

MJERENJE MODULA STIŠLJIVOSTI MEHANIČKO-BIOLOŠKI OBRAĐENOG OTPADA

dr. sc. Igor Petrović, prof. dr. sc. Davorin Kovačić
Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin

SAŽETAK

Ograničeni broj objavljenih rezultata ispitivanja deformabilnosti mehaničko-biološki obrađenog (MBO) komunalnog otpada potaknuo je na Geotehničkom fakultetu, u okviru znanstvenog projekta «Karakterizacija krutog komunalnog otpada», ideju o izradi edometarskog sklopa za ispitivanje stišljivosti MBO otpada. Rad prikazuje kratki pregled objavljenih rezultata mjerenja stišljivosti MBO otpada drugih autora te rezultate vlastitih mjerenja stišljivosti MBO otpada na velikom edometru domaće proizvodnje.

Ključne riječi: deformabilnost, edometar, MBO, odlagalište, stišljivost

MEASUREMENT OF STIFFNESS MODULUS OF MECHANICALLY AND BIOLOGICALLY TREATED WASTE

ABSTRACT

Due to a relatively limited amount of published data related to testing of compressibility of mechanically and biologically treated municipal solid waste, Faculty of Geotechnical Engineering started an initiative, within the framework of the scientific project “Characterization of municipal solid waste”, in order to develop an oedometer device which is capable to measure constrained modulus of MBT waste. The paper presents short review of published test results related to MBT waste compressibility of various authors as well as the results obtained from the new oedometer device tests.

Key words: deformability, oedometer, MBT, landfill, compressibility

1. Uvod

Prema odredbi Pravilnika o načinima i uvjetima odlaganja otpada [1], a u skladu s Direktivom 99/31/EZ o odlagalištu otpada [2], na odlagališta otpada dozvoljeno je odlaganje samo prethodno obrađenog otpada. Temeljem Plana za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2007.-2015. godine [3], također je prepoznata potreba za obradom komunalnog otpada prije njegovog odlaganja, pri čemu je upravo mehaničko-biološka obrada najčešće planirana tehnologija obrade komunalnog otpada u nacrtima županijskih planova gospodarenja otpadom. Time se nameće potreba za poznavanjem mehaničkih parametara MBO otpada [4], kako bi bilo moguće osigurati integritet i stabilnost zaštitnih slojeva odlagališta, stabilnost njegovih privremenih i trajnih pokosa, stabilnost sustava za otplinjavanje i sl. Ovdje valja napomenuti da kod nas još uvijek ne postoji nijedno postrojenje za mehaničko-biološku obradu otpada a time ni iskustvo u laboratorijskom ispitivanju MBO otpada.

Stoga je, u sklopu znanstvenog projekta «Karakterizacija krutog komunalnog otpada», na Geotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu (voditelj projekta: prof. dr. sc. Davorin Kovačić) pokrenuta izrada velikog edometra u kojem je moguće ispitivati stišljivost MBO komunalnog otpada. Za potrebe ispitivanja stišljivosti MBO otpada a na temelju suglasnosti Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, uzorci MBO otpada uvezeni su s odlagališta MBO otpada iz Republike Austrije.

2. Postupak prethodnih ispitivanja i osnovni geotehnički parametri uzoraka MBO otpada

Prije laboratorijskih ispitivanja, otpad je trebalo osušiti. U standardnim postupcima ispitivanja u mehanici tla, za tu se namjenu koriste sušionici, a uzorci se suše na temperaturi od 105 °C. Budući da se ovdje radilo o znatno većoj količini uzoraka otpad se dva tjedna sušio na zraku. Nakon sušenja utvrđen je ravnotežni sadržaj vlage prema standardu ASTM D 2974, kao za uzorke organskog tla. Pritom su manji uzorci otpada sušeni u sušioniku na temperaturi od 105 °C. Ravnotežna vlažnost iznosila je 7 %.

Granulometrijski sastav MBO otpada određen je prema normi HRN.U.B1.018. na dva uzorka. Uzorci su uzeti iz prostorije u kojoj je otpad sušen, s dva različita mjesta, a pripremljeni su metodom četvrtanja. Uzorci su zatim vibriranjem sijani kroz niz sita s padajućom veličinom otvora. Granulometrijski sastav je pokazao da je ispitivani MBO otpad dobro graduirani krupnozrnati materijal širokog raspona veličine zrna i maksimalne veličine zrna 30 mm × 20 mm. Za oba je uzorka masa na zadnjem situ bila manja od 10 % ukupne mase uzorka pa nije određivan granulometrijski sastav sitnih frakcija postupkom areometriranja.

Gustoća čestica otpada određena je prema standardu ASTM D 854 na uzorcima maksimalne veličine zrna 4,75 mm, dok su veća zrna uklonjena nakon sijanja. Gustoća čestica otpada određena je pomoću piknometra poznatog volumena, kao za tlo. Gustoća čestica ispitivanog MBO otpada ρ_s , određena na uzorcima veličine zrna do 4,75 mm, iznosila je 2,147 g/cm³.

Osnovni geotehnički parametri za dva uzorka na kojima su provedena ispitivanja stišljivosti prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Osnovni geotehnički parametri ispitivanih uzoraka

	ρ [kg/m ³]	w [%]	ρ_d [kg/m ³]	ρ_s [kg/m ³]	e_0	S [%]
1. uzorak	770	7	720	2147	1,98	8
2. uzorak	786	7	735	2147	1,92	8

gdje je ρ - gustoća, w – vlažnost, ρ_d – gustoća suhog uzorka, ρ_s – gustoća čvrstih čestica, e_0 – početni koeficijent pora, S – stupanj zasićenosti

Opširniji opis postupka ispitivanja osnovnih geotehničkih parametara MBO otpada prikazan je u [5].

3. Ispitivanje stišljivosti

Pokusi stišljivosti provedeni su na dva uzorka MBO otpada pri ravnotežnoj vlažnosti uzoraka od 7 %.

Standardizirani postupci za ispitivanje parametara stišljivosti MBO otpada ne postoje pa rezultati uvelike ovise o postupcima ispitivanja koje su primjenjivali pojedini istraživači. Budući da je MBO otpad vizualnim izgledom i granulometrijskim sastavom nalik krupnozrnatom tlu, uputno je pri ispitivanju geotehničkih karakteristika MBO otpada rukovoditi se praksom i standardiziranim postupcima koji se primjenjuju za ispitivanje tla. U ovom su se istraživanju uglavnom slijedile preporuke standarda BS 1377: Part 5: 1990.

Početno opterećenje krutom pločom za prijenos inkremenata opterećenja na uzorak iznosilo je 4,7 kN/m². Inkrementi vertikalnog opterećenja iznosili su kako slijedi: 0-36, 36-82, 82-180 i 180-365 kN/m². Inkrementi opterećenja nanosili su se svakih 24 sata.

Za svaki inkrement opterećenja bilježen je ostvareni vertikalni pomak u intervalu od 10 sekundi. Iz bilježenog pomaka relativna deformacija uzorka računa se po izrazu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H}$$

gdje je ε relativna deformacija u vertikalnom smjeru, ΔH pomak uzorka za pripadajući inkrement/dekrement i H početna visina uzorka.

Kada se rezultati edometarskog pokusa prikažu u ε - σ' dijagramu (σ' je vertikalno efektivno naprezanje) iz njega se može odrediti sekantni i tangenti modul stišljivosti M_v odnosno modul promjene volumena m_v za ispitivani materijal.

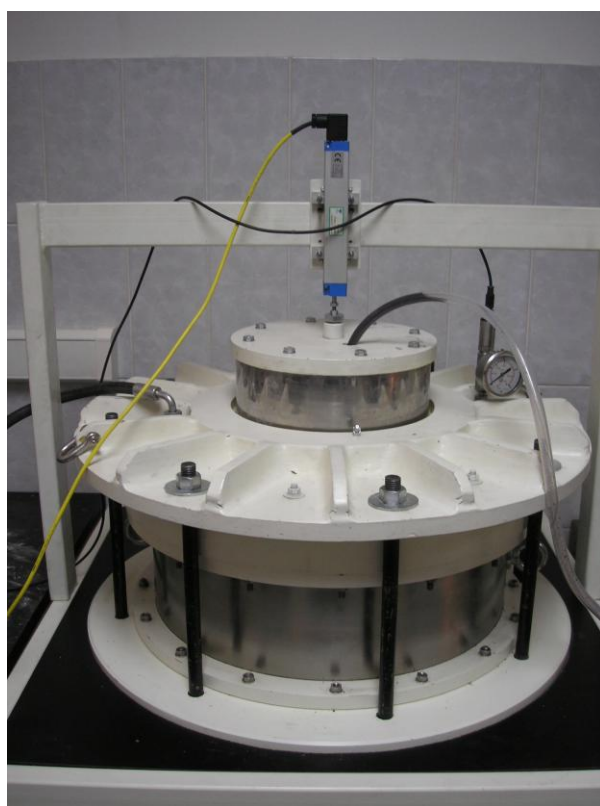
4. Edometar za ispitivanje stišljivosti MBO otpada

Već je najavljeno [6] da je pokrenuta izrada velikog edometra kojim će biti moguće vršiti ispitivanja stišljivosti MBO komunalnog otpada. Proizvodnja uređaja započela je u rujnu 2008. godine. Statički proračun edometarske ćelije izvela je tvrtka STA-KON d.o.o. Tvrtke Femis d.o.o i Delpro d.o.o bile zadužene za izradu strojarskih dijelova uređaja odnosno upravljačke elektronike i pripadajućeg programskog rješenja. Uređaj (slika 1 i slika 2) dostavljen je na Geotehnički fakultet početkom ožujka 2009. godine te je do svibnja 2009. uhodan i pušten u pogon.

Promjer nove edometarske ćelije iznosi 500 mm a visina 200 mm. Omjer promjera i visine uzorka time je 2,5, što predstavlja minimalni omjer koji za ove dvije veličine definira britanski standard (BS 1377: Part 5: 1990) kako bi se pri interpretaciji rezultata mogla zanemariti posmična naprezanja na kontaktu uzorka i prstena ćelije. Predviđeno je maksimalno opterećenje na uzorak od 2000 kN/m². Sila na uzorak primjenjuje se po kružnom vijencu putem računalom upravljano hidrauličkog agregata. Mjerilo opterećenja na uzorak ima minimalnu točnost $\pm 0,05$ % FRO. Mjerilo pomaka ima minimalnu točnost $\pm 0,05$ % FRO i minimalni hod od 7 cm.



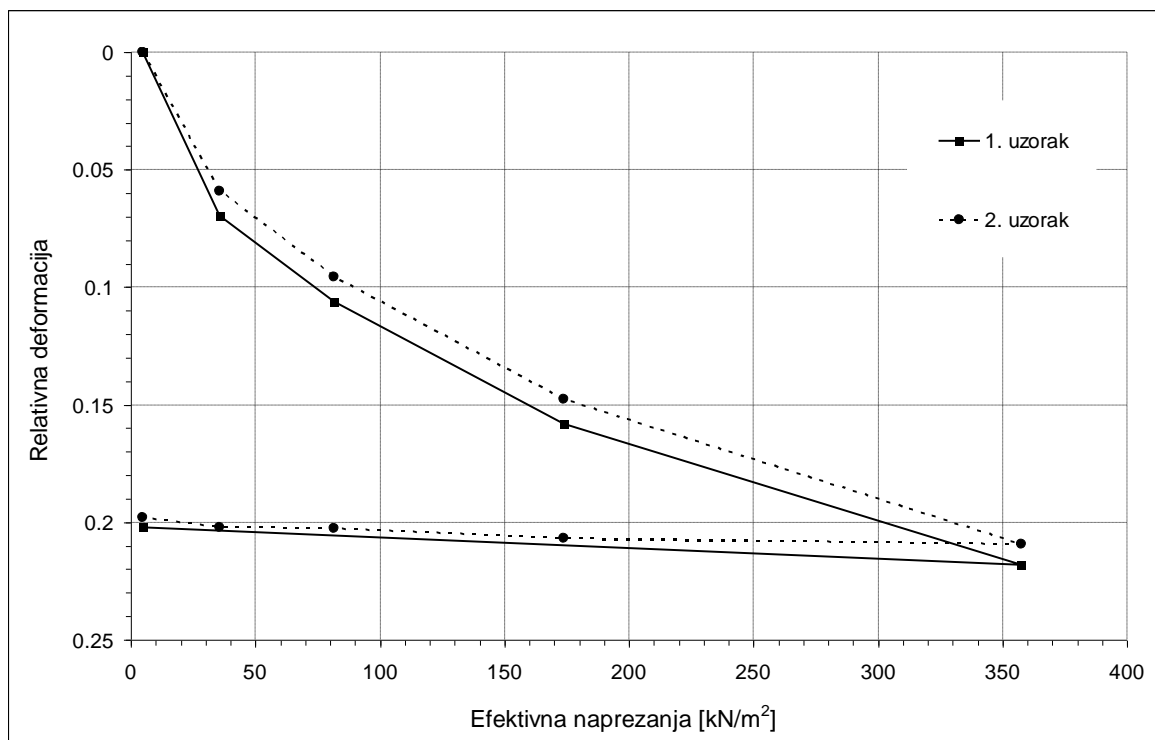
Slika 1. Veliki edometar u laboratoriju Geotehničkog fakulteta



Slika 2. Sastavljena ćelija velikog edometra

5. Rezultati

Na slici 3 prikazan je odnos vertikalnih naprezanja i pripadajuće deformacije za oba uzorka. U tablici 2 prikazani su dobiveni sekantni edometarski moduli (M_v) ispitivanog MBO otpada. Radi lakše usporedbe s rezultatima drugih istraživača moduli stišljivosti prikazani su za uobičajene inkremente opterećenja (0-50, 50-100, 100-200 i 200-365 kN/m^2). U tablici 3 prikazani su sekantni edometarski moduli drugih istraživača. Usporedbom vrijednosti edometarskih modula iz tablica 2 i 3 može se zaključiti da se dobivene vrijednosti modula stišljivosti ovim istraživanjem dobro uklapaju u raspon vrijednosti drugih istraživača.



Slika 3. Krivulje efektivnih naprezanja i relativnih deformacija za oba uzorka

Tablica 2. Sekantni edometarski moduli

Raspon opterećenja	4,7-50 [kN/m^2]	50-100 [kN/m^2]	100-200 [kN/m^2]	200-365 [kN/m^2]
1. uzorak	610	1426	2041	3173
2. uzorak	694	1429	2041	3056

Tablica 3. Sekantni edometarski moduli iz literature

Raspon opt./ Lit.	25-50 0 - 50 [kN/m ²]	50-100 [kN/m ²]	100-200 [kN/m ²]	200-400 [kN/m ²]	400-600 [kN/m ²]	280-420 [kN/m ²]	Frakcija [mm]/ Lokacija
[9]	730	1480	2460	4920	-	-	0 - 30 / Lahe
[10]	840	1990	1870	3290	-	-	0 - 20 / Schaumburg
	800	1000	1800	-	-	-	0 - 20 / Schaumburg
	1070	1590	1680	2880	-	-	0 - 40 / Schaumburg
	500	1100	1600	2800	-	-	0 - 40 / Schaumburg
	940	1490	2440	3030	-	-	0 - 60 / Schaumburg
	600	1300	2000	2800	-	-	0 - 60 / Schaumburg
[11]	355	1670	1947	2904	4514	-	< 60 / Meisenheim
	239	905	1570	2973	4977	-	< 100 / Lueneburg
[12]	-	-	-	-	-	5100	/
	-	-	-	-	-	7900	< 60 / -

Opširniji prikaz rezultata ispitivanja stišljivosti mehaničko-biološki obrađenog komunalnog otpada nalazi se u [7].

6. Zaključak

Iskustvo stečeno tijekom razvojnog istraživanja prototipa velikog edometra za ispitivanje stišljivosti MBO otpada najveća je vrijednost ovog istraživanja. Koliko je ovo iskustvo važno svjedoči činjenica da edometar ovakvih dimenzija nije moguće komercijalno nabaviti. Ovaj uređaj zadovoljava sve standarde za ispitivanje stišljivosti tla, pa je pogodan za istraživanja ne samo u području mehanike otpada već i u području mehanike tla. Prikazani rezultati istraživanja odnose se na mali broj uzoraka, ali se iz njih ipak mogu izvući preliminarni zaključci:

- provjereno je da su dobiveni edometarski moduli u pravilu istog reda veličine kao i edometarski moduli većine drugih istraživača
- provjereno je elastoplastično ponašanje MBO otpada
- provjereno je da se, unutar danih raspona opterećenja u pravilu može očekivati relativna deformacija od 15 do 25 % početne visine
- neizravno je potvrđena kvaliteta izrade i ispitivanja uzoraka MBO otpada u novom velikom edometru

Potrebna su dodatna ispitivanja uzoraka MBO otpada za potvrdu iznesenih zaključaka. Ovo se posebno odnosi na činjenicu da je MBO otpad heterogenog sastava.

Cjeloviti prikaz ispitivanja stišljivosti mehaničko-biološki obrađenog komunalnog otpada, uključujući i numeričko modeliranje pokusa, nalazi se u [8].

7. Potpora projekta

Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta (Karakterizacija krutog komunalnog otpada, 160-0831529-3031), provedenog uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske.

8. Literatura

1. Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, Narodne novine 117/07
2. Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill waste, Official Journal of the European Communities, L 182, 16.7.1999.
3. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine, Narodne novine 85/07
4. Petrović, I., Kovačić, D.: Mehanički parametri MBO otpada, 11. strokovno posvetovanje z mednarodno udeležbo „Gospodarjenje z odpadki“, 26. 8. 2010., Moravske Toplice, Slovenija, 80 - 90
5. Petrović, I., Szavits-Nossan, V., Štuhec, D.: Pripremna laboratorijska ispitivanja MBO otpada, Građevinar (u pripremi)
6. Petrović, I.: Deformabilnost mehaničko-biološki obrađenog komunalnog otpada, X. međunarodni simpozij Gospodarenje otpadom, 19-21. 11. 2008, Zagreb, 329-334

7. Petrović, I., Szavits-Nossan, V., Kovačić, D.: Deformabilnost mehaničko-biološki obrađenog komunalnog otpada, Građevinar (u pripremi)
8. Petrović, I.: Modeliranje ponašanja mehaničko-biološki obrađenog komunalnog otpada, Disertacija, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 15. 7. 2010.
9. Duellmann, H.: Untersuchungen zum Einbau von MBA-Abfaellen auf der Zentraldeponie Hannover, Laboruntersuchungen zum Verdichtungs-, Durchlaessigkeits-, Last-Setzungs- und Scherverhalten. Februar 2002. Im Auftrag des Abfallwirtschaftsbetriebes Hannover, 2002
10. Kuehle-Weidemeier, M.: Landfilling and properties of MBP waste, Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 6-10 October 2003
11. Bidlingmaier, W., Scheelhaase, T., Maile, A.: Langzeitverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandeltem Restmuell auf der Deponie, Abschlußbericht zum Teilvorhaben 3.1 des BMBF-Verbundvorhabens „Mechanisch-biologische Behandlung von zu deponierenden Abfaellen“, Universitaet Gesamthochschule Essen, Fachbereich 10 – Bauwesen, Fachgebiet Abfallwirtschaft, 1999
12. Ziehmann, G.: Veraenderung des mechanischen Verhaltens durch die mechanische und biologische Vorbehandlung, Deponierung von vorbehandelten Siedlungsabfaellen. Veroeffentlichungen des Zentrums fuer Abfallforschung der Technischen Universitaet Braunschweig, Heft 14, S. 1 – 9, 1999