

**ANALIZA METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE KALORIJSKE VREDNOSTI KOMUNALNOG OTPADA****ANALYSIS OF METHODOLOGIES FOR DETERMINING THE CALORIAL VALUE OF MUNICIPAL WASTE**Mirjana Majkić, Bojan Batinić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast: INŽENJERSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE**

**Kratak sadržaj:** U radu su prikazane metode za analizu kalorijske vrednosti otpada, koja predstavlja veoma važnu karakteristiku otpada, pored morfološkog sastava otpada, jer poznavanjem kalorijske vrednosti otpada, moguće je pravilno projektovati postrojenje za termički tretman otpada. Najčešće metode koje se trenutno praktikuju za procenu kalorijske vrednosti komunalnog čvrstog otpada su jednačine izvedene na osnovu eksperimentalnih istraživanja ili direktnom upotrebom laboratorijskih uređaja (kalorimetrijske bombe). U radu su predstavljene najčešće korišćene metode i jednačine za određivanje kalorijske vrednosti otpada. Takođe, opisan je i praktičan način određivanja kalorijske vrednosti otpada na uzrocima otpada iz beogradskih opština.

**Ključne reči:** čvrst komunalni otpad, tretman otpada, kalorijska vrednost otpada, sastav otpada

**Abstract:** The paper presents methods for the analysis of the calorific value of waste, which is the most important characteristic of waste, in addition to the morphological composition of waste, because by knowing the calorific value of waste, it is possible to design a waste treatment plant. The most common methods currently practiced for estimating the calorific value of municipal solid waste are equations derived from experimental research or the direct use of laboratory devices (calorimetric bombs). The paper presents methods and equations and arranges research with equation one which proved to be the best equation for the physical composition of waste.

**Keywords:** Municipal solid waste, waste treatment, calorific value, waste composition,

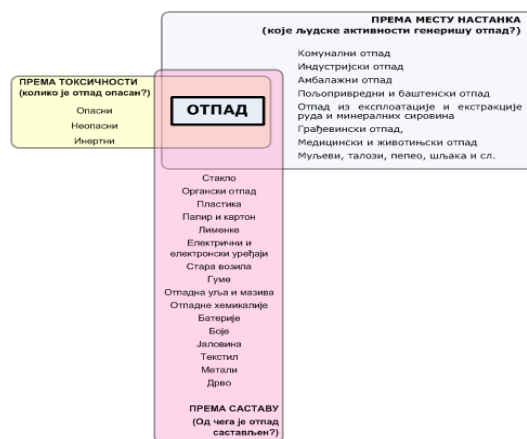
## 1. UVOD

U današnje vreme proizvode se velike količine otpada. Procenjuje se da se na dnevnom nivou proizvede 1,42 kg otpada po stanovniku. Takođe, povećava se i broj stanovnika na zemlji, što znači da sa povećanjem stanovnika raste i količina otpada. Otpadom se smatra svaka supstanca ili predmet koju korisnik ili proizvođač odlaže ili je primoran da odloži. On se prvi put javio u periodu ubrzanе industrijalizacije zemlje, koga je pratila realna opasnost od iscrpljivanja nekih strateških resursa u

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Bojan Batinić, vanr. prof.

vrlo kratkom vremenskom periodu i progresivni rast ukupne količine svih vrsta čvrstog otpada. Trend tržišnog razvika prikazuje otpad kao potencijalni resurs i sekundarnu sirovinu sa pozitivnom vrednošću razmene koja je konstantno u porastu. Vrste otpada su: komunalni, komercijalni i industrijski otpad.



Slika 1. Prikaz podele otpada

### 1.1 Upravljanje otpadom na globalnom nivou

Prema podacima Svetske banke (World Bank, 2012) pre deset godina bilo je 2,9 milijardi stanovnika koji su živeli u urbanim naseljima i generisali su oko 0,6 kg čvrstog komunalnog otpada po osobi dnevno. Procenjuje se da su danas ove vrednosti povećane. Predviđanja su da će do 2025. godine povećati broj stanovnika. Rast količina čvrstog otpada je neraskidivo povezan sa urbanizacijom i ekonomskim razvojem zemlje. Na povećanje količina generisanog otpada utiču faktori poput urbanizacije zemlje, ekonomski razvoj, povećanje životnog standarda stanovništva i raspoloživih prihoda koji dovode do povećanja potrošnje robe i usluga. Stopa generisanja otpada u jednoj zemlji varira u zavisnosti od privrednih sektora koji dominiraju u toj zemlji. Karakter otpada oslikava socio – ekonomsko stanje društva u toj zemlji. Na svetskom nivou, od ukupne količine prikupljenog otpada, najmanje 33% otpada se ne upravlja na ekološki siguran način.

### 1.2 Generisanje otpada u Republici Srbiji

Podaci o generisanju, načinu odlaganja i količinama tretiranog otpada u RS nisu potpuni. Tek u poslednjih nekoliko godina Republički zavod za statistiku i Agencija za zaštitu životne sredine su počeli, svako u okviru svojih nadležnosti da sistemski prikupljaju podatke o otpadu.

Strategija upravljanja otpadom u RS predstavlja bazni dokument za racionalno i održivo upravljanje otpadom na nacionalnom nivou. Za formiranje održivog sistema upravljanja otpadom, neophodno je sagledavanje svih opcija njegovog tretmana, a odluka o izboru najpogodnije opcije koja sadrži i karakteristike sredine i lokacije na kojoj otpad nastaje, donosi se kroz ocenjivanje životnog ciklusa otpada.

Godišnja količina komunalnog otpada u Srbiji iznosi 2.374.374 tona, odnosno 0,87 kg po stanovniku dnevno. Najveći udeo u komunalnom otpadu čini organski otpad oko 43%, zatim slede papir i karton sa oko 15%, plastika 15%, a frakcije kao što su staklo i tekstil zastupljene su oko 5%.

## 2. FIZIČKO – HEMIJSKE KARAKTERISTIKE OTPADA

Karakterizacija otpada predstavlja osnovni preduslov za razvoj i projektovanje integrisanog sistema upravljanja otpadom. Karakteristike otpada se mogu podeliti na fizičke i hemijske. U fizičke osobine otpada spadaju:

- Sastav otpada,
- Veličina i prostorna distribucija komponenti u otpadu,
- Srednja gustina,
- Udeo vlage.

Što se tiče hemijskih osobina tu spadaju:

- Hemijski sastav otpada,
- pH vrednost,
- Udeo organske/neorganske materije,
- Toplotna moć – kalorijska vrednost.

Sadržaj vlage u otpadu predstavlja važnu fizičku karakteristiku koja utiče na izbor i efikasnost određenog tretmana otpada. Vlažnost otpada predstavlja važno svojstvo pri posmatranju biohemijskih procesa za određene tretmane otpada. Udeo vlage u otpadu se određuje kada se odredi masa otpada pre i posle sušenja. Toplotna moć određenog materijala (goriva) predstavlja energiju oslobođenu sagorevanjem jednog kilograma tog materijala i izražava se u kJ/kg ili MJ/kg. Toplotna moć otpada zavisi pre svega od njegovog sastava odnosno toplotne moći komponenata sadržanih u komunalnom otpadu. Kalorijska vrednost otpada ne sme biti ispod neke minimalne vrednosti, sa sezonskim varijacijama u sastavu otpada ona iznosi 7 MJ/kg. (World Bank, 1999). U literaturi se može naći podatak da je optimalna kalorijska vrednost komunalnog otpada potrebnog za tretman između 10 – 12 MJ/kg.

## 3. OPŠTE METODE ZA ANALIZU KARAKTERISTIKA OTPADA

Karakterizacija čvrstog otpada je obično težak zadatak zbog heterogenosti otpada i njegovih prostornih i vremenskih varijacija. To čini karakterizaciju otpada skupim procesom ako se žele dobiti dobri i pouzdani podaci. Karakterizacija čvrstog komunalnog otpada je prvi korak ka postizanju integrisanog sistema upravljanja čvrstim otpadom koji efikasno smanjuje i pomaže tretiranju sve većih količina čvrstog komunalnog otpada. Studija karakterizacije otpada kvantifikuje komponente otpada u odnosu na težinu i sastav frakcije. Pouzdani podaci o sastavu otpada su ključni u određivanju

pogodnih tehnologija za celokupni sistem upravljanja čvrstim otpadom. Za karakterizaciju otpada obično se primenjuju tri pristupa:

- Analiza otpadnih proizvoda,
- Analiza tržišnih proizvoda,
- Direktno uzorkovanje. (Moore i dr., 1994.)

## 4. PREGLED METODOLOGIJA ZA UTVRĐIVANJE KALORIJSKE VREDNOSTI OTPADA

Najčešće metode koje se trenutno praktikuju za procenu kalorijske vrednosti komunalnog čvrstog otpada su jednačine izvedene na osnovu eksperimentalnih istraživanja ili direktnom upotrebom laboratorijskih uređaja (kalorimetrijske bombe). Trenutno određivanje kalorijske vrednosti uzoraka komunalnog otpada može se obaviti eksperimentalno ili koristeći matematičke modele. Eksperimentalno određivanje koristeći laboratorijski uređaj prilikom čega se koristi uzorak veličine 1gr koji je neadekvatan da bi se uzele u obzir velike razlike sastava u komunalnom otpadu, što zahteva veću količinu uzoraka. Takođe, eksperimentalna metoda je teška, zahteva tehničke veštine u rukovanju opremom i sagorevanje proizvoda. Što se tiče matematičkih modela, stvoreni su da bi se izbeglo prekomerno oslanjanje na dugotrajne eksperimentalne tehnike.

### 4.1 Metode za utvrđivanje kalorijske vrednosti otpada

Za određivanje kalorijske vrednosti otpada koriste se mnoge metode. Suštinski se dele na matematičko modelovanje – jednačine i na laboratorijske analize odnosno eksperimente.

Modeli koji se najčešće koriste za određivanje kalorijske vrednosti otpada su:

- Modeli zasnovani na ultimativnoj analizi,
- Modeli zasnovani na neposrednoj analizi,
- Modeli zasnovani na fizičkom sastavu.

### 4.2 Metode i materijali koji su korišćeni u istraživanju

Kao prvi korak u istraživanju predstavlja uzimanje ukupno 30 uzoraka za uzorkovanje otpada. Ovo istraživanje zahtevalo je uzorkovanje otpada iz kamiona gde je identifikovano i sortirano 12 organskih i neorganskih komponenti otpada. Komponente otpada su izmerene i uzorci su poslani na dalju analizu. U laboratoriji je izvršena neposredna analiza onako kako je propisalo Američko društvo za ispitivanje materijala. Izvedena je elementarna analiza pomoću CHN analizatora koji je bio u skladu sa procedurama prema ASTM-u. Kalorijska vrednost otpada utvrđena je koristeći Mahlerov kalorimetar bombe. Ovakav pristup omogućio je poređenje rezultata na osnovu pojedinačnih komponenata, prosečne težine i mešanje uzoraka.

### 4.3 Poređenje dobijenih rezultata dobijenih različitim metodama

Model koji je stvorila ova studija je najpogodniji za predviđanje kalorijske vrednosti čvrstog komunalnog otpada i dokazuje da matematički modeli stvoreni za

predviđanje kalorijske vrednosti komunalnog otpada su vrlo pogodni za lokalitet gde su napravljeni.

## 5. APARATURA I UREĐAJI ZA METODE I ANALIZE ZA UTVRĐIVANJE KALORIJSKE VREDNOSTI OTPADA

Kao što je pomenuto u prethodnom poglavlju, u laboratoriji u kojoj je izvršena neposredna analiza za utvrđivanje kalorijske vrednosti otpada, a prema postupcima koje je propisalo Američko društvo za ispitivanje materijala, izvedena je elementarna analiza pomoću CHN analizatora. Elementarni analizator za određivanje ukupnog ugljenika, vodonika, azota i sumpora u jedinjenju koristi tehniku "dinamičko sagorevanje sa blicem".

Mahler-ov kalorimetar za određivanje toplote sagorevanja omogućava merenje toplote sagorevanja čvrstih i tečnih supstanci.



Slika 2. Prikaz Mahler-ovog kalorimetra

## 6. ISTRAŽIVAČKI DEO

U ovom delu prikazano je određivanje kalorijske vrednosti otpada i sadržaja vlage u čvrstom komunalnom otpadu.

Prilikom merenja količine otpada i analize sastava kućnog otpada, uzeti su uzorci iz tri zone sakupljanja otpada, kolektivne zone stanovanja, individualne zone stanovanja i iz seoske zone. Potom su uzorci pripremljeni za dalju laboratorijsku analizu. Prilikom uzorkovanja, uzeti su uzorci za svaku frakciju iz tri stambene zone. Određivanje sadržaja vlage je sprovedeno prema metodi ispitivanja „EN 12880:2000“. Kalorijska vrednost je određena prema metodi ispitivanja „SRPS CEN/TS 16023:2014“.

Utvrdjivanje morfološkog sastava otpada rađeno je za svih 13 opština Beogradskog regiona. Rezultati pokazuju da ukupne biorazgradive frakcije dominiraju i čine skoro polovinu ukupnog sastava otpada. Od reciklabilnih materijala najviše je zastupljena kategorija papira. Plastični otpad sa svojim podfrakcijama ima značajan udeo u sastavu čvrstog komunalnog otpada.

Projekcija rezultata sadržaja vlage u laboratorijskim analizama u različitim kategorijama komunalnog otpada pokazuju da u proseku veći sadržaj vlage ima opština Grocka 42,3% dok najmanja vlaga u otpadu je zabeležena u Barajevu 36,2%. U proseku, sadržaj vlage u mešovitom komunalnom otpadu u Beogradu iznosi 40,5%.

Što se tiče kalorijske vrednosti mešanog komunalnog otpada, projekcije rezultata iz uzoraka pokazuju da najveću toplotnu vrednost mešanog komunalnog otpada ima Barajevo 13,4 MJ/kg, dok najmanji kalorijski potencijal ima Novi Beograd sa 10,5 MJ/kg. Prosečna

kalorijska vrednost mešanog komunalnog otpada za grad Beograd je 12,0 MJ/kg.

## 6.1 Istraživački deo – Novi Sad

Na osnovu podataka o otpadu, analizirano je ukupno 72 uzorka, 24 iz mešoviti tokova komunalnog otpada i 48 iz područja sa sistemom dve kante (24 kante za mokro i 24 kante za suvo). Cilj istraživanja je utvrditi prosečan sadržaj vlage u otpadu iz različitih vrsta kanti za otpad, ali i odrediti sadržaj vlage za pojedine komponente otpada u njima.

Posmatrajući istraživanje u udelu vlage za tri različita toka otpada u Novom Sadu, uz pretpostavku o konstantnom udelu pepela (oko 20%) može se grubo zaključiti da se kalorijska vrednost otpada za suvu/reciklabilnu frakciju kreće u opsegu 8000 – 9000 kJ/kg, dok je za mokru ta vrednost u intervalu 5000 -6000 kJ/kg.

## 7. ZAKLJUČAK

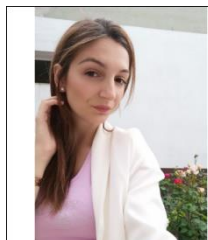
Na svetskom nivou, godišnje se generiše 2,1 milijardi tona komunalnog otpada. Previđanja su da će se broj stanovnika povećati i da će se generisati 1,42 kg komunalnog otpada po glavi stanovnika dnevno. Trenutno, najzastupljeniji način tretmana otpada je deponovanje. U radu su analizirane metode za određivanje kalorijske vrednosti otpada. U literaturi se može naći podatak da je optimalna kalorijska vrednost komunalnog otpada potrebnog za tretman između 10-12 MJ/kg. Određivanje kalorijske vrednosti otpada ima značajnu vrednost pri projektovanju, održavanju i dizajniranju postrojenja za insineraciju otpada, jer kada ne postoji mogućnost drugog tretmana, ovaj tretman omogućava mnoge benefite za upravljanje otpadom i zaštitu životne sredine.

## 8. LITERATURA

- [1] ASTM (2008) ;Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste
- [2] Batinic, B., Stanisavljevic N., Ubavin D., Vujic G., Determining Moisture Content In Different Fractions Of MSW - Case Study Of Novi Sad, 2013, ISWA World Congress, Vienna, Austria.
- [3] B. Batinic, M. Živancev, D. Ubavin, N. Stanisavljevic and G. Vujic (2013) COMPARISON OF MOISTURE CONTENT IN MSW CONSIDERING DIFFERENT COLLECTION SYSTEMS
- [4] Christensen T. (2011); Solid waste technology & management., Willey & Sons, United Kingdom
- [5] FTN (Fakultet tehničkih nauka) (2016) Report on amounts, composition, moisture content and calorific values of MSW for 13 municipalities within Belgrade waste management region,
- [6] Moore, S., Grime, P. and King, B. (1994). Urban Solid Waste Characterization. CRC for Waste Management and Pollution Control Ltd, Australia.
- [7] Paul H. Brunner and Walter R. Ernst (1986); Alternative Methods for the Analysis of Municipal Solid Waste

- [8] SRPS CEN/TS 16023:2014 (2014) Karakterizacija otpada — Određivanje gornje toplotne moći i izračunavanje neto toplotne moći
- [9] Vujić G, Ubavin D, Stanisavljević N, Batinić B. (2012) Upravljanje otpadom u zemljama u razvoju, Univerzitet u Novom Sadu
- [10] World Bank (1999) Decision Makers' Guide to Municipal Solid Waste Incineration, World Bank, Washington DC, USA
- [11] World Bank (2012) What a Waste, Urban Development & Local Government Unit, World Bank, Washington DC, USA
- [12] Zakon o upravljanju otpadom „Službeni glasnik RS“, br; 36/2009 i 88/2010, član 5

### Kratka biografija



**Mirjana Majkić** rođena je 26.02.1993. godine u Novom Sadu. Srednju ekonomsku školu “Lukijan Mušicki” završila je u Temerinu 2012. godine. Fakultet tehničkih nauka, smer inženjerstvo zaštite životne sredine upisala je 2012.godine, a osnovne akademske studije završila je 2016.godine. Master studije na Fakultetu tehničkih nauka je upisala 2016.godine.



**Bojan Batinić** (1981) je vanredni profesor na Fakultetu tehničkih nauka - Departmanu za inženjerstvo zaštite životne sredine u Novom Sadu. Dosađajni naučno-istraživački rad orijentisan je na analizu fizičko-hemijskih karakteristika komunalnog otpada, modelovanje i projekciju budućih karakteristika otpada, analizu sistema sakupljanja i transporta otpada, mogućnosti iskorišćenja posebnih tokova otpada i sl. Stečena stručna znanja implementirao je kroz učestvovanje na preko 40 projekata saradnje sa privredom iz oblasti zaštite životne sredine i upravljanja otpadom. Rezultate svog naučno-istraživačkog rada publikovao je kroz 13 radova u međunarodnim časopisima sa SCI liste, kao i preko 50 saopštenja na skupovima međunarodnog i nacionalnog značaja.