

**DEFINISANJE MODELA KOMPOSTIRANJA SMJESE MULJA I  
DRVNE PILJEVINE U FUNKCIJI KVALITETA SMJESE I  
TEMPERATURE OKOLINE**

**DEFINING THE MODEL OF COMPOSTING A MIXTURE OF SLUDGE  
AND WOOD SAWDUST IN FUNCTION OF THE MIXTURE QUALITY  
AND TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT**

**Muvedet Šišić, mr.sc**  
Univerzitet u Zenici  
Zenica

**Šefket Goletić, prof.dr.**  
Univerzitet u Zenici  
Zenica

**Farzet Bikić van.prof.dr**  
Univerzitet u Zenici  
Zenica

**Vehid Birdahić, mr.sc**  
Univerzitet u Zenici  
Zenica

**REZIME**

*Kompostiranje kao kompleksan proces zavisi od niza uticajnih faktora kao što su: temperatura, sastav biomase, vlaga, kisik, organske tvari, poroznost, veličina čestica, pH vrijednost, omjer C/N . Modeliranje postupka predstavlja izazov u smislu uspostavljanja numeričke veze između pojedinih karakteristika i kvaliteta i dužine procesa kompostiranja, a na osnovu eksperimentalno utvrđenih činjenica. Predmet istraživanja u ovom radu je ovisnost temperature okoline i različitih smjesa mulja i drvne piljevine na dužinu procesa kompostiranja. Modeliranje procesa predstavlja doprinos uspostavljanju optimalnog režima kompostiranja. U konkretnom slučaju modeliranje postupka kompostiranja mulja predstavlja poseban doprinos u uspostavljanju sistema povrata materije, odnosno, iskorištenja mulja i pojedinih vrsta biootpada kao poboljšivača tla.*

**Ključne riječi:** kompostiranje, mulj, uticajni faktori, temperatura

**ABSTRACT**

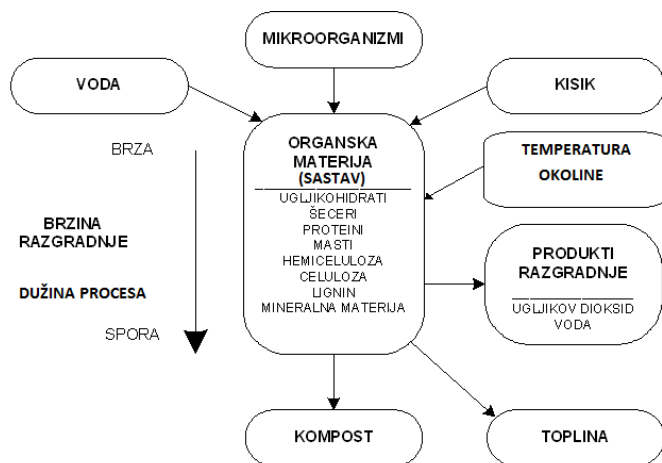
*Composting as a complex process depend on a number of influencing factors such as temperature, composition of biomass, moisture, oxygen, organic matter, porosity, particle of size, pH, C/N. Modeling process presents a challenge in terms of establishing numerical connection between individual performance and the quality and length of the composting process on the basis of experimentally established facts. The subject of this work is the dependence of temperature and different mixtures of sludge and wood sawdust on the duration of the composting process. Process modeling is a contribution to the establishment of a optimal composting. In this case, modeling the process of composting sludge represents a special contribution in establishing a system of return of matter, ie, utilization of sludge and certain types of biowaste as a soil improver.*

**Keywords:** composting, sludge, influencing factors, temperature

**1.UVOD**

Kompostiranje je veoma kompleksan proces sa velikim brojem međusobno povezanih fizičko-hemijskih, mikrobioloških i termodinamskih fenomena koji predstavljaju pravi izazov za

empirijsku i teorijsku analizu. Najvažniji faktori koji utiču na proces kompostiranja su: temperatura, biomasa, vlaga, kisik, organske tvari, poroznost, veličina čestica, pH vrijednost, omjer C/N [1]. Predmet ovog istraživanja će se ograničiti na ovisnost različitih temperatura kompostiranja za pojedine smjese mulja i drvene piljevine na dužinu vremena kompostiranja. Pri aerobnom kompostiranju biorazgradnja organske materije teče uz prisutnost kisika, odnosno zraka. Glavni produkti biološkog metabolizma su: ugljikov dioksid, voda, toplina i kompost. Na slici 1. prikazana je pojednostavljena shema osnovnog procesa aerobnog kompostiranja.



Slika 1. Shema procesa aerobnog kompostiranja[2]

Sam proces aerobnog kompostiranja može se podijeliti u četiri faze: mezofilnu fazu, termofilnu fazu, fazu hlađenja i fazu sazrijevanja. Za modeliranje procesa kompostiranja bitne su prve tri faze.

## 2. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

U postupku kompostiranja korišten je mulj sa prečistača komunalnih otpadnih voda u kombinaciji sa različitim omjerima piljevine. Ovako formirani uzorci su praćeni u različitim uslovima temperature okoline, taćnije na 25°C i 35°C. Na taj naćin su formirane kombinacije prema tabeli 1. Za sve kombinacije su postavljena i praćena po tri identićna uzorka.

Tabela 1. Kombinacije nivoa uticajnih faktora

Kombinacija	VRIJEDNOST FAKTORA	
	Temperatura °C	Udio piljevine %
I	25	30
II	25	70
III	35	30
IV	35	70

Za potrebe eksperimenta korišćeni su laboratorijski bioreaktori, taćnije plastićni spremnici hermetićki zatvoreni, zapremine 2,1 dm<sup>3</sup> (slika 2) .



*Slika 2. Spremnici za kontrolirano kompostiranje*

S obzirom da je za proces kompostiranja potrebno konstantno prisustvo kisika/zraka, za potrebe eksperimenta sistemom cjevčica spremnici su povezani na kompresor pomoću kojeg se uduvava zrak. Spremnici sa pojedinačnim smjesama su postavljeni u izoliranim komorama uz održavanje konstantne temperature u prvoj od 25°C, a u drugoj 35°C uz pomoć termostata (slika 3). Na ovaj način je obezbjedeno da se postupak kompostiranja odvija u kontroliranim uslovima.

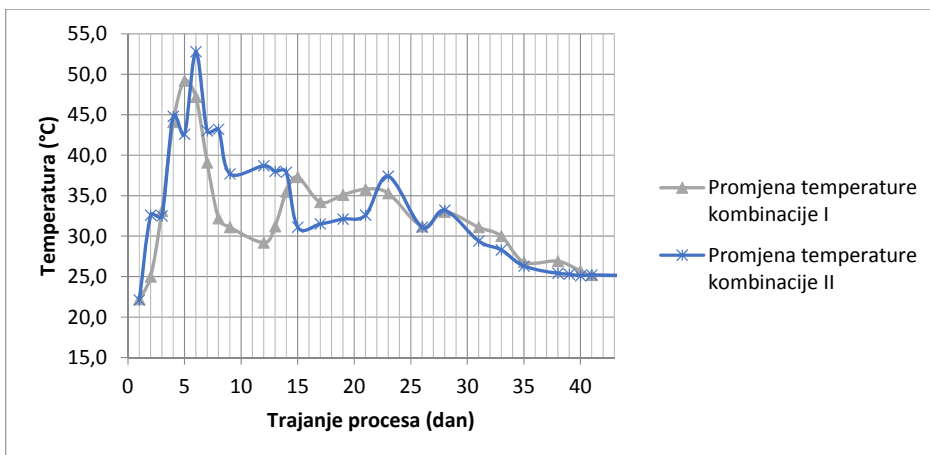


*Slika 3. Komora za kontrolirano kompostiranje*

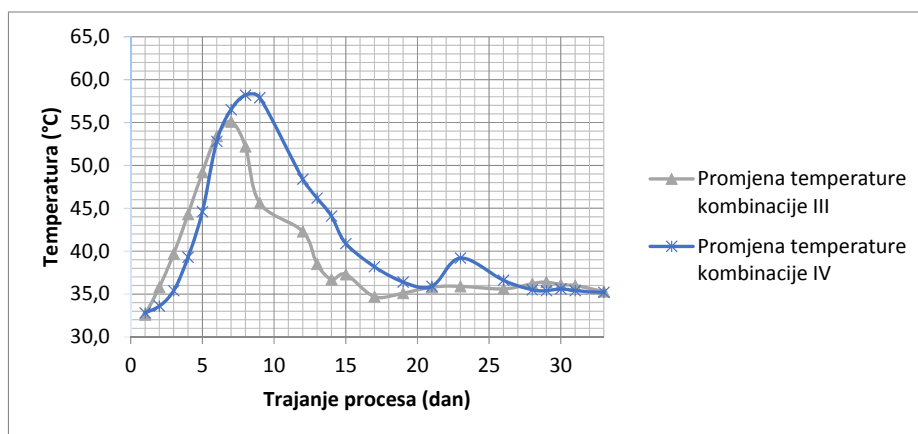
S obzirom da je temperatura pokazatelj aktivnosti mikroorganizama, odnosno razgradnje u procesu kompostiranja, ovaj faktor će se mjeriti svakodnevno za svaki uzorak. Mjerenja će se vršiti digitalnim termometrom na način da se za svaki uzorak senzorno tijelo termometra uroni u sredinu mase uzorka. Potrebno je izvršiti po tri mjerenja za svaki uzorak. Za analizu će se koristiti srednja izmjerena vrijednost. Proces kompostiranja će biti praćen do faze hlađenja. Početak faze hlađenja smatraće se treći dan uzastopno u kome temperatura uzorka tj. komposta nije prelazila  $\pm 0,5$  °C u odnosu na temperaturu okoline.

### **3. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA**

Izmjerene vrijednosti temperature pojedinih uzoraka prikazane su dijagramima na slici 4. i slici 5. Zbog obimnosti podataka, na dijagramima je prikazano ponašanje srednje vrijednosti temperature mjerene za svaku grupu uzoraka (1 grupa = 3 replikacije uzorka sa istom recepturom i temperaturom okoline).



Slika 4. Promjena temperature grupa uzoraka na 25°C



Slika 5. Promjena temperature grupa uzoraka na 35°C

Izlazni parametar, dužina procesa kompostiranja u odnosu na temperaturu okoline i recepturu uzoraka, za po tri (3) replikacije kroz četiri eksperimentalna nivoa, su prikazani u tabeli 2.

Tabela 2. Izlazni parametri za pojedine kombinacije

Kombinacija	I			II			III			IV		
Oznaka replikacije-uzorka	I-1	I-2	I-3	III-3	II-1	II-2	II-3	III-1	III-2	IV-1	IV-2	IV-3
Dužina procesa (dan)	40	44	40	29	38	38	39	28	29	33	35	35
Srednja vrijednost	41,3			38,3			28,7			34,3		
Varijansa	5,3333			0,3333			0,3333			1,3333		

U ovom dijelu predstaviti će se regresijski model zavisnosti dužine kompostiranja od temperature okoline i udjela drvene piljevine u smjesi. Prvi korak u analizi prikazanih rezultata je određivanje efekata, odnosno uticaja pojedinih faktora, temperature okoline i sastava smjese (nezavisnih promjenljivih) na posmatrani proces-dužinu kompostiranja (zavisna promjenljiva). Efekat faktora predstavlja razliku srednje vrijednosti izlaza koja odgovara posmatranom faktoru na gornjem nivou i srednje vrijednosti istog faktora na donjem nivou, pri čemu je n broj ponavljanj, odnosno, broj replikacija svake kombinacije a kod regresijske metode se računa prema izrazima:

$$A = y_{A+} - y_{A-} = \frac{III+IV}{2n} - \frac{I+II}{2n} = \frac{1}{2n} [III + IV - I - II] \quad \dots(1)$$

$$B = y_{B+} - y_{B-} = \frac{I+IV}{2n} - \frac{III+II}{2n} = \frac{1}{2n} [I + IV - III - II] \quad \dots(2)$$

$$AB = y_{AB+} - y_{AB-} = \frac{IV+II}{2n} - \frac{III+I}{2n} = \frac{1}{2n} [IV + II - III - I] \quad \dots(3)$$

Izrazi u uglastoj zagradi se nazivaju kontrastima, odnosno predstavljaju broj dana do završetka procesa kompostiranja za pripadajuće kombinacije. Generalno, posmatrati efekat faktora na ovakav način znači svesti uticaj svih faktora na istu veličinu, dakle veličinu koja numerički definira intenzitet ili uticaj pojedinih faktora na dimenziju posmatranog izlaza eksperimenta. Za slučaj eksperimenta kompostiranja mulja sa prečištača otpadnih voda i dodatka drvene piljevine, i na osnovu prikazanih rezultata mjerenja, dobijaju se sljedeće vrijednosti faktora:

$$A = \frac{1}{6} [34,3 + 28,7 - 41,3 - 38,3] = -2,8 \quad \dots(4)$$

$$B = \frac{1}{6} [41,3 + 28,7 - 34,3 - 38,3] = -0,43 \quad \dots(5)$$

$$AB = \frac{1}{6} [28,7 + 38,3 - 34,3 - 41,3] = -1,43 \quad \dots(6)$$

Pregledom dobijenih rezultata lahko se uočava redosljed faktora po svom uticaju na proces kompostiranja. Dakle, faktor A, temperatura okoline ima najveći utjecaj. Zatim slijedi faktor AB, kombinacija temperature okoline i udjela drvenastog otpada u uzorku, a onda sam faktor B, udio drvene piljevine u uzorku. Na osnovu ovako definiranih efekata određuju se koeficijenti regresionog modela. Regresioni model temeljen na ovoj činjenici i podacima, ima sljedeći oblik:

$$f(\%,T) = t \quad \dots(7)$$

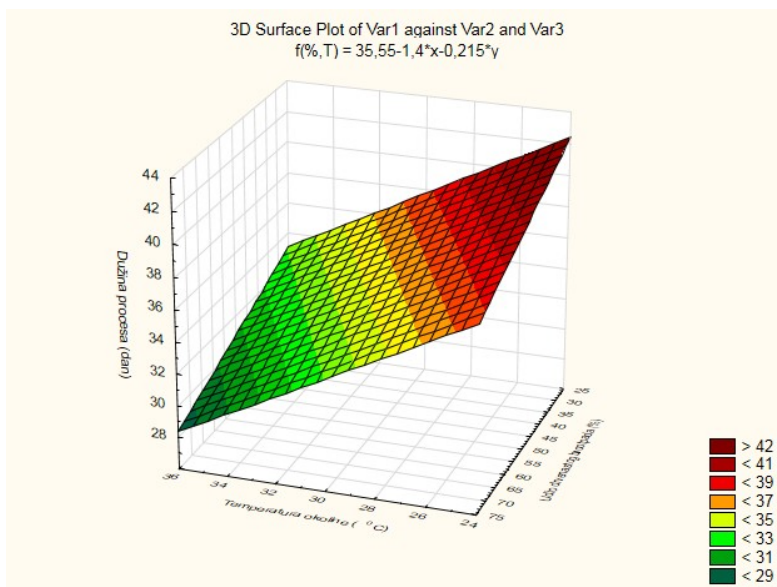
t- vrijeme trajanja procesa u funkciji udjela piljevine u smjesi i temperature okoline T.

$$t = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_{12} AB \quad \dots(8)$$

$$t = \beta_0 + \frac{A}{2} \cdot x_1 + \frac{B}{2} \cdot x_2 + \frac{AB}{2} \cdot x_{12} \quad \dots(9)$$

$$t = 35,65 - 1,4x_1 - 0,215x_2 - 0,715x_{12} \quad \dots(10)$$

Odsječak  $\beta_0$  predstavlja prosječnu vrijednost ukupnog broja dana do stabilizacije procesa kompostiranja, za sve četiri kombinacije, dok su koeficijenti  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_{12}$  polovina svojih efekata A, B i AB. Grafički prikaz razvijenog modela prikazan je slikom 6.



Slika 6. 3D-dijagram regresijskog modela za kompostiranje mulja sa dodatkom drvene piljevine

#### 4. ZAKLJUČAK

U kontroliranim uslovima moguć je postupak kompostiranja mulja i drvene piljevine što predstavlja ekološki benefit u smislu materijalne revalorizacije otpadnih materijala. Metodologijom planiranog eksperimenta i na osnovu dobijenih rezultata određeni su nivoi uticaja pojedinih faktora. Faktor ili kombinacija sa najvećom vrijednošću je nedvojbeno i najuticajniji faktor na posmatrani proces što je u slučaju kompostiranja smjese mulja i drvene piljevine temperatura okoline. Na temperaturi okoline 35°C proces kompostiranja je trajao kraće, razvijene su veće temperature kompostiranja i djelovao je stabilnije zbog manjih oscilacija temperature. Na istoj temperaturi okoline u uzorku sa većim udjelom piljevine, postignuta je veća maksimalna temperatura (za 4 °C) i ista je održavana duži period u termofilnoj fazi. Veće temperature okoline pogoduju razvoju mikroorganizama i posljedično razgradnji organske materije. Razvijanjem modela omogućena je jasnija komparacija između analiziranih faktora i njihovih interakcija. Na taj način je moguće predvidjeti i kontrolirati dužinu trajanja procesa na osnovu ulaznih parametara.

#### 5. LITERATURA

- [1] Cronje, A.L., Turner, C., Williams, A.G., Barker, A.J., Guy, S., (2004): Composting under controlled conditions. Environmental Science & Technology
- [2] Y. Yamada, Y. Kawase: Aerobic composting of waste activated sludge: Kinetic analysis for microbiological reaction and oxygen consumption. Elsevier, Waste Management, 2005.
- [3] Ekinović, S.: Metode statističke analize u Microsoft Excelu, drugo izdanje, Univerzitet u Zenici, Zenica, 2008.
- [4] I. Petric, V. Selimbašić: Development and validation of mathematical model for aerobic composting process. Elsevier, Chemical Engineering Journal, 2008.
- [5] Kishimoto, M., Preechapan, C., Yoshida, T., Taguchi, H. (1987): Simulation of an aerobic composting of activated sludge using a statistical procedure. MIRCEN Journal