

Analiza procesa kompostiranja biootpada u C-EcoForHome komposteru

Miloloža, Ena

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Chemistry and Technology / Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:167:958205>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of chemistry and technology - University of Split](#)



SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET

**ANALIZA PROCESA KOMPOSTIRANJA BIOOTPADA U C-
ECOFORHOME KOMPOSTERU**

ZAVRŠNI RAD

ENA MILOLOŽA

Matični broj: 517

Split, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KEMIJSKO-TEHNOLOŠKI FAKULTET
PREDDIPLOMSKI STUDIJ KEMIJE

**ANALIZA PROCESA KOMPOSTIRANJA BIOOTPADA U C-
ECOFORHOME KOMPOSTERU**

ZAVRŠNI RAD

ENA MILOLOŽA

Matični broj: 517

Split, rujan 2022.

**UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY
UNDERGRADUATE STUDY OF CHEMISTRY**

**ANALYSIS OF THE COMPOSTING PROCESS OF BIOWASTE IN
THE C-ECOFORHOME COMPOSTER**

BACHELOR THESIS

ENA MILOLOŽA

Parent number: 517

Split, September 2022.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

ZAVRŠNI RAD

Sveučilište u Splitu
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu
Preddiplomski studij Kemije, smjer: Kemija

Znanstveno područje: prirodne znanosti

Znanstveno polje: kemija

Tema rada je prihvaćena na XXV. sjednici Fakultetskog vijeća Kemijsko tehnološkog fakulteta

Mentor: doc. dr. sc. Maša Buljac

Pomoć pri izradi: prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović

ANALIZA PROCESA KOMPOSTIRANJA BIOOTPADA U C-ECOFORHOME KOMPOSTERU

Ena Miloloža, 517

Sažetak:

Kompostiranje je prirodan način zbrinjavanja biootpada. U ovom radu praćen je proces kompostiranja u *C-EcoForHome* komposteru ručne izrade uz dodatak inokulatora s anaerobnim mikroorganizmima. Biootpad je prikupljen u DV Iskrice, OŠ Skalice i Udruzi Škmer. Tijekom procesa kompostiranja praćeni su: temperatura, visina stupca kompostne hrpe, sadržaj suhe i hlapljive tvari, sadržaj vlage, ugljika, dušika, C/N omjer, pH i električna provodnost. Rezultati su pokazali da se fermentacijom biootpada u komposteru *C-EcoForHome* uspješno može zbrinuti biootpad u odabranim institucijama, a dobiveni predkompost dalje ide na dozrijevanje i razgradnju u tlu.

Ključne riječi: kompostiranje, biootpad, *C-EcoForHome* komposter, mikroorganizmi

Rad sadrži: 48 stranica, 19 slika, 8 tablica, 27 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za obranu:

- | | |
|--|---------------|
| 1. prof. dr. sc. Nediljka Vukojević Medvidović | predsjednik |
| 2. doc. dr. sc. Marin Ugrina | član |
| 3. doc. dr. sc. Maša Buljac | član - mentor |

Datum obrane: 20.9.2022.

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u knjižnici Kemijsko-tehnološkog fakulteta Split, Ruđera Boškovića 35.

BASIC DOCUMENTATION CARD

BACHELOR THESIS

University of Split
Faculty of Chemistry and Technology Split
Undergraduate study of Chemistry, orientation: Chemistry

Scientific area: Natural sciences

Scientific field: Chemistry

Thesis subject was approved by Faculty Council of Faculty of Chemistry and Technology, session no. XXV

Mentor: Maša Buljac, PhD, Assistant Professor

Technical assistance: Nediljka Vukojević Medvidović, PhD, Full Professor

ANALYSIS OF THE COMPOSTING PROCESS OF BIOWASTE IN THE C-ECOFORHOME COMPOSTER

Ena Miloloža, 517

Abstract:

Composting is a natural way of disposing of biowaste. In this paper, the process of composting in the handmade *C-EcoForHome* composter with the addition of an inoculator with anaerobic microorganisms was performed. Biowaste was collected in DV Iskrice, Elementary School Skalice and Association Škmer. During the composting process, the following were monitored: temperature, column height of compost pile, content of dry and volatile matter, content of moisture, carbon, nitrogen, pH value and electrical conductivity. The results showed that biowaste can be successfully disposed of by fermentation of biowaste in the *C-EcoForHome* composter located in selected institutions, while the obtained pre-compost is further processed through maturation and decomposition in soil.

Key words: composting, biowaste, *C-EcoForHome* composter, microorganisms

Thesis contains: 48 pages, 19 figures, 8 tables, 27 literature references

Original in: Croatian

Defence committee:

- | | |
|---|---------------------|
| 1. Nediljka Vukojević Medvidović, PhD, Full Professor | chair person |
| 2. Marin Ugrina, PhD, Assistant Professor | member |
| 3. Maša Buljac, PhD, Assistant Professor | member - supervisor |

Defence date: 20.9.2022.

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in library of Faculty of Chemistry and Technology Split, Ruđera Boškovića 35.

Završni rad je izrađen u Zavodu za kemiju okoliša, Kemijsko-tehnološkog fakulteta u Splitu pod mentorstvom doc. dr. sc. Maše Buljac, u razdoblju od svibnja do lipnja 2022. godine.

ZAHVALA

Zahvaljujem se doc.dr.sc. Maši Buljac i prof.dr.sc. Nediljki Vukojević Medvidović na pruženoj pomoći i savjetima pri izradi Završnog rada.

Veliko hvala svima koji su sudjelovali u ovom projektu, posebna zahvala bivšem studentu Kemijsko-tehnološkog fakulteta Zvonimiru Jukiću na izradi uređaja C-EcoForHome.

Najveća hvala mojoj obitelji, sestri Ivi, momku Nikoli i prijateljima na velikoj podršci tijekom studiranja.

HVALA!

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

1. Provesti proces kompostiranja biootpada u *C-EcoForHome* komposteru. Tijekom procesa kompostiranja nije potrebno provoditi miješanje kompostne hrpe.
2. Tijekom procesa kompostiranja uzorkovati kompostnu hrpu. U uzorcima pratiti sljedeće parametre: temperaturu, visinu stupca kompostne hrpe, udio suhe tvari, udio ugljika i dušika, udio hlapljive tvari, vlažnost, pH vrijednost i električnu provodnost.
3. Temeljem dobivenih rezultata analizirati promjene ispitivanih parametra tijekom procesa kompostiranja u *C-EcoForHome* komposteru.
4. Izvesti zaključke na temelju dobivenih rezultata tijekom procesa kompostiranja.

SAŽETAK

Kompostiranje je prirodan način zbrinjavanja biootpada. U ovom radu praćen je proces kompostiranja u *C-EcoForHome* komposteru ručne izrade uz dodatak inokulatora s anaerobnim mikroorganizmima. Biootpad je prikupljen u DV Iskrice, OŠ Skalice i Udruzi Škmer. Tijekom procesa kompostiranja praćeni su: temperatura, visina stupca kompostne hrpe, sadržaj suhe i hlapljive tvari, sadržaj vlage, ugljika, dušika, C/N omjer, pH i električna provodnost. Rezultati su pokazali da se fermentacijom biootpada u komposteru *C-EcoForHome* uspješno može zbrinuti biootpad u odabranim institucijama, a dobiveni predkompost dalje ide na dozrijevanje i razgradnju u tlu.

Ključne riječi: kompostiranje, biootpad, *C – EcoForHome* komposter, mikroorganizmi

SUMMARY

Composting is a natural way of disposing of biowaste. In this paper, the process of composting in the handmade *C-EcoForHome* composter with the addition of an inoculator with anaerobic microorganisms was performed. Biowaste was collected in DV Iskrica, Elementary School Skalice and Association Škmer. During the composting process, the following were monitored: temperature, column height of compost pile, content of dry and volatile matter, content of moisture, carbon, nitrogen, pH value and electrical conductivity. The results showed that biowaste can be successfully disposed of by fermentation of biowaste in the *C-EcoForHome* composter located in selected institutions, while the obtained pre-compost is further processed through maturation and decomposition in soil.

Key words: composting, biowaste, *C-EcoForHome* composter, microorganisms

SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. OPĆI DIO.....	2
1.1 OTPAD I VRSTE OTPADA.....	3
1.1.1. Komunalni otpad.....	3
1.1.2. Miješani komunalni otpad	3
1.2 KATALOG OTPADA.....	4
1.2.1. Oznaka zapisa u katalogu	6
1.3 BIOLOŠKA OBRADA OTPADA	6
1.3.1. Biosušenje.....	6
1.3.2. Kompostiranje.....	6
1.3.3. Anaerobna obrada	7
1.4 KOMPOSTIRANJE BIOOTPADA	7
1.4.1 Faze kompostiranja	8
1.4.2 Ciljevi kompostiranja.....	8
1.4.3 Ključni čimbenici procesa kompostiranja.....	8
1.4.4 Metode kompostiranja: reaktorske i nereaktorske metode	11
1.4.5 Prednosti i nedostaci kompostiranja	11
1.5 BOKASHI KOMPOSTIRANJE.....	12
2. EKSPERIMENTALNI DIO.....	13
2.1 OPIS PROCESA KOMPOSTIRANJA	14
2.2 ANALIZA KOMPOSTNE HRPE.....	17
2.2.1. Određivanje temperature kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja	
17	
2.2.2. Određivanje sadržaja vlage i suhe tvari	18
2.2.3. Određivanje hlapive tvari i sadržaja ugljika	18
2.2.4. Određivanje pH vrijednosti i električne provodnosti.....	19
2.2.5. Određivanje dušika po Kjeldahlu	20
3. REZULTATI I RASPRAVA	22

3.1	Analiza temperature kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja	23
3.2	Analiza visine stupca kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja	24
3.3	Analiza sadržaja vlage i suhe tvari tijekom procesa kompostiranja	25
3.4	Analiza hlapive tvari i ugljika tijekom procesa kompostiranja	27
3.5	Analiza pH vrijednosti i električne provodnosti tijekom procesa kompostiranja	28
3.6	Analiza dušika po Kjeldahlu tijekom procesa kompostiranja.....	30
3.7	Analiza C/N omjera	31
4.	ZAKLJUČAK.....	33
5.	LITERATURA:	34

UVOD

Kompostiranje je prirodan način zbrinjavanja biootpada. Na području Splita još nije osigurano prikupljanje biootpada, zato su istraživanja usmjerena na decentralizirano kompostiranje, odnosno kompostiranje u kućanstvu. Proces kompostiranja pridonosi procesu kruženja tvari u prirodi. Kompostiranjem otpada se vraćaju hranjive tvari i ugljik natrag u tlo na kojem se uzgajaju nove biljke, čime se pridonosi smanjenju efekta staklenika. U siječnju 2021. Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja RH u suradnji s tvrtkom Ipsos d.o.o. je provelo istraživanje o otpadu od hrane. Istraživanje je pokazalo da 42,7% ispitanika provodi kućno kompostiranje, a 57,3% ispitanika ne provodi. Oni koji su naveli da provode kompostiranje najčešće kompostiraju hranu koja nije pogodna za konzumaciju (69%) ili za prehranu životinja (65%). Najčešći uzroci bacanja hrane su prevelike količine (52%), istek roka (37%) te nejednostojnost hrane (30%). Tu se također pokazalo da u ljetnom periodu kućanstvo baca veće količine hrane (58,9%) u odnosu na zimski period ^[1]. U tom smislu bi primjena decentraliziranog kompostiranja pridonijela smanjenju nastajanja biootpada, također bi doprinijela smanjenju troškova prijevoza biootpada i njegove obrade te količine biootpada koja se odlaze na odlagališta.

Cilj ovog rada bio je ispitati decentralizirani komposter, *C-EcoForHome*u kojem se kompostiranje provodilo uz dodatak inokulatora s anaerobnim mikroorganizmima. Otpad posložen u *C-EcoForHome* komposteru je nastao kao posljedica prevelikih količina hrane. Biootpad je prikupljen u DV Iskrice, OŠ Skalice i Udruzi Škmer (Šefovi kuhanja mediteranskih i europskih regija). Tijekom kompostiranja praćeni su sljedeći parametri: temperatura, pH, električna provodnost, visina stupca kompostne hrpe, sadržaj suhe i hlapljive tvari, sadržaj vlage, ugljika, dušika te C/N omjer te su izvedeni zaključci.

1. OPĆI DIO

1.1 OTPAD I VRSTE OTPADA

Otpad je predmet kojeg vlasnik odlaže, treba odložiti ili namjerava odložiti. Prema osobinama se otpad dijeli na opasni, neopasni i inertni. Opasni otpad sadrži osobine koje uzrokuju opasnost po zdravlje ljudi i okoliša. To mogu biti: akumulatori, baterije, ljepljiva, boje, različite kemikalije, otpadna ulja. Neopasni otpad nema karakteristike opasnog otpada npr. papir, željezo, plastika, staklene i plastične boce. Inertni otpad ne podliježe kemijskim, fizičkim ili biološkim promjenama. Nije zapaljiv, nije topljiv, kemijski ne reagira niti je biorazgradiv ^[2]. Prema mjestu nastanka razlikuju se dvije osnovne vrste otpada: komunalni otpad (nastaje u domaćinstvima, uredima i drugim mjestima) i tehnološki otpad (nastaje u industrijskim i raznim uslužnim djelatnostima)

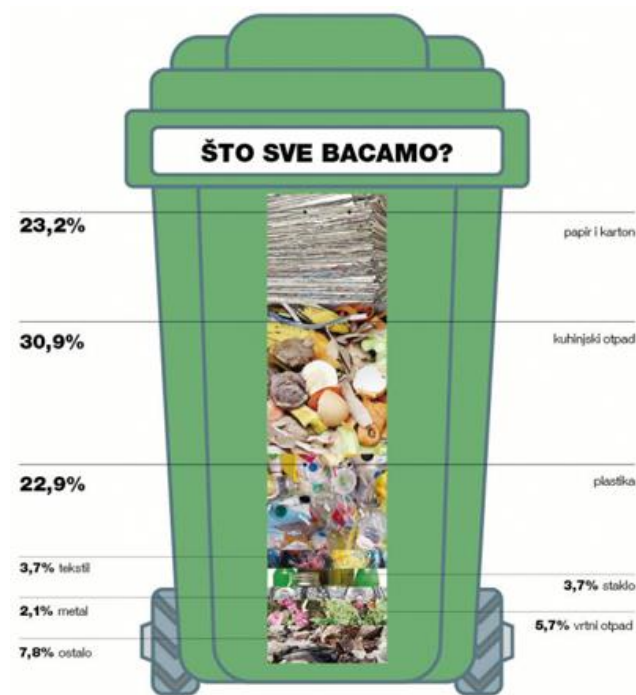
1.1.1. Komunalni otpad

Komunalni otpad nastaje u domaćinstvu, uslužnim i proizvodnim djelatnostima. Općenito se smatra netoksičnim i neopasnim. Ekološki je najpovoljnije kompostirati otpad, kako bi se smanjile njegove količine. Spaljivanje otpada je termički proces, koji otpadne materijale konvertira u plin, toplinu i pepeo, ali zbog niske kalorične vrijednosti, proces nije učinkovit i ne može se iskoristiti za obnavljanje energije. Također spaljivanje dovodi do onečišćenja zraka, ako se ne upravlja pravilno u cilju smanjenja zagađujućih plinova ^[3].

1.1.2. Miješani komunalni otpad

Miješani komunalni otpad je otpad iz kućanstva, industrije i trgovina, po sastavu je sličan otpadu iz kućanstva.

Od ukupno prikupljenog komunalnog otpada, prosječno 94% se baca na zemlju, a 5% se kompostira ^[3]. Na slici 1.1. prikazan je sastav komunalnog otpada ^[4].



Slika 1.1 Sastav komunalnog otpada ^[4]

1.2 KATALOG OTPADA

Otpad se razvrstava prema Katalogu otpada, usklađenim s europskim popisom otpada. Katalog sadrži više od 800 vrsta otpada, podijeljenih prema mjestu nastanka i svojstvima u 20 grupa. Neke grupe su povezane s materijalima, a druge s djelatnostima gdje otpad nastaje. Vrste otpada u Katalogu otpada označene su šesteroznamenkastim brojevima. Naziv grupe i podgrupe u katalogu označene su dvoznamenkastim i četveroznamenkastim brojevi, dok šesteroznamenkasti brojevi označavaju djelatnosti iz kojih se otpad generira. Opasni otpad se označava zvjezdicom ^[5]. Na slici 1.2. je prikazan katalog otpada.

20	KOMUNALNI OTPAD (OTPAD IZ KUĆANSTAVA I SLIČNI OTPAD IZ USTANOVA I TRGOVINSKIH I PROIZVODNIH DJELATNOSTI) UKLJUČUJUĆI ODVOJENO SAKUPLJENE SASTOJKE KOMUNALNOG OTPADA	
20 01	odvojeno sakupljeni sastojci komunalnog otpada (osim 15 01)	
20 01 01	papir i karton	N
20 01 02	staklo	N
20 01 08	biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina	N
20 01 10	odjeća	N
20 01 11	tekstili	N
20 01 13*	otapala	O53
20 01 14*	kiseline	O53
20 01 15*	lužine	O53
20 01 17*	fotografske kemikalije	O53
20 01 19*	pesticidi	O53
20 01 21*	fluorescentne cijevi i ostali otpad koji sadrži živu	V157
20 01 23*	odbačena oprema koja sadrži klorofluorogljike	V157
20 01 25	jestiva ulja i masti	V152
20 01 26*	ulja i masti koji nisu navedeni pod 20 01 25*	V152
20 01 27*	boje, tinte, ljepila i smole, koje sadrže opasne tvari	V153
20 01 28	boje, tinte, ljepila i smole, koje nisu navedene pod 20 01 27*	V153
20 01 29*	deterdženti koji sadrže opasne tvari	V154
20 01 30	deterdženti koji nisu navedeni pod 20 01 29*	V154
20 01 31*	citotoksici i citostatici	V155
20 01 32	lijekovi koji nisu navedeni pod 20 01 31*	V155
20 01 33*	baterije i akumulatori obuhvaćeni pod 16 06 01*, 16 06 02* ili 16 06 03* i nesortirane baterije i akumulatori koji sadrže te baterije	V156

20 01 34	baterije i akumulatori, koji nisu navedeni pod 20 01 33*	V156
20 01 35*	odbačena električna i elektronička oprema koja nije navedena pod 20 01 21* i 20 01 23*, koja sadrži opasne komponente ⁷	V157
20 01 36	odbačena električna i elektronička oprema, koja nije navedena pod 20 01 21*, 20 01 23* i 20 01 35*	V157
20 01 37*	drvo koje sadrži opasne tvari	V158
20 01 38	drvo koje nije navedeno pod 20 01 37*	V158
20 01 39	plastika	N
20 01 40	metali	N
20 01 41	otpad od čišćenja dimnjaka	N
20 01 99	ostali sastojci komunalnog otpada koji nisu specificirani na drugi način	N
20 02	otpad iz vrtova i parkova (uključujući otpad sa groblja)	
20 02 01	biorazgradivi otpad	N
20 02 02	zemlja i kamenje	N
20 02 03	ostali otpad koji nije biorazgradiv	N
20 03	ostali komunalni otpad	
20 03 01	miješani komunalni otpad	N
20 03 02	otpad s tržnica	N
20 03 03	ostaci od čišćenja ulica	N
20 03 04	muljevi iz septičkih jama	N
20 03 06	otpad nastao čišćenjem kanalizacije	N
20 03 07	glomazni otpad	N
20 03 99	komunalni otpad koji nije specificiran na drugi način	N

Slika 1.2 Katalog otpada ^[5]

1.2.1. Oznaka zapisa u katalogu

Oznaka opasnog otpada „O“ ima značenje da treba odrediti opasna svojstva koja posjeduje otpad.

Oznaka neopasnog otpada „N“ ima značenje da ne treba odrediti opasno svojstvo.

Višestruki zapis „V“ ima značenje da otpad pri određenim uvjetima može sadržavati jedno ili više opasnih svojstava ^[6].

1.3 BIOLOŠKA OBRADA OTPADA

Cilj biološke obrade otpada je dobiti neaktivan i stabilan produkt, koji se može koristiti kao humus ili odlagati na odlagalište. Biološka obrada može biti: aerobna i anaerobna.

Aerobna obrada odvija se u prisutnosti kisika uz mikroorganizme (kao što su bakterije i gljivice) koji razgrađuju organsku tvar. Proces obuhvaća biosušenje i kompostiranje.

1.3.1. Biosušenje

Biosušenje je proces razgradnje organske tvari u usitnjenom otpadu. To je egzoterman proces te je stoga i povoljniji od kompostiranja. Cilj biosušenja je smanjenje vlage, stabilizacija organske tvari i povećanje ogrjevne vrijednosti otpada. Toplina koja se oslobađa aerobnom razgradnjom otpada pridonosi uklanjanju viška vode iz otpada. Biosušenjem se zadržava kalorijska vrijednost otpada. Od 40% do 60% metana se nalazi u procesu, a ostatak je ugljikov(IV)oksid. Prednosti su smanjenje otpada, CH₄, CO₂, SO₂ i prašine koja odlazi u atmosferu ^[7].

1.3.2. Kompostiranje

Biološka oksidacija organske tvari u krutom otpadu do ugljikova(IV)oksida, vode i topline koriste se kao prikaz procesa kompostiranja. Mikroorganizmi u otpadu kataliziraju ovu reakciju oksidacije, dajući novu biomasu. Proizvedena toplina se akumulira u krutom otpadu, što dovodi do značajnog porasta temperature. Brzina kompostiranja rezultat je mikrobne aktivnosti unutar otpada i na nju utječe niz faktora. Biomasa, kisik, temperatura, organska tvar, vlaga i struktura otpada se smatraju

najvažnijim čimbenicima koji utječu na brzinu kompostiranja. Sadržaj se povremeno miješa ^[7].

1.3.3. Anaerobna obrada

Anaerobna digestija (fermentacija) je proces bez prisutstva kisika u kojem dolazi do razgradnje biorazgradljivog materijala pod djelovanjem mikroorganizama. Konačni produkt je bioplin. Proces se sastoji od 4 procesa: hidroliza, acidogeneza, acetogeneza i metanogeneza.

Hidrolizom se netopljivi polimeri uz pomoć enzima hidrolaze razlažu na manje topljive monomere. Tako se npr. polisaharidi uz pomoć amilaze konvertiraju u monosaharide, lipidi uz pomoć lipaze u masne kiseline i glicerol, proteini uz pomoć proteaze u aminokiseline.

Acidogenezom nakon hidrolize, acidogene bakterije prevode aminokiseline i šećer u sumporovodik, organske kiseline, amonijak i ugljikov(IV)oksid.

Acetogeneza je faza u kojoj metanogene bakterije ne mogu transformirati izravno organske spojeve u metan te se konvertiraju u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline se oksidiraju u vodik i acetatne soli.

Metanogeneza je zadnji i najsporiji korak, u kojem metanskim vrenjem nastaje metan. 70% metana nastaje iz acetatnih soli, a ostatak iz vodika i CO₂ ^[7].

1.4 KOMPOSTIRANJE BIOOTPADA

Kompostiranje je prirodan proces razgradnje biootpada, koji se događa svuda oko nas. Ukoliko je kompost kvalitetan, doprinosi rastu biljke, hrani biljke, zadržava vodu te pridonosi održavanju pH ravnoteže tla. Kompost sadrži dušik, fosfor i kalij koji pomažu u zaštiti kiselih ili lužnatih tla. Bitan produkt kompostiranja je humus, koji uvelike poboljšava kvalitetu tla. Mikroorganizmi se brinu da nastane humus, razgradnjom organske tvari. Humus smanjuje potrebu za korištenjem umjetnih gnojiva. Svi organski ostatci iz kućanstva se mogu kompostirati. Prednosti komposta su sposobnost vezanja teških metala i drugih zagađivala, te se na taj način smanjuje njihova apsorpcija i propusnost u biljkama ^[8].

1.4.1 Faze kompostiranja

Tijekom procesa kompostiranja izmjenjuju se četiri faze: termofilna faza, mezofilna faza, faza sušenja i faza zrenja

- Mezofilna faza (25-45°C) je faza u kojoj bakterije i gljivice razgrađuju molekule bogate energijom. Dolazi do porasta temperature kompostne hrpe te bakterije prelaze u uspavani oblik (endospore). Endospore mogu preživjeti sljedeću, topliju fazu i ponovno se vratiti u aktivno stanje, jer su otporne na visoke temperature i kemikalije.
- Termofilna faza (45 do 65°C) je faza u kojoj dolazi do porasta termofilnih organizama. Visoka temperatura dovodi do uništavanja patogenih mikroorganizama.
- Faza hlađenja je druga mezofilna faza u kojoj su ponovno aktivni mezofilni mikroorganizmi, jer je većina organske tvari razgrađena. Bakterije se iz endospora vraćaju u svoj aktivni oblik.
- Faza zrenja može trajati nekoliko tjedana ili mjeseci. U toj fazi raste broj gljivica koje razgrađuju teže razgradive sastojke i dolazi do razgradnje ugljikovih spojeva [9].

1.4.2 Ciljevi kompostiranja

Neki od ciljeva kompostiranja organskih spojeva su: razgradnja otpada u proizvod koji je biološki stabilniji ili se može koristiti kao gnojivo, uklanjanje patogenih mikroorganizama, postizanje željenih rezultata (maksimalan omjer ugljika i dušika) u konačnom proizvodu [10].

1.4.3 Ključni čimbenici procesa kompostiranja

Na proces kompostiranja utječe veliki broj fizikalnih, kemijskih i bioloških čimbenika, a ponajviše: supstrat, mikroorganizmi, vlažnost, temperatura, kisik, pH vrijednost, miješanje i vrijeme.

Supstrat

Supstrat mogu biti: ostatci povrća i voća, ostatci iz vrtova, kućanski ostatci, papir, karton itd. Preporuča se koristiti samo biljne sastojke, a to su aminokiseline, lipidi, bjelančevine, celuloza, itd. glavni spojevi u supstratu. Ukoliko se supstrat sastoji od čestica manjeg promjera dolazi do sabijanja kompostne hrpe i smanjenja cirkulacije kisika, a ukoliko sadrži krupnije čestice ima slobodniju strukturu i veću cirkulaciju kisika. Poroznost određuju visina kompostne hrpe, veličina i vrsta čestica ^[11].

Omjer ugljika i dušika (C/N)

Omjer ugljika i dušika treba biti u ravnoteži. U prisutstvu viška ugljika, razgradnja se smanjuje kada se dušik potroši (mikroorganizmi koriste ugljik kao izvor energije, a dušik za izgradnju stanične strukture) i neki mikroorganizmi uginu ^[12]. Dovoljno dušika daju uglavnom zeleni dijelovi biljaka, a ugljika: karton, sijeno, piljevina itd. Optimalni omjer je od 25:1 do 35:1, jer je za svaku jedinicu dušika uključeno oko 30 jedinica ugljika. Pri velikom omjeru se usporava proces kompostiranja, a pri nižem omjeru se gubi dušik i stvara amonijak. Amonijak uzrokuje povećanje pH vrijednosti komposta i smanjuje vrijednost produkta. A uspješnost postupka i zrelost produkta se postiže stalnim smanjivanjem C/N omjera ^[13].

Mikroorganizmi

Supstrat mora imati dovoljno ugljika, kako bi se ubrzao metabolizam mikroorganizama i dovoljno dušika koji pokreće rad enzima u procesu razgradnje ^[9].

Najznačajniji mikroorganizmi su:

- Bakterije koje su zaslužne za razgradnju organske tvari i nastajanje topline budući da ubrzavaju proces kompostiranja ^[14].
- Gljivice se pri visokim temperaturama nalaze u vanjskom dijelu kompostne hrpe, a pri nižim temperaturama u sredini kompostne hrpe. Budući da čine manje nakupine, poboljšavaju aeraciju i propusnost ^[9].
- Aktinomiceti su skupina bakterija, koja tvori niti za stvaranje stabilnih organskih nakupina u fazi zrenja ^[15].

Vlažnost

Na početku kompostiranja sadržaj vlage je oko 40-65%. Ukoliko je sadržaj vlage prevelik dolazi do truljenja organskog materijala, a ako je premalen zaustavlja se proces i

pojavljuje se plijesan. Vlažnost se može odrediti testom gnječenja ^[16]. Na vlažnost utječe i temperatura okoline, koja je zimi znatno niža te je tada vlažnost veća ^[17].

Kisik

Ukoliko je koncentracija kisika manja od 5% dolazi do nastanka anaerobnih uvjeta i nastanka metana, ukoliko je iznad 10% stvaraju se aerobni uvjeti. Razlikujemo prirodnu i prisilnu aeraciju. Kada zrak ide prema gore, temperatura u sredini kompostne hrpe je veća od temperature okoliša. Prisilna aeracija može biti pozitivna i negativna. Pozitivna prisilna aeracija nastaje upuhivanjem zraka ventilatorima, a kod negativne prisilne aeracije vakuum crpka crpi zrak iz kompostne hrpe i putem površine kompostne hrpe crpi zrak iz okoline ^[9].

Temperatura

Pri provođenju kompostiranja uočava se porast temperature, zbog djelovanja mikroorganizama i zbog toga što je kompostiranje egzoterman proces ^[16]. Temperatura okoline također može utjecati na temperaturu kompostne hrpe. Znatno je niža zimi, nego ljeti ^[17].

pH vrijednost

pH vrijednost supstrata u aerobnim uvjetima je uglavnom između 6,0 i 8,0. pH vrijednost u anaerobnim uvjetima se spušta do 4,5. U kiselom mediju se javlja manja količina kalcija, dušika, bakra i molibdena ^[18].

Miješanje

Miješanjem se postiže homogenizacija smjese, mikroorganizmi se raspodjeljuju, postiže se dovođenje svježeg zraka i ispuštanje plinova i vode ^[18]. Tijekom miješanja dolazi do gubitka dušika, zbog isparavanja amonijaka ^[12].

Vrijeme

Proces kompostiranja traje obično par mjeseci do godinu dana, ovisno o količini i vrsti otpada.

1.4.4 Metode kompostiranja: reaktorske i nereaktorske metode

Postoji više metoda kompostiranja, od kojih se mogu navesti dvije najvažnije:

- Reaktorske metode (kompostiranje na otvorenom pri aerobnim uvjetima).
- Nereaktorske metode (kompostiranje u zatvorenom - aeroban postupak).

Reaktorske metode se dijele na horizontalne i vertikalne bioreaktore.

Vertikalni reaktori se na vrhu pune sirovinom, a s dna ili vrha uređaja se odvija prisilna aeracija. Prate se osnovni parametri nekoliko tjedana tijekom procesa.

Horizontalni reaktori mogu biti u obliku tunela, kanala ili spremnika.

Prednosti reaktorskih metoda su kratko vrijeme procesa, kontrola temperature, neovisnost o vremenskim uvjetima, a nedostatak je veliki ekonomski trošak.

Nereaktorske metode mogu biti „*windrow sustav*“ i kompostiranje u hrpama.

Kod *windrow* sustava kompostni materijal se slaže u hrpe i aeracija se omogućuje miješanjem kompostne hrpe. Najčešće se upotrebljava za kompostiranje zelenog otpada.

Kod kompostiranja u hrpama, kako bi se spriječio gubitak topline, kompostne hrpe se prekrivaju zrelim kompostom. Nema miješanja materijala, kompostiranje se provodi prisilnom aeracijom.

Prednosti nereaktorskih metoda su niska cijena, a nedostatak: duže trajanje procesa, mogućnost nastanka neželjenih plinova i ovisnost o vremenskim uvjetima ^[19].

1.4.5 Prednosti i nedostaci kompostiranja

Kompostiranjem smanjujemo količine otpada i pomažemo u očuvanju okoliša.

Prednosti komposta kao organskog gnojiva su: popravljjanje strukture tla, toplinskih svojstava tla i odnosa zraka i vode u tlu. Kompost sadrži mikroorganizme koji potiču mikrobiološku aktivnost zemljišta i sprječavaju aktivnost patogena.

Neki od nedostataka procesa kompostiranja su: neugodan miris zbog sirovih komponenti u kompostu, otpadna voda koja sadrži mikroorganizme (može se skupljati, te ponovno vratiti u kompostnu hrpu) i nastajanje stakleničkih plinova (kao što su CO₂ i CH₄). Vrijednosti koncentracija stakleničkih plinova se prate tijekom procesa te nisu štetne za primjenu zrelog komposta, ukoliko se kompostiranje pravilo izvodi ^[10].

1.5 BOKASHI KOMPOSTIRANJE

Bokashi kompostiranje zahtijeva znatno kraće vrijeme (oko 10-ak dana) da se organski materijal transformira u uporabljivi materijal uslijed dodatka inokulanta ili ubrzivača kompostiranja (smjese odabranih bakterija, fermenata i mineralnih tvari) ^[20], a hranjiva vrijednost je najviša od svih drugih metoda kompostiranja. Bokashi je japanska riječ, a znači „*fermented organic matter*“ (fermentirana organska tvar). To je anaerobni proces u kojem se kuhinjski ostaci i inokulator unose slojevito. Fermentacijom kuhinjskih ostataka, atmosferske hranjive tvari bit će zadržane i isporučene izravno u tlo, što je izvrstan način za povećanje dušika bez upotrebe gnojiva ili pokrovnih usjeva. Nakon što se fermentirani kompost dobiven bokashi kompostiranjem unese u tlo koje sadrži kisik, nastavlja se normalan proces razgradnje, a ostaci otpada će se razgraditi. Dakle, bokashi kompostiranjem se dobija predkompost ili fermentirani kompost koji se nakon toga unosi u tlo na dozrijevanje i razgradnju u tlu ^[21]. Može se izraditi ručni sustav kompostiranja ili kupiti gotovu Bokashi kantu za kompostiranje i mikroorganizme. U Bokashi kantu se naslažu slojevi kuhinjskih ostataka i inokulatora te smjesa brzo počinje fermentirati. Kanta ima poklopac i na dnu otvor za ispuštanje tekućine koja nastaje. Tekućinu treba iscijediti, kako bi se spriječilo stvaranje neugodnog mirisa te se može upotrijebiti kao tekuće gnojivo za biljke. Kanta se otvara samo kako bi se dodali ostaci kuhinjskog otpada te se smjesa može utisnuti kako bi se istisnuo zrak. Bokashi kompostiranjem se dobiva kvalitetno gnojivo za tlo i biljke, a mikroorganizmi pri Bokashi kompostiranju najjaktivniji su prvih 15 dana ^[22].

2. EKSPERIMENTALNI DIO

2.1 OPIS PROCESA KOMPOSTIRANJA

Biootpad upotrijebljen u ovom završnom radu prikupljen je na 3 lokacije: u DV Iskrice, OŠ Skalice i Udruzi Škmer. Biootpad u DV Iskrice sadržavao je sirove ostatke lisnatog povrća (zelena salata) mase 666,7 g, sirove ostatke povrća (mahune, tikvice, šparoge, bazgu) mase 790,7 g te sirove ostatke voća (jabuka, banana) mase 757 g. Ukupna masa biootpada bila je 2214,4 g, a visina stupca kompostne hrpe 33 cm. Biootpad u OŠ Skalice sadržavao je mrkvu (200,8 g), naranču (162 g), koru krastavca (39,8 g), poriluk (43,7 g), kapulu (29,8 g), travu (10 g), koru banane (1550 g), kupus (675 g), koru krumpira (1720 g), talog kave (82,4 g), vrećice za čaj (18,7 g). Ukupna masa biootpada bila je 5032,0 g, a visina stupca kompostne hrpe 31 cm. Biootpad u Udruzi Škmer sadržavao je sirove ostatke povrća (mrkva, peršin, celer, koru banane, mladu blitvu, zelenu salatu) mase 300 g, koru naranče i limuna mase 1680 g, koru jagode i jabuke mase 1035 g te koru ananasa i kivija mase 860 g. Ukupna masa biootpada bila je 3875 g, a visina stupca kompostne hrpe 31,5 cm. Kompostiranje u svim ustanovama je provedeno u *C-EcoForHome* komposteru uz dodatak inokulanta s anaerobnim mikroorganizmima. Izgled i veličina kompostera prikazana na slici 2.1, a na slici 2.2 je prikazan inokulant s anaerobnim mikroorganizmima.



Slika 2.1 Izgled *C-EcoForHome* kompostera



Slika 2.2 Inokulant s anaerobnim mikroorganizmima

Biootpad je usitnjen na sitne komadiće nožem te posložen u slojeve uz dodatak inokulanta s anaerobnim mikroorganizmima i malo vode. Pri kraju slaganja kompostna hrpa je stisnuta (ili potisnuta), kako bi se istisnuo zrak. Izgled kompostnih hrpa u 3 ustanove prikazan je na slikama 2.3, 2.4 i 2.5. Proces kompostiranja je trajao oko mjesec dana, svaki tjedan su uzimani uzorci i praćeni sljedeći parametri: temperatura, pH, električna provodnost, visina stupca, sadržaj suhe i hlapljive tvari, sadržaj vlage, ugljika, dušika te C/N omjer. Miješanje kompostne hrpe nije bilo potrebno.



Slika 2.3 Izgled kompostne hrpe u DV Iskrica



Slika 2.4 Izgled kompostne hrpe u OŠ Skalice



Slika 2.5 Izgled kompostne hrpe u Udruzi Škmer

Uzorkovanje kompostne hrpe

Uzorkovanje je provedeno svaki tjedan, ručno uz pomoć metalne cijevi, na način da se kompostna hrpa nije miješala i uzorak se uzimao iz sredine, kako bi se pokušalo uzeti što više različitog materijala. Zatim je komposter malo nakrivljen s ciljem prikupljanja

procjedne vode u plastične boce, ukoliko je ima. Nakon svakog uzorkovanja, provedene su analize uzorka.

2.2 ANALIZA KOMPOSTNE HRPE

U izvornim uzorcima je određivana vlažnost, udio suhe tvari, udio hlapljive tvari, udio ugljika i dušika te C/N omjer. Zatim je maloj količini uzorka (oko 5 g) dodano 100 mL destilirane vode te je smjesa stavljena na miješanje 15 minuta. Nakon toga određivana je: pH vrijednost i električna provodnost. Nakon analize, ostatak uzorka je spremljen u plastične vrećice i pohranjen u hladnjak, kako se ne bi izgubila vlažnost. Oznake uzoraka i vrijeme uzorkovanja kompostne hrpe su prikazane u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Oznake uzoraka i vrijeme uzorkovanja kompostne hrpe

Oznaka uzorka	DV Iskrice	OŠ Skalice	Udruga Škmer
Početni uzorak	18.5.2022.	18.5.2022.	23.5.2022.
Uzorak 1	23.5.2022.	23.5.2022.	25.5.2022.
Uzorak 2	25.5.2022.	25.5.2022.	1.6.2022.
Uzorak 3	1.6.2022.	1.6.2022.	7.6.2022.
Uzorak 4	7.6.2022.	7.6.2022.	14.6.2022.
Uzorak 5	14.6.2022.	14.6.2022.	

2.2.1. Određivanje temperature kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Temperatura je mjerena svaki put tijekom uzorkovanja pomoću kontaktnog termometra, koji je postavljen u sredinu kompostne hrpe. Dobiveni rezultati su prikazani u tablici 3.1.

2.2.2. Određivanje sadržaja vlage i suhe tvari

Sušenjem uzorka pri 105°C određen je sadržaj vlage. Masa vode je određena iz razlike mase prije i poslije sušenja.

Maseni udio vlage u uzorku je određen jednadžbom 2-1, [23]:

$$w(H_2O) = \frac{m(VT) - m(ST)}{m(VT)} \cdot 100 [\%] \quad 2-1$$

Maseni udio suhe tvari je određen jednadžbom 2-2, [23]:

$$w(ST) = 1 - w(H_2O) [\%] \quad 2-2$$

gdje je:

$m(VT)$ – masa vlažnog uzorka, g

$m(ST)$ – masa suhog uzorka, g

$w(VT)$ – udio vlage u uzorku, %

$w(ST)$ – udio suhe tvari u uzorku, %

Rezultati određivanja sadržaja vlage i suhe tvari u uzorku su prikazani u tablici 3.3.

2.2.3. Određivanje hlapljive tvari i sadržaja ugljika

Uzorci su nakon sušenja žareni u peći na 550°C do konstantne mase. Udio hlapljive tvari u supstratu se računa prema jednadžbi 2-3, [23]:

$$w(HT) = \frac{m(ST) - m(pepeo)}{m(ST)} \cdot 100 [\%] \quad 2-3$$

Udio ugljika se računa prema jednadžbi 2-4, [23]:

$$w(C) = \frac{w(HT)}{1,8} \cdot 100 [\%] \quad 2-4$$

gdje je:

w(HT) – udio hlapljive tvari, %

m(pepeo) – masa uzorka nakon žarenja, g

w(C) – udio ugljika, %

Rezultati određivanja hlapljive tvari i sadržaja ugljika dani su u tablici 3.4.

2.2.4. Određivanje pH vrijednosti i električne provodnosti

U Erlenmeyerovu tikvicu odvagano je 5 g uzorka i dodano je 100 ml destilirane vode. Nakon 15 minuta miješanja na miješalici, određena je pH vrijednost s pH–metrom. pH vrijednost i električna provodnost su određeni uranjanjem elektroda u uzorak.

pH vrijednost

pH vrijednost je mjera lužnatosti ili kiselosti otopine. Određuje se u laboratoriju pH–metrom. Elektroda pH–metra se ispere destiliranom vodom, posuši i uroni u uzorak. Kada se mjerenje uravnoteži, očita se pH vrijednost.

Električna provodnost

Električna provodnost je fizikalna veličina koja opisuje svojstvo tijela da propušta električnu struju, recipročna je električnomu otporu. Standardna temperatura je 25°C. Električna vodljivost je pokazatelj ukupne koncentracije soli u vodi. Čista voda ima nisku električnu provodnost, a ako voda sadrži ione otopljenih soli koji vode struju veća je.

Rezultati mjerenja pH i električne provodnosti prikazani su u tablici 3.5.

2.2.5. Određivanje dušika po Kjeldahlu

Metoda za određivanje dušika u organskim spojevima koja se temelji na oksidaciji/mineralizaciji uzorka s jakim oksidansom pri 420°C uz katalizator $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ i K_2SO_4 . Nastaje amonijev sulfat. Iz njega se destilacijom oslobađa amonijak, koji se određuje kiselo – baznom titracijom s NaOH uz dodatak indikatora metilcrveno (dolazi do promjene boje iz ružičaste u žutu).

Postupak razgradnje:

Nakon sušenja uzorka na zraku i usitnjavanja nožem u sitnije komadiće, u staklenu kivetu je odvagana određena masa uzorka i dodan je katalizator u omjeru 1:9 (1g + 9g) i 10 mL koncentrirane sulfatne kiseline. Staklena kiveta je premještena u uređaj za digestiju i zagrijavana na 150°C 20 minuta, na 250°C 30 minuta i na 420°C 1 sat. U epruvetama se pojavila zelena boja nakon mineralizacije, a plava boja nakon hlađenja. Kada je otopina poprimila plavu boju u epruvete je dodano po 75 mL destilirane vode. Uređaj za digestiju uzorka je prikazan na slici 2.6.



Slika 2.6. Uređaj za digestiju uzorka

Postupak destilacije

Ohlađena epruveta s uzorkom je postavljena u uređaj za destilaciju po Kjeldahlu. Erlenmayerova tikvica se koristi za skupljanje amonijaka, i u nju je otpipetirano 20 mL 0,1 mol/L kloridne kiseline i dodano par kapi indikatora metilcrveno. Destilacija traje 5 minuta, a volumen 40%-tne NaOH je 50 mL. Nakon destilacije se odvija titracija

neizreagirane HCl s 0,1 mol/L NaOH, ružičasta boja prelazi u žutu. Za slijepu probu se ponovio isti postupak. Na slici 2.7. je prikazan uređaj za destilaciju.



Slika 2.7. Uređaj za destilaciju

Dušik po Kjeldahlu se određuje prema jednadžbi 2-5, [23]:

$$\gamma(N_2) = \frac{(V_{NaOH,SP} - V_{NaOH,uzorak}) \cdot c(NaOH) \cdot f(NaOH) \cdot M(N_2) \cdot 100}{m_{uzorka}} [\%] \quad 2-5$$

gdje je:

$V_{NaOH,SP}$ – volumen 0,1 mol L⁻¹ NaOH za titraciju slijepe probe

$V_{NaOH,uzorak}$ - volumen 0,1 mol L⁻¹ NaOH za titraciju uzorka

$c(NaOH)$ – koncentracija titranta otopine NaOH

$M(N_2)$ – molarna masa dušika, 14,007 g mol⁻¹

m_{uzorka} – masa uzorka korigirana na vlažnost, g

Rezultati određivanja dušika su prikazani u tablici 3.6.

3. REZULTATI I RASPRAVA

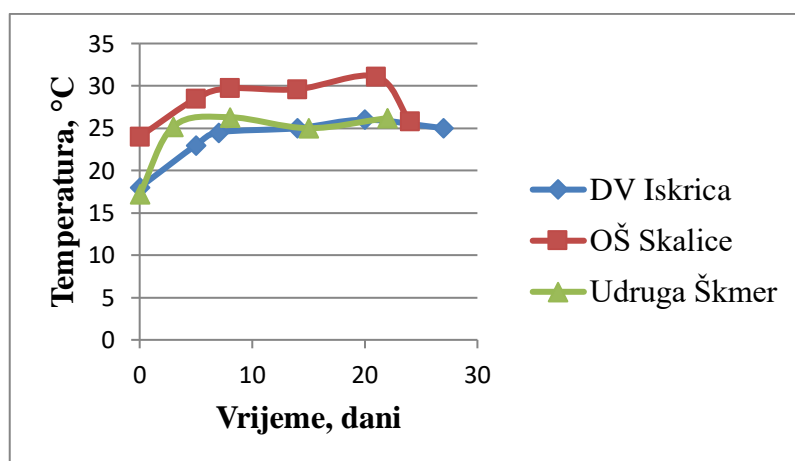
3.1 Analiza temperature kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Temperatura je mjerena svaki put tijekom uzorkovanja pomoću kontaktnog termometra, postavljanjem u sredinu kompostne hrpe.

Rezultati temperature kompostne hrpe su prikazani u tablici 3.1 te grafički na slici 3.1.1.

Tablica 3.1 Rezultati temperature kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Uzorak	DV Iskrica	OŠ Skalice	Udruga Škmer
	Temperatura/ °C	Temperatura/ °C	Temperatura/ °C
Početni uzorak	18,0	24,0	17,2
Uzorak 1	23,0	28,5	25,2
Uzorak 2	24,5	29,7	26,3
Uzorak 3	25,0	29,6	25,0
Uzorak 4	26,0	31,1	26,2
Uzorak 5	25,0	25,8	



Slika 3.1.1 Temperatura kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Početna temperatura prikupljenog biootpada oscilira ovisno o tome je li otpad prikupljen neposredno pred kompostiranje i je li čuvan na hladnom. Tako je početna temperatura u DV Iskrica i Udruzi Škmer nešto niža u odnosu na OŠ Skalice. Nakon toga vidljiv je

lagani porast temperature, nakon čega ta vrijednost oscilira oko konstantne vrijednosti. Općenito su nešto više temperature zabilježene u OŠ Skalice, a što je povezano sa mjestom lokacije kompostera i utjecaja lokalnih vremenskih uvjeta.

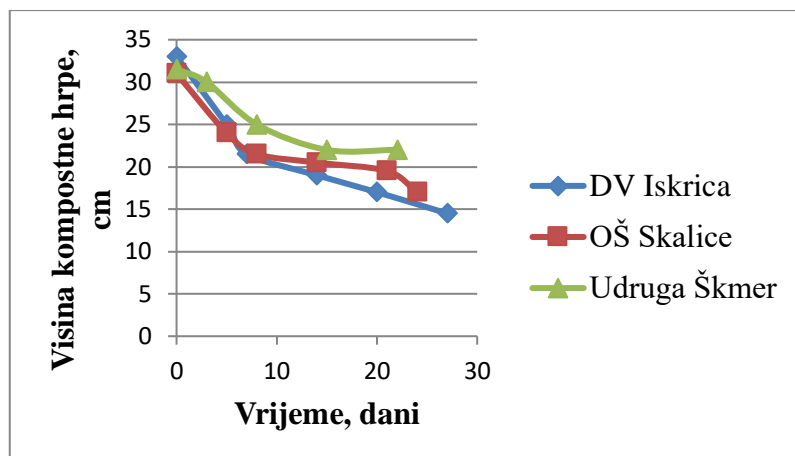
Iako je porast temperature zamijećen, porast je značajno manji u odnosu na porast temperature pri klasičnom aerobnom kompostiranju ili uz dodatka „*bokashi startera*“, a što se pripisuje dodatku inokulatora s anaerobnim mikroorganizmima ^[24].

3.2 Analiza visine stupca kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Rezultati mjerenja visine kompostne hrpe su prikazani u tablici 3.2, a grafički na slici 3.2.1.

Tablica 3.2 Rezultati visine stupca kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Uzorak	DV Iskrice	OŠ Skalice	Udruga Škmer
	Visina kompostne hrpe, cm	Visina kompostne hrpe, cm	Visina kompostne hrpe, cm
Početni uzorak	33,0	31,0	31,5
Uzorak 1	25,0	24,0	30,0
Uzorak 2	21,5	21,5	25,0
Uzorak 3	19,0	20,5	22,0
Uzorak 4	17,0	19,5	22,0
Uzorak 5	14,5	17,0	



Slika 3.2.1 Visina kompostne hrpe tijekom procesa kompostiranja

Rezultati pokazuju da se visina kompostne hrpe tijekom kompostiranja u tri ustanove smanjila, zbog razgradnje mikroorganizama. Najviše se smanjila kompostna hrpa u DV Iskrica (sa 33 cm na 14,5 cm), zatim u OŠ Skalice (sa 31 cm na 17 cm), a najmanje se smanjila kompostna hrpa kod Udruge Škmer pokrenuta tjedan dana kasnije. Razlog slabijem smanjenju kompostne hrpe nije kraće vrijeme kompostiranja, jer je vidljivo da se nakon 15 dana vrijednost nije značajno mijenjala. Ovakvo ponašanje se može pripisati sastavu biootpada budući da se skoro polovina mase otpada odnosi na kore naranče i limuna koje su teže biorazgradive.

3.3 Analiza sadržaja vlage i suhe tvari tijekom procesa kompostiranja

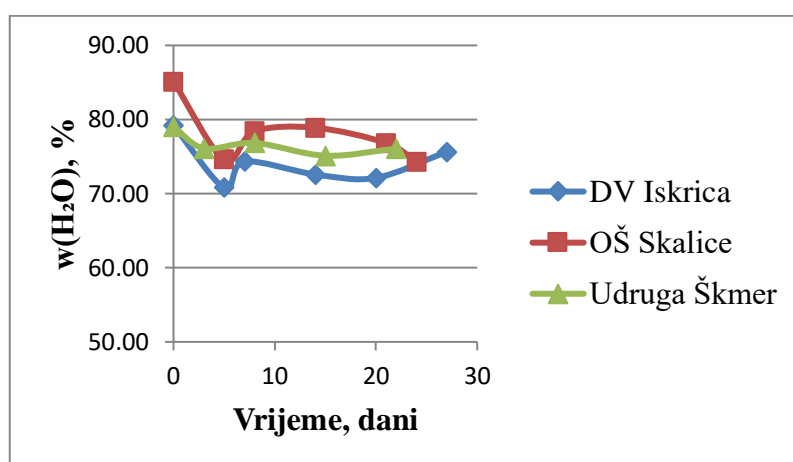
Rezultati određivanja sadržaja vlage i suhe tvari prikazani su u tablici 3.3, a grafički na slikama 3.3.1 i 3.3.2.

Tablica 3.3 Sadržaj vlage i suhe tvari u uzorku

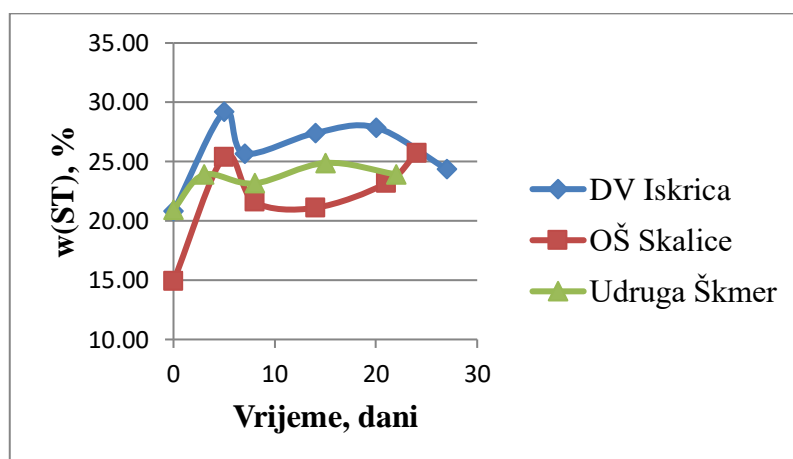
Uzorak	DV Iskrica		OŠ Skalice		Udruga Škmer	
	w(H ₂ O), %	w(ST), %	w(H ₂ O), %	w(ST), %	w(H ₂ O), %	w(ST), %
Početni uzorak	79,20	20,80	85,09	14,91	79,04	20,96
Uzorak 1	70,82	29,18	74,62	25,38	76,11	23,89

Nastavak tablice 3.3

Uzorak 2	74,33	25,67	78,42	21,58	76,84	23,16
Uzorak 3	72,59	27,41	78,90	21,10	75,12	24,88
Uzorak 4	72,13	27,87	76,83	23,17	76,08	23,92
Uzorak 5	75,64	24,36	74,27	25,73		



Slika 3.3.1 Udio vlage u uzorku tijekom procesa kompostiranja



Slika 3.3.2 Udio suhe tvari u uzorku tijekom procesa kompostiranja

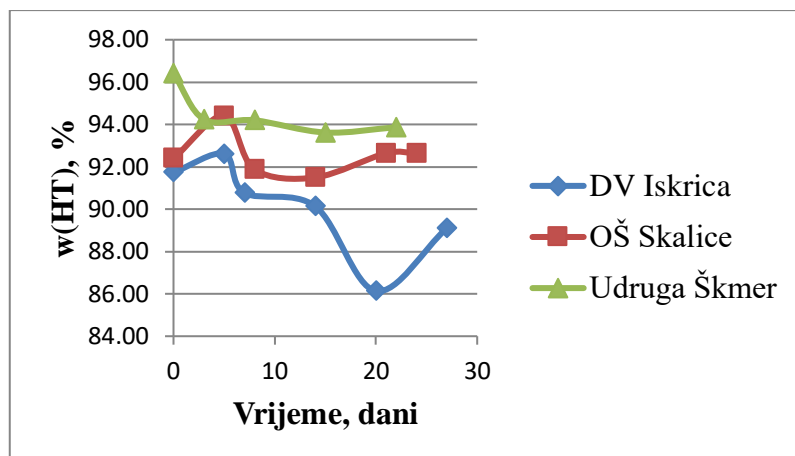
Slike 3.3.1 i 3.3.2 pokazuju da se maseni udio vlage tijekom procesa kompostiranja smanjuje, a udio suhe tvari povećava. To je i očekivano budući se smanjuje sposobnost vezanja vode i smjesa postaje rahlija. Rast udjela suhe tvari i pad udjela vode su izraženiji u početnom periodu kompostiranja, nakon čega vrijednosti blago osciliraju. Konačne vrijednosti za udio vode se kreću od 71% do 78%, a za udio suhe tvari od 23% do 28%.

3.4 Analiza hlapljive tvari i ugljika tijekom procesa kompostiranja

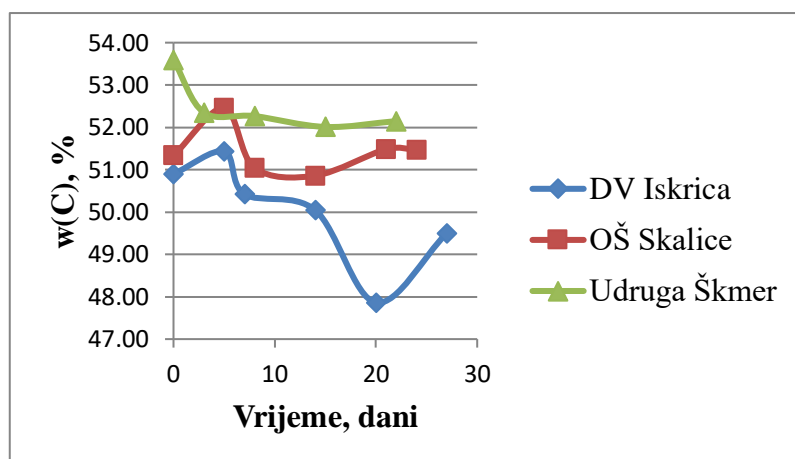
Rezultati određivanja hlapljive tvari i ugljika prikazani su u tablici 3.4, a grafički na slikama 3.4.1 i 3.4.2.

Tablica 3.4 Prikaz sadržaja hlapljive tvari i ugljika u uzorcima

Uzorak	DV Iskrica		OŠ Skalice		Udruga Škmer	
	w(HT), %	w(C), %	w(HT), %	w(C), %	w(HT), %	w(C), %
Početni uzorak	91,73	50,90	92,40	51,34	96,42	53,59
Uzorak 1	92,61	51,43	94,41	52,45	94,24	52,35
Uzorak 2	90,77	50,42	91,88	51,04	94,20	52,27
Uzorak 3	90,13	50,04	91,50	50,86	93,26	52,01
Uzorak 4	86,13	47,86	92,64	51,48	93,87	52,15
Uzorak 5	89,11	49,50	92,64	51,46		



Slika 3.4.1 Udio hlapljive tvari u uzorku tijekom procesa kompostiranja



Slika 3.4.2 Udio ugljika u uzorku tijekom procesa kompostiranja

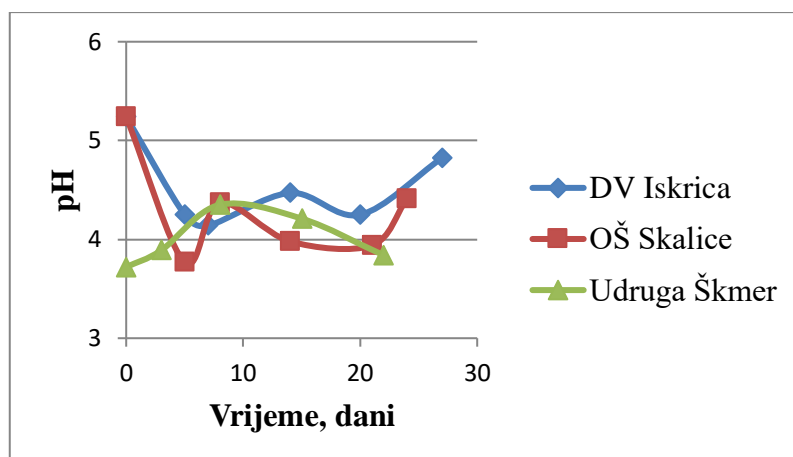
Na slikama 3.4.1 i 3.4.2 vidljiv je trend pada udjela hlapljive tvari i udjela ugljika tijekom procesa kompostiranja kod Udruge Škmer i DV Iskrice, dok kod OŠ Skalice vrijednosti udjela hlapljive tvari osciliraju u rasponu od 91% do 94%, a vrijednosti udjela ugljika od 51% do 52,5%. Dobiveni rezultati su u skladu s literaturnim podacima ^[25].

3.5 Analiza pH vrijednosti i električne provodnosti tijekom procesa kompostiranja

Rezultati određivanja pH vrijednosti i električne provodnosti su prikazani u tablici 3.5, a grafički na slikama 3.5.1 i 3.5.2.

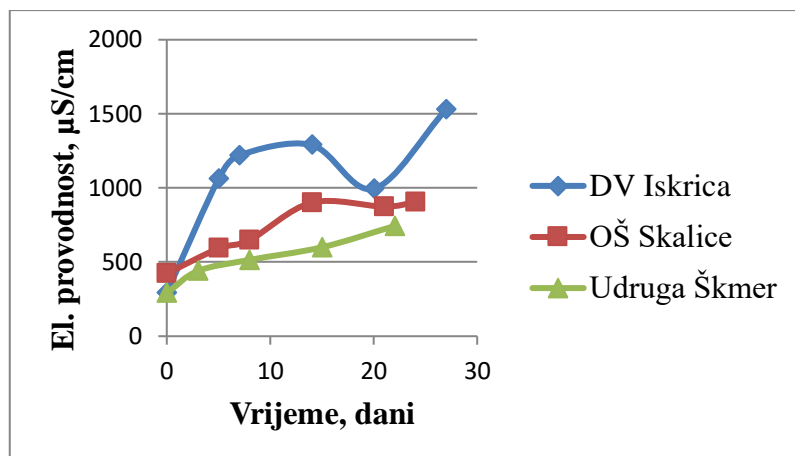
Tablica 3.5 Prikaz određivanja pH vrijednosti i električne provodnosti

Uzorak	DV Iskrica		OŠ Skalice		Udruga Škmer	
	pH	G/ $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	G/ $\mu\text{S cm}^{-1}$	pH	G/ $\mu\text{S cm}^{-1}$
Početni uzorak	5,24	294	5,24	423	3,72	291
Uzorak 1	4,24	1060	3,77	592	3,89	440
Uzorak 2	4,14	1219	4,37	648	4,35	515
Uzorak 3	4,47	1290	3,98	901	4,21	600
Uzorak 4	4,25	995	3,94	874	3,84	743
Uzorak 5	4,825	1530	4,41	902,5		



Slika 3.5.1 pH vrijednost tijekom procesa kompostiranja

Početni pH kod Udruge Škmer iznosi 3,7, nakon čega pH blago raste, a kod DV Iskrica i OŠ Skalice iznosi 5,24, nakon čega pH vrijednost lagano pada. Konačne vrijednosti pH osciliraju u rasponu od 3,9 do 4,9, što je bilo i očekivano, zbog anaerobnih uvjeta ^[26].



Slika 3.5.2 Električna provodnost tijekom procesa kompostiranja

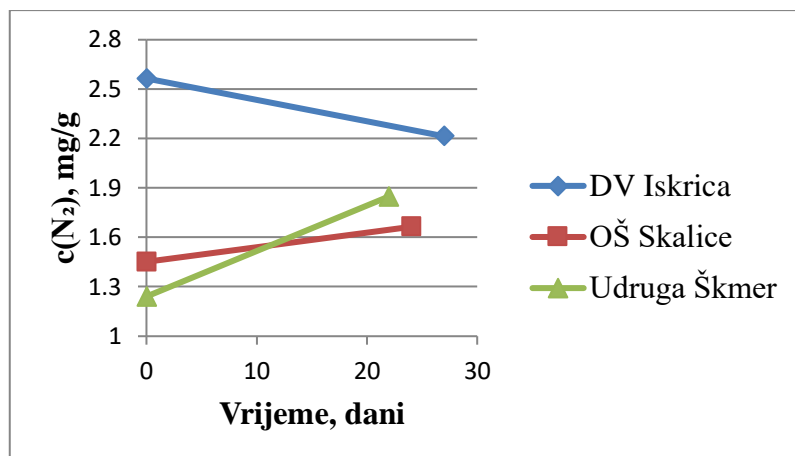
Električna provodnost pokazuje sadržaj topljivosti soli u kompostu, a mijenja se u ovisnosti o količini i vrsti iona prisutnih u otopini. Kao gornja granica se uzima $3500 \mu\text{S cm}^{-1}$, jer velike koncentracije mogu uzrokovati fitotoksičnost (zaustavljanje klijanja) ^[25]. Rezultati ne prelaze tu granicu, najveća vrijednost izmjerene električna provodnosti je bila za kompostnu hrpu DV Iskrice.

3.6 Analiza dušika po Kjeldahlu tijekom procesa kompostiranja

Rezultati određivanja dušika po Kjeldahlu su prikazani u tablici 3.6, a grafički na slici 3.6.1.

Tablica 3.6 Prikaz određivanja dušika po Kjeldahlu

Uzorak	DV Iskrice	OŠ Skalice	Udruga Škmer
	c(N ₂), mg/g	c(N ₂), mg/g	c(N ₂), mg/g
Početni uzorak	2,5648	1,4518	1,2410
Konačni uzorak	2,2138	1,6642	1,8484



Slika 3.6.1 Prikaz koncentracije dušika u početnom i konačnom uzorku tijekom procesa kompostiranja

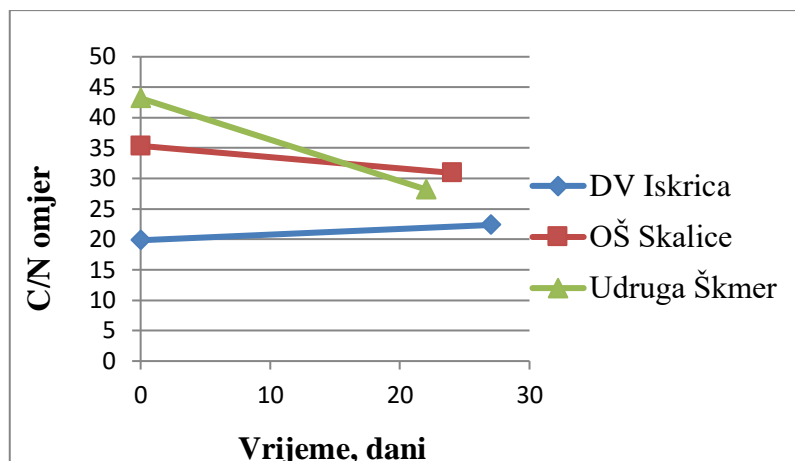
Kod DV Iskrica vidljiv je blagi pad sadržaja dušika u početnom uzorku u odnosu na konačni, a kod OŠ Skalice i Udruge Škmer blagi porast. Konačna vrijednosti sadržaja za DV Iskrica iznosi 2,21, to pogoduje očuvanju hranjivih tvari te je dobiveno gnojivo visoke vrijednosti, a za OŠ Skalice i DV Iskrica iznosi oko 1,7 te je dobiveno gnojivo niže vrijednosti. Vrijednosti su u skladu s literaturnim podacima [27].

3.7 Analiza C/N omjera

Temeljem podataka sadržaja ugljika (tablica 3.4) i sadržaja dušika (tablica 3.6.), izračunati su C/N omjeri kao bitan pokazatelj sastava biootpada. Rezultati C/N omjera su prikazani u tablici 3.7, a grafički na slici 3.7.1.

Tablica 3.7 Rezultati C/N omjera

	DV Iskrica	OŠ Skalice	Udruga Škmer
	C/N omjer	C/N omjer	C/N omjer
Početni uzorak	19,85	35,36	43,18
Konačni uzorak	22,36	30,92	28,21



Slika 3.7.1 Prikaz C/N omjera

Vidljivo je da C/N omjer predkomposta u odnosu na početnu vrijednost biootpada kod DV Iskrice pokazuje blagi porast (s 19,85 na 22,36), a kod OŠ Skalice i Udruge Škmer pad vrijednosti C/N omjera (kod OŠ Skalice s 35,36 na 30,92, a kod Udruge Škmer s 43,18 na 28,2). Konačne vrijednosti C/N omjera su u okviru prihvatljivih vrijednosti za kompost ^[25], a dobiveni predkompost dalje ide na sazrijevanje i razgradnju u tlu.

4. ZAKLJUČAK

Temeljem provedenog istraživanja mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- Tijekom procesa kompostiranja uočen je vrlo blagi porast temperature
- Visina kompostne se smanjuje, zbog razgradnje mikroorganizama.
- Rast udjela suhe tvari i pad udjela vode su izraženiji u početnom periodu kompostiranja, nakon čega vrijednosti blago osciliraju. Konačne vrijednosti za udio vode se kreću od 71% do 78%, a za udio suhe tvari od 23% do 28%.
- Početne vrijednosti sadržaja hlapljive tvari, odnosno ugljika pokazuju trend pada, a konačne vrijednosti se kreću od 86% do 94% za udio hlapljive tvari te za udio ugljika od 48% do 52%.
- Konačna vrijednost pH se kreće u rasponu od 3,9 do 4,9 zbog anaerobnih uvjeta.
- Vrijednost električne provodnosti ne prelazi gornju granicu od 3500 $\mu\text{S cm}^{-1}$, najveća električna provodnost dobivena u uzorku DV Iskrice.
- Konačna vrijednosti koncentracije dušika za DV Iskrice iznosi 2,21 mg/g, a za OŠ Skalice i DV Iskrice iznosi oko 1,7 mg/g.
- C/N omjer (konačne vrijednosti se kreću od 22 do 31).
- Fermentacijom biootpada u komposteru *C-EcoForHome* uspješno se može zbrinuti biootpad u različitim institucijama (DV Iskrice, OŠ Skalice i Udruga Škmer), pri čemu se dobije predkompost prethodno opisanih karakterističnih svojstava koji dalje ide na dozrijevanje i razgradnju u tlu. Bokashi fermentacijom otpada manji su gubici hranjivih tvari, značajno su manje emisije stakleničkih plinova, te zahtijeva manje rada budući da nije potrebno miješanje. Ovaj način kompostiranja može poslužiti za zbrinjavanje biootpada u kućanstvu i time pridonijeti održivom gospodarenju otpadom.

5. LITERATURA:

- [1] Statističko istraživanje o otpadu od hrane u Republici Hrvatskoj, Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja i Ipsos d.o.o, siječanj 2021.
- [2] <https://cistocabl.com/upravljanje-otpadom/vrste-otpada/> (preuzeto 27.08.2022.)
- [3] Izvješće o komunalnom otpadu, Agencija za zaštitu okoliša, veljača 2012.
- [4] <https://www.radio-ilok.hr/1815-mijesani-komunalni-otpad-poceo-se-odvoziti-u-vukovar.html> (preuzeto 25.07.2022.)
- [5] https://www.zgceste.hr/UserDocsImages/katalog_otpada.pdf (preuzeto 25.07.2022.)
- [6] Pravilnik o katalogu otpada, Narodne novine br. 90/15.
- [7] https://twiki.pula.org/pub/MojaPUO/PrimjedbeSUO_Kastijun/Elaborat_MBO_Kastijun.pdf (preuzeto 26.07.2022.)
- [8] I. Mihaljević, *Kompostiranje kao mjera ublažavanja klimatskih promjena*, Fakultet agrobiotehničkih znanosti, Osijek, **2016**.
- [9] A. Šunjić, *Analiza procesa kompostiranja biootpada*, diplomski rad, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, **2020**.
- [10] P. Jukić, *Ko-kompostiranje biootpada i mulja*, završni rad, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb, **2020**.
- [11] <https://www.agroklub.com/eko-proizvodnja/osnove-i-pravila-kompostiranja/24548/> (preuzeto 27.07.2022.)
- [12] S. R. Iyengar, P. P. Bhave, *In-vessel composting of household wastes*, J. Waste Manag. 26, **2006**, 1070-1080
- [13] <https://www.clabel.org/bs/kompost/kompostlamada-karbon-ve-azot-orani/> (preuzeto 26.07.2022.)
- [14] <https://hr.gardenjournal.com/10366163-compost-enhancing-bacteria-information-on-beneficial-bacteria-found-in-garden-compost> (preuzeto 01.08.2022.)

- [15] <https://hr.gardenjournal.com/10366273-what-is-actinomycetes-learn-about-fungus-growing-on-manure-and-compost> (preuzeto 28.07.2022.)
- [16] <https://living.vecernji.hr/zelena-zona/nema-straha-od-zamrzavanja-pripremite-kompostiste-za-zimu-970667> (preuzeto 29.07.2022.)
- [17] H. A. Qdais, M. Al-Widyan, *Evaluating composting and co-composting kinetics of various agro-industrial wastes*, Int J Recycl Org Waste Agricult, **2016**, 5:273-280.
- [18] <https://rcco.hr/gospodarenje-biorazgradivim-otpadom-zelimo-li-proizvoditi-kompost-ili-kompostu-slican-proizvod/> (preuzeto 29.07.2022.)
- [19] V. Manyapu, S. Shukla, S. Kumar, K. Rajendra, *In-vessel composting: A rapid technology for conversion of biowaste into compost*, J. Eng. Sci., **2017**, 9, 2456-3293
- [20] <https://www.bmcroatia.hr/wp-content/uploads/2019/03/milanovic-kompostiranje.pdf> (preuzeto 14.9.2022.)
- [21] <https://livingwiselyguide.com/hr/16977-ferment-your-compost/#zato-bokashi-djeluje> (preuzeto 14.9.2022.)
- [22] <https://www.dom2.hr/vrt-clanci/bokashi-kompostiranje-prirodna-i-korisna-metoda-zbrinjavanja-otpada-iz-kuhinje/> (preuzeto 25.07.2022.)
- [23] D. Krivičić, Biorazgradnja lignoceluloznog otpada procesom kompostiranja, diplomski rad, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, **2017**.
- [24] P. S. Lew, N. N. L. Nik Ibrahim, S. Kamarudin, N. M. Thamrin, M.F. Misnan, *Optimization of Bokashi-Composting Process Using Effective Microorganisms-1 in Smart Composting Bin*, Sensors (Basel), **2021**
- [25] K. M. Sangamithirai, J. Jayapriya, J.Hema, R. Manoj, *Evaluation of in-vessel co-composting of yard waste and development of kinetic models for co-composting*, Int J Recycl Org Waste Agricult, **2015**, 4:157-165
- [26] A. Isibika, B. Vinneras, O. Kibazohi, C. Zurbrügg, C. Lalander, *Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae*, J. Clean Prod. 318, **2021**, 128570

- [27] V. Torrijos, D. C. Dopico, M. Soto, *Integration of food waste composting and vegetable gardens in a university campus*, J. Clean. Prod. 315, **2021**, 128175