

Analiza biološki i mehanički obrađenog miješanog komunalnog otpada metodom izluživanja

Analysys of biologically and mechanically treated mixed communal waste by leaching test

Anamaria Mesarek, Nikola Hrnčić¹, Aleksandra Anić Vučinić¹, Igor Petrović¹

¹Zavod za inženjerstvo okoliša, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin, Hrvatska

¹Department of Environmental Engineering, University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering, Varazdin, Croatia

Sažetak

Izluživanje je proces izdvajanja topljivih tvari iz smjese pomoću vode, lužina i kiselina. U kontekstu gospodarenja otpadom, a naročito prilikom odlaganja otpada, izluživanje je proces koji nastaje uslijed izlaganja odloženog otpada djelovanju oborina. Na taj se način pojavljuje opasnost da potencijalno opasni elementi i spojevi sadržani u otpadu izluživanjem dospiju u procjedne vode (eluat) odlagališta i ugroze okoliš. Radi karakterizacije i procjene štetnih i toksičnih tvari koje se mogu pojaviti u eluatu kroz izluživanje, razvijene su različite analitičke metode i testovi. U sklopu ovog rada, prikazat će se rezultati provedene karakterizacije ispitnog otpada provjerom izluživanja, prema hrvatskom standardu HRN EN 12457-1:2005 [1] i EN 12457-2:2005 [2]. Ispitani materijal je biološko-mehanički obrađen (BMO) miješani komunalni otpad uzorkovan unutar Županijskog centra za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Mariščina, točnije tzv. sitna frakcija BMO otpada namijenjena za odlaganje na odlagalište podkategorije 1, sukladno Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta (NN 114/15, 103/18 i 56/19) [3]. Iako prema Pravilniku [3] za ovakav otpad nije potrebno utvrđivati granične vrijednosti parametara eluata, cilj ovog ispitivanja je bio utvrđivanje prikladnosti BMO otpada za odlaganje na odlagalište podkategorije 2 uzimajući u obzir i granične vrijednosti parametara eluata. Nadalje, radi usporedbe rezultata dobivenih različitim metodama ispitivanja korištene su dvije metode: metoda s mehaničkim miješanjem i metoda s mehaničkim valjcima, a materijal je ispitan pri različitim omjerima tekuće-čvrsto (L/S).

Ključne riječi

BMO otpad, biorektorsko odlagalište, izluživanje

Abstract

Leaching is the process of extracting soluble substances from the mixture using water, alkalis and acids. In the context of waste management, and especially during waste disposal, leaching is a process that occurs as a result of exposure of the disposed waste to precipitation. In this way, there is a danger that potentially dangerous elements and compounds contained in the waste will leach into the leachate (eluate) of the landfill and endanger the environment. In order to characterize and evaluate harmful and toxic substances that may appear in the eluate through leaching, various analytical methods and tests have been developed. In this paper, the results of the conducted characterization of the examined waste by leaching test, according to the Croatian standard HRN EN 12457-1:2005 [1] and EN 12457-2:2005 [2], are presented. The tested material is biologically-mechanically treated (BMT) mixed municipal waste sampled within the County Waste Management Center (ŽCGO) Marišćina, more precisely the so-called fine fraction of BMT waste intended for disposal on a subcategory 1 landfill, in accordance with the Ordinance on waste disposal methods and conditions, categories and operating conditions for landfills (Official Gazette 114/15, 103/18 and 56/19) [3]. Although according to the Ordinance [3], it is not necessary to determine the limit values of eluate parameters for such waste, the goal of this tests was to determine the suitability of BMT waste for disposal on a subcategory 2 landfill, taking into account the limit values of eluate parameters. Furthermore, in order to compare the results obtained by different test methods, two methods were used: the method with end-over-end tumbler and the method with roller mixer, and the material was tested at different liquid to solid ratios (L/S).

Keywords

BMT waste, bioreactor landfill, leaching

1 Uvod

Prema podacima iz Izvješća o komunalnom otpadu za 2020. godinu [4], u Hrvatskoj je nastalo ukupno 1692966 tona komunalnog otpada, što u prosjeku predstavlja 418 kg/god/st. Od navedene količine komunalnog otpada 56 % je odloženo na odlagališta. Odlagališta predstavljaju potencijalni izvor raznih toksičnih tvari koje su sadržane u odloženom otpadu. U otpadu se mogu pronaći brojne organske i anorganske komponente. Organski dio otpada sačinjavaju papir, plastika, ostaci hrane, tekstil, drvo, koža, gume i slično, a posljedica razgradnje organskih tvari u odloženom otpadu je proizvodnja ugljičnog dioksida (CO₂) i metana (CH₄). U anorganske komponente otpada spadaju različiti mineralni spojevi u ionskom obliku kao što su ioni kalcija, magnezija, natrija, kalija, amonija, željeza, bikarbonata, klora, sulfata i drugo. Osim navedenih iona, anorganski dio otpada sačinjavaju i otpadno staklo, razni metali (izuzev aluminija), aluminij i inertni materijali poput građevinskog otpada, kamenja i tla [5].

Tijekom istiskivanja tekućine iz odloženog otpada, zbog njegove težine i zbog procjeđivanja oborinske vode kroz odlagalište, dolazi do stvaranja procjednih voda (eluata). Procjedne vode prolaze kroz odloženi otpad, nastaju u odloženom otpadu ili su sadržane u njemu [6]. Radi određivanja i definiranja što točnijeg sastava otpada i procjednih voda koristi se laboratorijska simulacija, provjera izluživanja. Proces izluživanja ovisi o brojnim fizičkim parametrima ispitano materijala, kao što su: homogenost, veličina čestica, temperatura, propusnost, poroznost, omjer tekućeg i čvrstog, vrijeme kontakta između tekuće i čvrste faze i dr. [7]. Eluat dobiven tijekom provjere izluživanja se sastoji od desorbiranih, dispergiranih i otopljenih tvari sadržanih u ispitano uzorku, a vrijednosti koncentracija parametara eluata predstavljaju osnovni kriterij za klasifikaciju otpada i identifikaciju njegovog utjecaja na okoliš i ljudsko zdravlje [2].

2 Materijali i metode

Materijal nad kojim su izvršena ispitivanja je uzorkovan unutar Županijskog centra za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Marišćina. Centar se nalazi u Istri te služi prikupljanju i obradi miješanog komunalnog otpada. Obrada u centar dopremljenog otpada započinje njegovim grubim mehaničkim usitnjavanjem na čestice manje od 200 mm. Usitnjeni otpad se dalje otprema u bioreaktor u kojem se vrši biološka obrada otpada. Otpad se suši uslijed djelovanja prisilne aeracije i povećane temperature koja je posljedica aerobne razgradnje organske frakcije otpada.

Bioosušeni otpad se nakon biosušenja dodatno usitjava i rafinira uz izdvajanje reciklabilnih materijala iz otpada (metali, plastika i sl.). Rezultati takve biološko mehaničke obrade (BMO) otpada su različiti izlazni produkti iz postrojenja. Za potrebe ovog istraživanja, ispitana je tzv. sitna frakcija BMO miješanog komunalnog otpada (Slika 1). Frakciju karakterizira nominalna veličina zrna koja je manja od 25 mm. Ta izlazna frakcija je zbog svojih karakteristika i visokog organskog udjela pogodna za ugradnju u bioreaktorsko odlagalište te proizvodnju metana zbog čega se još naziva i metanogenom frakcijom.



Slika 1 Metanogena frakcija BMO otpada

2.1 Fizikalna svojstva materijala

Radi provođenja osnovne klasifikacije materijala provedena su slijedeća ispitivanja njegovih fizikalnih svojstava: sadržaj vlage, fizikalni sastav, granulometrijska analiza, određivanje organskog udjela i određivanje gustoće čestica.

S obzirom na nepostojanje odgovarajućih standarda za tu vrstu materijala, ispitivanja su izvršena sukladno odgovarajućim međunarodnim ASTM standardima koji se uobičajeno koriste prilikom laboratorijskih ispitivanja tla i stijene.

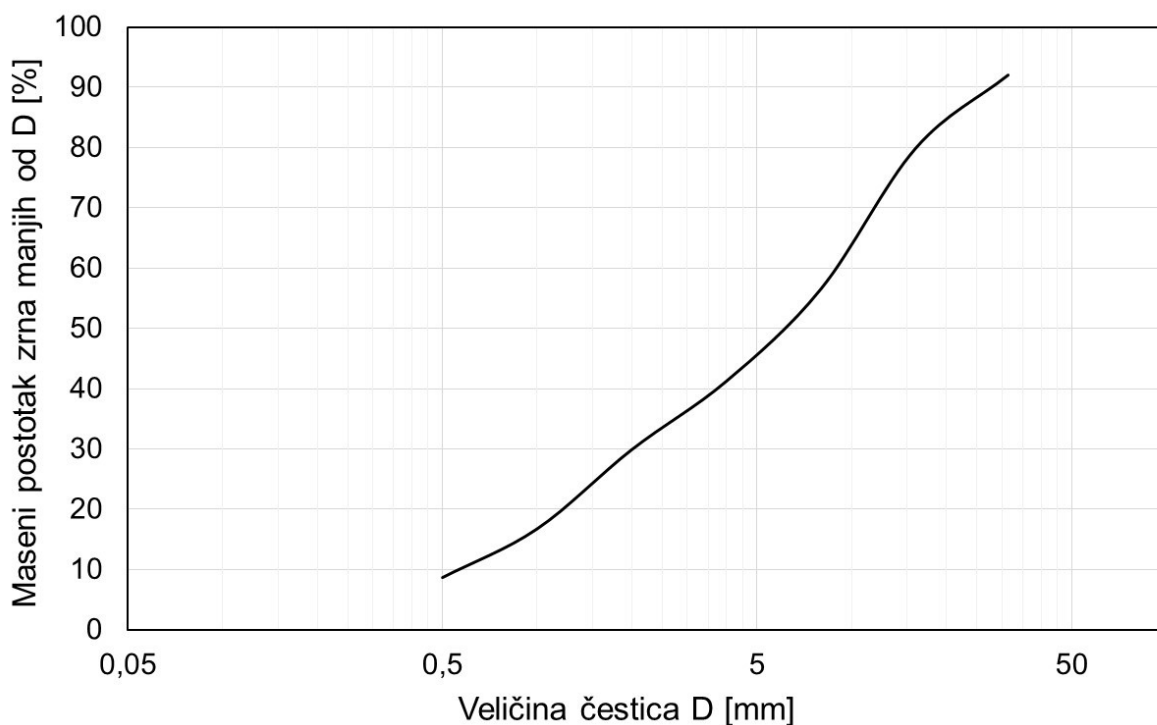
Sadržaj vlage je utvrđen prema standardu ASTM D 2216 [8]. Uzorci su vagani, sušeni u peći te ponovno vagani. Zbog očekivanog visokog udjela organskih tvari u uzorku, temperatura sušenja u peći je smanjena na 60°C, sukladno preporukama standarda. Prosječna vrijednost vlažnosti za in situ uvjete materijala iznosi 9,60 %.

Fizikalni sastav BMO otpada je utvrđen ručnim izdvajanjem pojedinih komponenti sadržanih u uzorku te njihovim vaganjem. Radi intenzivne obrade materijala unutar ŽCGO Marišćina, za oko 70 % mase uzorka nije bilo moguće utvrditi pripadnost određenoj komponenti. Neidentificirani materijal je prosijan kroz sito s otvorima od 2 mm te klasificiran kao neidentificirani materijal sa zrnima manjim odnosno većim od 2 mm. Rezultati su prikazani u Tablici 1. Komponente koje u pogledu masenog udjela prevladavaju su staklo, plastika i papir.

Tablica 1 Maseni udio komponenata metanogene frakcije BMO otpada

Komponenta	Maseni udio (%)
Plastika	6,43
Tekstil	0,22
Staklo	10,62
Metali	0,94
Papir/karton	4,71
Drvo	1,18
Kosti/koža	0,20
Kamenje	2,76
Keramika	0,46
Guma	0,13
Kuhinjski otpad	2,15
Neidentificirano > 2 mm	42,48
Neidentificirano < 2 mm	27,71
Ukupno	100

Granulometrijska analiza je provedena sukladno standardu ASTM D 422 [9]. Osušeni materijal je prosijan kroz niz sita različitih veličina otvora (od 31,5 do 0,5 mm) pomoću mehaničke tresalice. Na temelju rezultata prosijavanja iscrtana je granulometrijska krivulja prikazana na Slici 2 te su određeni karakteristični koeficijenti, koeficijent jednoličnosti ($C_u = 14,23$) i koeficijent zakrivljenosti ($C_c = 1,07$). Ispitani BMO otpad je klasificiran kao dobro graduiran krupnozrnati materijal.



Slika 2 Granulometrijska krivulja metanogene frakcije BMO otpada

Organski udio u BMO otpadu je utvrđen prema standardu ASTM D 2974 [10], žarenjem reprezentativnog uzorka u peći za žarenje na temperaturi od 440°C. Prosječni organski udio iznosi 51,60 % mase uzorka.

Za potrebe određivanja gustoće čestica materijala, korišten je modificirani plinski piknometar, sukladno standardu ASTM D 5550 [11]. Prosječna gustoća čestica iznosi 1,87 g/cm³.

2.2 Postupak izluživanja

Postupak provjere izluživanja je proveden standardnim testom izluživanja, sukladno s hrvatskim standardom HRN EN 12457-1:2005 Karakterizacija otpada - Izluživanje - Provjera izluživanja znatoga otpadnog materijala i muljeva - 1. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 2 L/kg za materijale s visokim sadržajem krutina i veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja) [1] odnosno HRN EN 12457-2:2005 Karakterizacija otpada - Izluživanje - Provjera izluživanja znatoga otpadnog materijala i muljeva - 2. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10 L/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja) [2]. Ispitani BMO otpad nije dodatno usitnjavao kako bi se analizom dobili rezultati koji što više odgovaraju in situ stanju odloženog otpada. Sam postupak ispitivanja se sastoji od više faza. Najprije se određena masa suhog uzorka nasipava u prikladnu posudu u koju se zatim dolijeva točno određeni volumen otopine za izluživanje. Odnos volumena otopine za izluživanje i mase uzorka definiran je

omjerom tekuće-čvrsto (L/S omjer), sukladno standardu. Nakon toga se zatvorena posuda koja sadržava uzorak i otopinu za izluživanje podvrgava procesu rotacijskog miješanja kroz određeni vremenski period. Eluat se nakon miješanja filtrira kroz odgovarajući filter te se dobiva filtrirani eluat koji se dalje prosljeđuje na kemijsku analizu.

Za potrebe ovog istraživanja, ispitano je ukupno 8 uzoraka BMO otpada. Uzorci su pripremljeni s dva različita L/S omjera, 4 uzorka s L/S omjerom od 2 L/kg i 4 uzorka s L/S omjerom od 10 L/kg (Slika 3). Kako bi se postigli navedeni omjeri, na 100 g suhog uzorka otpada je dodana količina od 200 mL odnosno 1000 mL destilirane vode.



Slika 3 Posude s uzorcima pripremljenim za provjeru izluživanja

Također, radi dodatne mogućnosti usporedbe rezultata, proces miješanja uzorka s otopinom za izluživanje proveden je dvjema različitim metodama: metodom mehaničke miješalice s prevrtanjem posuda i metodom s mehaničkim valjcima (Slika 4). U obje primijenjene metode, posude su miješane kroz 24 sata, ali različitom brzinom koja u slučaju mehaničke miješalice iznosi 6 okretaja u minuti odnosno u slučaju mehaničkih valjaka 10 okretaja u minuti. Od 8 pripremljenih uzoraka, po 4 uzorka su miješana sa svakom od ove dvije navedene metode. Od ta 4 uzorka za svaku metodu miješanja, 2 uzorka su ispitana pri L/S omjeru od 2 L/kg, a 2 uzorka pri L/S omjeru od 10 L/kg. Nakon završetka postupka miješanja, eluat iz svake posude je profiltriran kroz membranski filter s porama promjera 0,45 μm te prosljeđen na daljnju analizu.



Slika 4 Uređaji za miješanje posuda s uzorcima: mehanička miješalica (lijevo) i mehanički valjci (desno)

2.3 Kemijska analiza eluata

Kemijska analiza eluata je provedena sukladno Direktivi Vijeća 1999/31/EZ o odlagalištima otpada [12]. U sklopu Direktive [12] je naveden niz parametara čije je koncentracije potrebno izmjeriti tijekom kemijske analize eluata (Tablica 2). S obzirom na izmjerene koncentracije parametara u eluatu, otpad je moguće klasificirati na inertni, neopasni odnosno opasni otpad. Za potrebe takve klasifikacije, Direktivom [12] su definirane granične vrijednosti koncentracija pojedinih parametara, izražene u mg/kg suhe tvari, u odnosu na L/S omjer korišten tijekom analize, dakle za L/S od 2 L/kg odnosno za L/S od 10 L/kg. Usporedbom izmjerenih koncentracija parametara s definiranim graničnim vrijednostima, otpad se svrstava u jednu od navedene tri klase. Manja koncentracija parametara u eluatu znači povoljniju klasifikaciju otpada.

Tablica 2 Granične vrijednosti koncentracija parametara u eluatu

Klasifikacija	Inertni otpad		Neopasni otpad		Opasni otpad	
	2 L/kg	10 L/kg	2 L/kg	10 L/kg	2 L/kg	10 L/kg
Parametar	Koncentracija (mg/kg suhe tvari)					
As	0,1	0,5	0,4	2	6	25
Ba	7	20	30	100	100	300
Cd	0,03	0,04	0,6	1	3	5
Cr	0,2	0,5	4	10	25	70

Cu	0,9	2	25	50	50	100
Hg	0,003	0,01	0,05	0,2	0,5	2
Mo	0,3	0,5	5	10	20	30
Ni	0,2	0,4	5	10	20	40
Pb	0,2	0,5	5	10	25	50
Sb	0,02	0,06	0,2	0,7	2	5
Se	0,06	0,1	0,3	0,5	4	7
Zn	2	4	25	50	90	200
Cl⁻	550	800	10000	15000	17000	25000
F⁻	4	10	60	150	200	500
SO₄²⁻	560	1000	10000	20000	25000	50000
DOC*	240	500	380	800	480	1000
TDS**	2500	4000	40000	60000	70000	100000

* Otopljeni organski ugljik

** Ukupno otopljene krute tvari

3 Rezultati provjere izluživanja

Rezultati izmjerenih koncentracija parametara za svih osam analiziranih uzoraka prikazani su u Tablici 3 i Tablici 4. Tablica 3 prikazuje rezultate analize za prva 4 uzorka, pripremljena s L/S omjerom od 2 L/kg, pri čemu su posude s prva dva uzorka miješane mehaničkom miješalicom (uzorci oznaka U1-2M i U2-2M), dok su posude s druga dva uzorka miješane mehaničkim valjcima (uzorci oznaka U1-2V i U2-2V). Analogno, Tablica 4 prikazuje rezultate analize za druga 4 uzorka, pripremljena s L/S omjerom od 10 L/kg, od kojih su posude s prva dva uzorka miješane mehaničkom miješalicom (uzorci oznaka U1-10M i U2-10M), dok su posude s druga dva uzorka miješane mehaničkim valjcima (uzorci oznaka U1-10V i U2-10V). Radi mogućnosti usporedbe izmjerenih koncentracija s graničnim vrijednostima koncentracija prikazanim u Tablici 2 i klasifikacije otpada, vrijednosti koncentracija parametara eluata su također izražene u mg/kg suhe tvari. Usporedbom rezultata ispitivanja s graničnim vrijednostima je utvrđeno da prema vrijednostima pojedinih parametara BMO otpad možemo klasificirati većinom kao inertni ili kao neopasni otpad. Radi lakšeg razlučivanja, u Tablici 3 i Tablici 4, ćelije s izmjerenim vrijednostima parametara koje BMO otpad klasificiraju kao neopasni otpad su uokvirene podebljanim linijama, vrijednosti parametara koje BMO otpad klasificiraju kao inertni otpad su podcrtane dok su vrijednosti parametara koje BMO otpad klasificiraju kao opasni otpad ispisane podebljano.

Tablica 3 Koncentracije parametara eluata, L/S omjer 2 L/kg

Metoda miješanja	miješalica	miješalica	valjci	valjci
L/S omjer	2 L/kg	2 L/kg	2 L/kg	2 L/kg
Oznaka u-zorka	U1-2M	U2-2M	U1-2V	U2-2V
Parametar	Koncentracija (mg/kg suhe tvari)			
As	<u>0,06254</u>	<u>0,09083</u>	<u>0,06203</u>	<u>0,07674</u>
Ba	<u>1,3850</u>	<u>2,1670</u>	<u>0,9275</u>	<u>2,1460</u>
Cd	<u>0,001607</u>	<u>0,000943</u>	<u>0,002264</u>	<u>0,001909</u>
Cr	0,447	0,375	0,288	0,495
Cu	<u>0,245</u>	<u>0,950</u>	<u>0,230</u>	<u>0,600</u>
Hg	<u>< 0,000009</u>	<u>0,000281</u>	<u>< 0,000009</u>	<u>0,000211</u>
Mo	0,8490	0,3975	0,7380	0,6394
Ni	1,2732	0,9361	0,7640	1,1786
Pb	<u>0,00333</u>	<u>0,00827</u>	<u>0,00312</u>	<u>0,01108</u>
Se	<u>0,003554</u>	<u>0,003195</u>	<u>0,00314</u>	<u>0,002815</u>
Zn	12,12	11,04	5,78	9,42
Cl ⁻	4190	3720	3560	3510
F ⁻	14,60	16,30	17,70	19,00
SO ₄ ²⁻	2060	1940	1940	2120
DOC	16710	15920	9393	12930
TDS	8700	8250	7700	8020

Tablica 4 Koncentracije parametara eluata, L/S omjer 10 L/kg

Metoda miješanja	miješalica	miješalica	valjci	valjci
L/S omjer	10 L/kg	10 l/kg	10 L/kg	10 L/kg
Oznaka u-zorka	U3-10M	U4-10M	U3-10V	U4-10V
Parametar	mg/kg suhe tvari			
As	<u>0,02036</u>	<u>0,02120</u>	<u>0,01729</u>	<u>0,02379</u>
Ba	<u>0,4993</u>	<u>0,8972</u>	<u>0,3754</u>	<u>0,6301</u>
Cd	<u>0,000076</u>	<u>0,000141</u>	<u>0,000193</u>	<u>0,000281</u>

Cr	<u>0,319</u>	<u>0,072</u>	<u>0,078</u>	<u>0,067</u>
Cu	<u>0,135</u>	<u>0,115</u>	<u>0,223</u>	<u>0,397</u>
Hg	<u>0,000009</u>	<u>0,000015</u>	<u>< 0,000009</u>	<u>0,000105</u>
Mo	<u>0,4606</u>	<u>0,2130</u>	<u>0,3359</u>	<u>0,2807</u>
Ni	<u>0,3054</u>	<u>0,3231</u>	0,4217	<u>0,3910</u>
Pb	<u>0,00222</u>	<u>0,00168</u>	<u>0,00421</u>	<u>0,00377</u>
Se	<u>< 0,00005</u>	<u>< 0,00005</u>	<u>< 0,00005</u>	<u>< 0,00005</u>
Zn	<u>1,89</u>	<u>2,33</u>	<u>2,71</u>	<u>2,90</u>
Cl⁻	<u>400</u>	<u>530</u>	<u>540</u>	<u>400</u>
F⁻	10,20	<u>9,90</u>	10,30	<u>9,90</u>
SO₄²⁻	<u>640</u>	<u>800</u>	<u>580</u>	<u>900</u>
DOC	2630	2675	2443	2486
TDS	<u>2480</u>	<u>2570</u>	<u>2540</u>	<u>2420</u>

Analizom vrijednosti parametara za sve uzorke utvrđene su varijacije u izmjerenim vrijednostima. Vrijednosti izmjerenih parametara značajno variraju ovisno o L/S omjeru pri kojem su ispitivanja provedena. Koncentracije svih parametara su višestruko veće u slučaju manjeg L/S omjera od 2 L/kg u odnosu na koncentracije izmjerene u slučaju većeg L/S omjera od 10 L/kg. Najveće razlike, u odnosu na L/S omjer, se mogu primijetiti kod parametara cink (Zn) i otopljeni organski ugljik (DOC). Koncentracija cinka izmjerena pri manjem L/S omjeru je za 6,4 puta veća od koncentracije cinka izmjerene pri većem L/S omjeru (usporedba vrijednosti za uzorke U1-2M i U3-10M). Isto tako, vrijednost DOC-a je za slučaj manjeg L/S omjera 6,8 puta veća nego u slučaju manjeg L/S omjera (usporedba vrijednosti za uzorke U1-2M i U3-10V). Značajne razlike u vrijednostima parametara utječu na klasifikaciju ispitanog BMO otpada. Tako je BMO otpad prema vrijednostima izmjerenim pri L/S omjeru od 2 L/kg, za većinu parametara, moguće klasificirati kao neopasni otpad. S druge strane, prema koncentracijama parametara izmjerenim pri većem L/S omjeru od 10 L/kg, BMO otpad je u slučaju gotovo svih vrijednosti parametara moguće klasificirati kao inertni otpad. Parametar čije vrijednosti koncentracija premašuju granične vrijednosti za opasni otpad je DOC i to vrijedi u slučaju svih osam ispitanih uzoraka, neovisno o L/S omjeru. Detaljnijom analizom moguće je utvrditi da postoje i određene razlike koje su ovisne i o odabranoj metodi miješanja kod uzoraka ispitanih pri istom L/S omjeru. Također, razlike postoje i u vrijednostima koncentracija parametara kod uzoraka ispitanih istom metodom miješanja i pri istom L/S omjeru. Spomenute razlike variraju ovisno o promatranom parametru, bez nekih jasnih zakonitosti, te se mogu pripisati izrazitoj nehomogenosti ispitanog BMO otpada.

4 Zaključak

U sklopu predstavljenog istraživanja, analizirana je sitna metanogena frakcija BMO otpada iz ŽCGO Marišćina, s naglaskom istraživanja na provjeru izluživanja. Postupak je proveden sukladno važećim hrvatskim standardima. Ukupno je ispitano osam uzoraka, pripremljenih pri različitim L/S omjerima od 2 L/kg odnosno od 10 L/kg. Osim razlike u L/S omjeru, ispitivanja su provedena i s dvije različite metode miješanja: miješanjem mehaničkom miješalicom i miješanjem pomoću uređaja s mehaničkim valjcima.

Analizom rezultata provedene kemijske analize parametara eluata utvrđene su značajne razlike ovisne o odabranom L/S omjeru prilikom pripreme uzoraka za ispitivanje. Pri manjem L/S omjeru (2 L/kg) izmjerene su višestruko veće koncentracije (u mg/kg suhe tvari) svih parametara u odnosu na veći L/S omjer (10 L/kg). Povećanjem L/S omjera dolazi do smanjenja ukupne količine ispranih tvari iz uzorka. Utvrđene razlike utječu na mogućnost klasifikacije BMO otpada. Manje koncentracije izmjerene pri većim L/S omjerima omogućavaju svrstavanje BMO otpada, s obzirom na vrijednosti većine parametara, u kategoriju inertnog otpada dok veće izmjerene koncentracije pri manjem L/S omjeru, u slučaju većine parametara, svrstavaju BMO otpad u kategoriju neopasnog otpada. Parametar koji je ujednačeno visok kod svih osam uzoraka je otopljeni organski ugljik, DOC, što je posljedica sastava BMO otpada (prevladavaju plastika i papir/karton) odnosno visokog masenog udjela organskog sadržaja u otpadu (51,60 %). Detaljnija analiza otkriva i određene razlike koje ovise o primijenjenoj metodi miješanja, a razlike postoje i unutar uzoraka pripremljenih s istim L/S omjerom i miješanih istom metodom miješanja, bez jasne zakonitosti u varijacijama. Navedene razlike su posljedica vrlo izražene heterogenosti ispitivanog materijala.

Kada bi se ispitani BMO otpad, umjesto na odlagalište podkategorije 1, želio odložiti na odlagalište za neopasni otpad podkategorije 2, sukladno zahtjevima Pravilnika o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15) [3], i uzimajući u obzir izmjerene koncentracije parametara eluata, trebalo bi ga podvrgnuti dodatnoj biološkoj obradi s ciljem dodatnog smanjenja DOC parametra.

Radi provjere i potvrde dobivenih rezultata nužna je provedba dodatnih ispitivanja predmetnog materijala.

Zahvala

Ovaj rad je sufinancirala Hrvatska zaklada za znanost kroz projekt "Ispitivanje i modeliranje mehaničkog ponašanja bioosušenog otpada kao preduvjet energetske uporabe" (UIP-05-2017-5157).

5 Literatura

- [1] HRN EN 12457-1:2005 Karakterizacija otpada - Izluživanje - Provjera izluživanja zrnatoga otpadnog materijala i muljeva - 1. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 2 L/kg za materijale s visokim sadržajem krutina i veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja)
- [2] HRN EN 12457-2:2005 Karakterizacija otpada - Izluživanje - Provjera izluživanja zrnatoga otpadnog materijala i muljeva - 2. dio: Jednostupanjski postupak kod omjera tekuće-čvrsto od 10 L/kg za materijale s veličinom čestica manjom od 4 mm (sa smanjenjem veličine čestica ili bez smanjenja)
- [3] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta (NN 114/15, 103/18 i 56/19)
- [4] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Izvješće o komunalnom otpadu za 2020. godinu. Datum preuzimanja: 6. prosinac 2022. Dostupno na: http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/inline-files/OTP_Izvje%C5%A1%C4%87e%20o%20komunalnom%20otpadu%20za%202020.%20godinu_7_10_2021.pdf
- [5] Parodi, A., Feuillade-Catalifaud, G., Pallier, V., Mansour, A.A. (2011): Optimization of municipal solid waste leaching test procedure: Assessment of the part of hydrosoluble organic compounds. *Journal of Hazardous Materials* 186, 991 – 998
- [6] Technical Report prCEN/TR 15310:1 Characterization of waste-Sampling of waste materials – Part 1: Guidance on selection and application of criteria for sampling under various conditions, European Committee for Standardization, 2005
- [7] Kalbe, U., Berger, W., Eckardt, J., Simon, F.: Evaluation of leaching and extraction procedures for soil and waste, *Waste Manag.* 28 (2008) 1027–1038
- [8] ASTM D 2216 Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- [9] ASTM D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils
- [10] ASTM D 2974 Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils
- [11] ASTM D 5550 Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Gas Pycnometer
- [12] Direktiva Vijeća 1999/31/EZ od 26. travnja 1999. o odlagalištima otpada