9,60	20,48	13,65
2	8,97		14,02	
3	9,57		13,42	
4	9,98		18,00	
5	9,89		14,67	
6	9,70		13,86	
7	8,25		8,50	
8	9,90		13,94	
9	8,94		15,93	
10	9,00		11,88	
11	10,84		12,64	
12			6,33	
13			13,27	

Sastav otpada i sadržaj organske komponente

Na uzorcima sitne frakcije koji su dopremljeni u laboratorij provedeno je određivanje sastava i sadržaja organske komponente. Uzroci su ručno probrani te su izdvojene sastavne komponente uzoraka koje su zatim izvagane kako bi se odredili maseni udjeli komponenti u uzorcima koji su prikazani u Tablici 2. Iz otpada su izdvojene sljedeće komponente: staklo, metali, papir, karton, plastika, tekstil i odjeća, drvo, kosti i koža, kamenje, keramika, guma, kuhinjski i ostali otpad. Komponente koje nisu mogle biti identificirane kategorizirane su kao „nerazvrstano“.

Tablica 2. Sastav uzoraka otpada

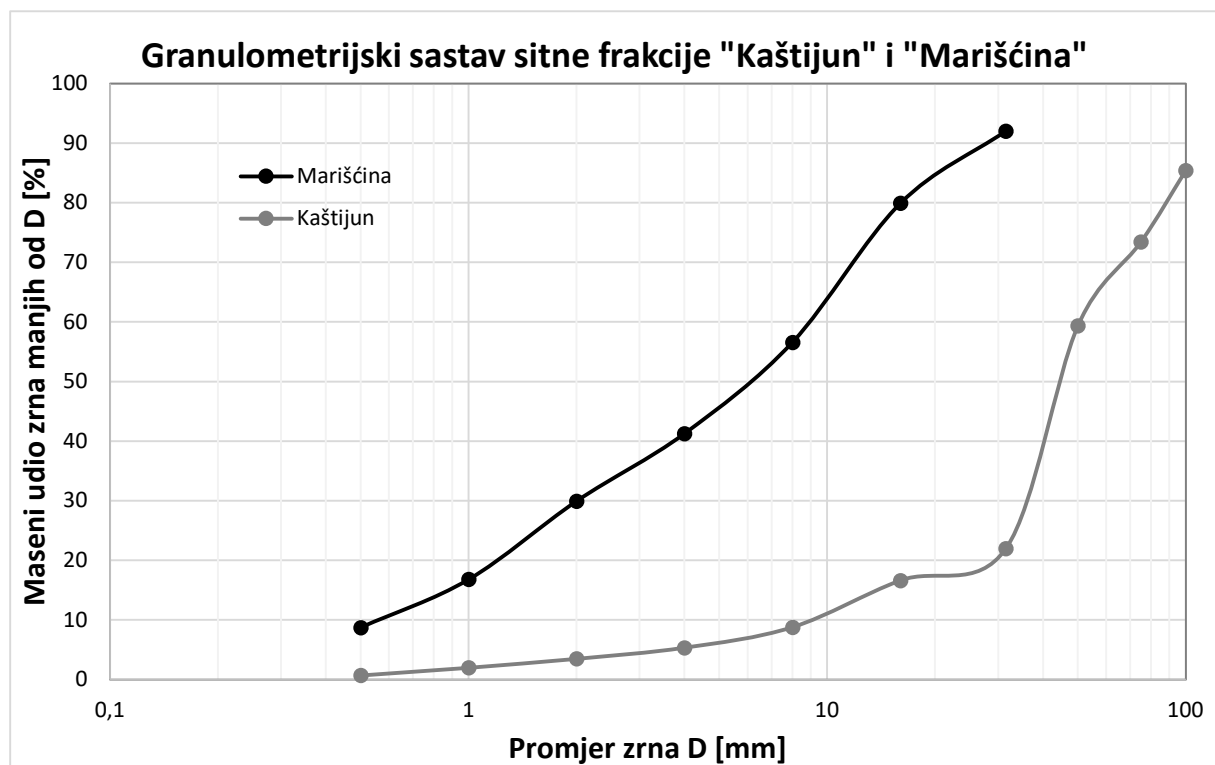
Komponenta	Kaštijun			Mariščina		
	Uzorak 1	Uzorak 2	Srednje	Uzorak 1	Uzorak 2	Srednje
	Maseni udio	Maseni udio	Maseni udio	Maseni udio	Maseni udio	Maseni udio
	%	%	%	%	%	%
Plastika	44,82	35,01	39,915	6,36	6,49	6,425
Tekstil i odjeća	4,99	3,47	4,23	0,18	0,26	0,22
Staklo	5,89	5,27	5,58	11,9	9,34	10,62
Metali	10,43	2,87	6,65	1,11	0,78	0,945
Papir i karton	13,73	19,65	16,69	4,61	4,8	4,705
Drvo	1,39	0,6	0,995	1,2	1,17	1,185
Kosti i koža	0,03	1,45	0,74	0,28	0,13	0,205
Kamenje	1,1	0,73	0,915	2,68	2,85	2,765
Keramika	0,62	1,8	1,21	0,15	0,78	0,465
Guma	0	0,03	0,015	0	0,26	0,13
Kuhinjski otpad	0,97	2,43	1,7	3,14	1,17	2,155
Nerazvrstano	16,03	26,69	21,36	68,39	71,99	70,19
Ukupno	100	100	100	100	100	100

Na temelju podataka iz Tablice 2. za uzorke iz Kaštijuna može se vidjeti da najveći udio u sastavu ovih uzoraka ima plastika i to 39,9%. Srednja vrijednost otpada koji je ostao nerazvrstan i na kojem je provedeno određivanje organske komponente zastupljen je u masenom udjelu od 21,36%. Kod uzoraka iz Marišćine udio plastike u sastavu je dosta nizak (6,4%), dok je maseni udio nerazvrstano otpada 70,19%. Sličan se odnos može uočiti i za druge komponente, primjerice papir. Iz navedenog se zaključuje da se u ŽCGO Marišćina provodi invazivniji postupak obrade nakon kojeg obrađene komponente otpada u većini slučajeva više nije moguće identificirati.

Srednja vrijednost i maseni udio biorazgradivog dijela otpadne sitne frakcije iz Kaštijuna iznosila je 32,12 %, dok je ta vrijednost za uzorke iz Marišćine iznosila 43,75%.

Granulometrija

Rezultati utvrđenog granulometrijskog sastava prikazani su na Slici 4. Za sitnu frakciju iz ŽCGO Kaštijun može se zaključiti da se radi o loše graduiranom krupnozrnatom materijalu, dok se za sitnu frakciju iz ŽCGO Marišćina može vidjeti da se radi o dobro graduiranom krupnozrnatom materijalu.



Slika 4. Granulometrija sitne frakcije iz Kaštijuna i Marišćine

Po završenom postupku određivanja granulometrije na uzorcima sitnih otpadnih frakcija iz Kaštijuna i Marišćine te na temelju rezultata izvršenih ispitivanja utvrđeno je da na sitnoj otpadnoj frakciji koja je preuzeta iz Kaštijuna nisu moguće daljnje analize s obzirom na veličinu čestica samih uzoraka i na temelju dimenzija uređaja u laboratoriju. Veličine čestica sitne otpadne frakcije iz Marišćine su dovoljnih dimenzija da se na njima mogu izvršiti daljnja ispitivanja i analize. Iz navedenih razloga u

nastavku ovog rada prikazati će se mjerenja gustoće čvrstih čestica, minimalne i maksimalne suhe gustoće na uzorcima sitne frakcije iz Marišćine.

Postupak utvrđivanja suhe gustoće čvrstih čestica, minimalne i maksimalne gustoće suhih uzoraka

Određivanje gustoće čvrstih čestica sitne frakcije iz ŽCGO Marišćina provedeno je mjerenjem uzoraka i to pomoću plinskog i vodenog piknometra. Mjerenjima plinskim piknometrom utvrđena je srednja vrijednost gustoće čvrstih čestica koja je iznosila $1,872 \text{ g/cm}^3$. Detaljnija rasprava o problematici određivanja gustoće čestica otpada može se pronaći primjerice u Kaniški i dr. (2020) i Petrović i dr. (2022).

Određivanje minimalne gustoće i minimalnog koeficijenta pora provedeno u kalupu promjera 152,43 mm koji ima poznati volumen. Prije ispitivanje uzorci su osušeni na $60 \text{ }^\circ\text{C}$ te nakon toga ispitani. Srednja minimalna gustoća uzorka u najrahljijem stanju iznosila je $172,07 \text{ kg/m}^3$. Postupak određivanja maksimalne gustoće i minimalnog koeficijenta pora proveden je na sličan način samo što se ovdje u kalup s uzorkom stavlja uteg te se sve skupa postavlja na tresalicu. Srednja maksimalna gustoća suhog uzorka sitne frakcije iz ŽCGO Marišćina u najzbijenijem stanju iznosila je $383,34 \text{ kg/m}^3$. Više detalja o problematici određivanja minimalne i maksimalne gustoće otpada i pripadajućih koeficijenata pora može se pronaći primjerice u Hrnčić i dr. (2021).

ZAKLJUČAK

U ovom radu daje se prikaz i usporedba utvrđenog sastava i osnovnih geotehničkih parametara ostatne frakcije BMO otpada. Navedeni parametri utvrđeni su na ostatnom otpadu iz Županijskih centara za gospodarenje otpadom Kaštijun i Marišćina uzorkovanim u veljači 2019. godine. Na uzorcima bioosušenog otpada određeni su sljedeći geotehnički parametri: vlažnost, udio organske komponente, granulometrija, gustoća čvrstih čestica, minimalna gustoća suhog uzorka i maksimalna gustoća suhog uzorka. Kod određivanja osnovnih geotehničkih parametara na uzorcima sitne otpadne frakcije iz ŽCGO Marišćina, svi parametri su uspješno određeni, dok kod uzoraka sitne otpadne frakcije iz Kaštijuna nije bilo moguće odrediti sve parametre zbog većih dimenzija čestica. Zbog specifičnosti veličine čestica na ovim uzorcima nisu određivane gustoća čvrstih čestica, minimalna gustoća suhog uzorka kao i maksimalna gustoća suhog uzorka. Na kraju ovog rada prikazani su rezultati određivanja osnovnih geotehničkih parametara kao i usporedba parametara između uzoraka iz ŽCGO Marišćina i Kaštijun.

ZAHVALA

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

LITERATURA

ASTM D 422 Standard Test Methods for Particle-Size Analysis of Soils.

ASTM D 2216 Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

ASTM D 2974 Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils.

ASTM D 4253 Standard Test Methods for Maximum Indeks Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table

ASTM D 4254 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density

ASTM D 5550 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer

BS 1377 Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes

Fundurulja D., IPC 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 Istarske županije „Kaštijun“ Premanturska cesta 215, 52100 Pula, Zagreb

Hrnčić, N.; Kaniški, N. & Petrović, I. (2021) Maximum and minimum void ratio characteristics of MBT waste. U: 9th International Symposium Circular Economy, MBT, MRF and Recycling 2021.

Kaniški, N., Hrnčić, N. & Petrović, I. (2020) Applicability of the large pycnometer method for determination of specific gravity of mechanically and biologically treated waste. U: Shiau, J. & Vimonsatit, V. (ur.) Proceedings of the International conference on recent trends in Construction engineering and education, Geotechnical and Geoenvironmental engineering and education.

Petrovic, I.; Kaniski, N.; Hrnčić, N.; Bosilj, D. Variability in the Solid Particle Density and Its Influence on the Corresponding Void Ratio and Dry Density: A Case Study Conducted on the MBT Reject Waste Stream from the MBT Plant in Marišćina, Croatia. Appl. Sci. 2022, 12, 6136. <https://doi.org/10.3390/app12126136>

Rješenje o okolišnoj dozvoli za postrojenje – novo postrojenje Županijski centar za gospodarenje otpadom Istarske županije „Kaštijun“, Republika Hrvatska, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Klasa: UP/I 351-03/14-02/19, UBROJ: 517-06-2-2-14-45, Zagreb, (2015).

Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: a review of process science and engineering. Bioresource Technology, 100(11), 2747-2761.

Waste Framework Directive 2008/98/EC <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2008/98/contents>

Wang, Yang-Yan & Zheng, Sheng-Wei & Gao, Ding & Cai, Lu. (2020). The organic Degradation and Potential Microbial Function in a 15-Day Sewage Sludge Biodrying. *Compost Science & Utilization*. 28. 1-9. 10.1080/1065657X.2020.1749183.