

# Kompostiranje na primjeru kompostane u tvrtki Komunalac d.o.o., Koprivnica

---

Posavec, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:379294>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER  
SVEUČILIŠNI CENTAR KOPRIVNICA**



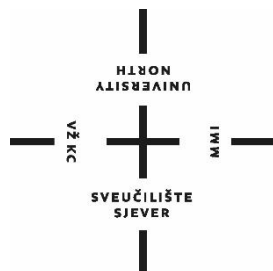
DIPLOMSKI RAD br.

**Kompostiranje na primjeru kompostane u  
tvrtki Komunalac d.o.o., Koprivnica**

Nikola Posavec

Koprivnica, rujan 2024.

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR KOPRIVNICA**  
**Studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša**



DIPLOMSKI RAD br.

**Kompostiranje na primjeru kompostane u  
tvrtki Komunalac d.o.o., Koprivnica**

Student:  
Nikola Posavec, mat.br.

Mentor:  
doc. dr. sc. Božo Smoljan

Koprivnica, rujan 2024.

# Prijava

Sveučilište Sjever  
Sveučilišni centar Koprivnica  
Trg dr. Žarka Dolinara 1, HR-48000 Koprivnica



## Prijava diplomskog rada

### Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za ambalažu, recikliranje i zaštitu okoliša		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Ambalaža, recikliranje i zaštita okoliša		
PRISTUPNIK	Nikola Posavec	MATIČNI BROJ	0160139687
DATUM	01.06.2024.	KOLEGIJ	Ambalaža i tehnologija pakiranja
NASLOV RADA	Kompostiranje na primjeru kompostane u tvrtki Komunalac d.o.o., Koprivnica		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Composting on the example of the composting plant in Komunalac d.o.o., Koprivnica		

MENTOR	dr.sc. Božo Smoljan	ZVANJE	redoviti profesor u tr. zv.
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Izv. prof. dr. sc. Dean Valdec - predsjednik		
	2. Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Hajdek - član		
	3. Prof. dr. sc. Božo Smoljan - mentor		
	4. Izv. prof. dr. sc. Bojan Šarkanj - zamjenski član		
	5. _____		

### Zadatak diplomskog rada

BROJ: 69/ARZO/2024

OPIS

Kompostiranje predstavlja važnu kariku u zbrinjavanju biootpada. Kompostiranjem smanjujemo količinu otpada za odlaganje, a ujedno se kompostom vraćaju hranjive tvari tlu. Kompost se vraćanjem u tlo pretvara u humus, odnosno, plodno tlo. Današnja nastojanja modernog društva teže što većem kompostiranju biootpada, a poseban značaj se pridaje kućnom biootpadu.

U radu je potrebno opisati i definirati biomasu i biootpad pogodan za kompostiranje. Nadalje, potrebno je proanalizirati nedostatke klasičnog zbrinjavanja biootpada i navesti sve prednosti i poteškoće postupka kompostiranja. Potrebno je definirati sirovinu za kompostiranje te posebnu pozornost posvetiti na rizike kompostiranja kućnog biootpada. Na primjeru kompostane u Herešinu, Komunalac d.o.o. Koprivnica treba detaljno opisati i proanalizirati moderan tehnološki proces kompostiranja, od analize opreme do opisa i kvantificiranja samog procesa kompostiranja biootpada.

ZADATAK URUČEN	02.09.2024.	POTPIS MENTORA	
----------------	-------------	----------------	--

SVEUČILIŠTE  
SIEVER



## **Zahvala**

Želim se zahvaliti cijeloj mojoj obitelji koji su me tijekom mog studiranja bodrili i gurali prema naprijed. Bez njih ova diploma ne bi bila ostvarena. Također želim se zahvaliti svim profesorima i osoblju Sveučilišta Sjever Koprivnica koji su mi na bilo koji način pomogli. Najveća zahvala ide mom mentoru doc. dr. sc. Boži Smoljanu koji je u meni vidio potencijal za pisanje ovog rada i koji mi je jako puno pomogao u pisanju rada ali i u studiranju.

Velika zahvala ide i Komunalac d.o.o Koprivnica i gospodinu Stjepanu Vargoviću koji su mi dopustili da posjetim kompostanu Herešin i vidim iz prve ruke proces kompostiranja te da ga opišem u radu

## **Sažetak**

U današnjem užurbanom načinu života otpad se sve više stvara i gomila. Problem je u svijesti ljudi koji ne znaju i ne žele razvrstati i reciklirati otpad. Također veliki udio otpada se odnosi na biootpad i biomasu. Biootpad se također može reciklirati i ponovno upotrijebiti ali na drugačiji način. Za to imamo kompostiranje koji je proces biološke razgradnje organskog materijala i jedan je od najstarijih načina kompostiranja. Kompost može biti vrlo važan u prirodi. On je prirodno organsko gnojivo koje poboljšava plodnost, strukturu tla, aktivnost tla i pomaže u zadržavanju vlage. Važno za tlo je da sadržava različite mikroorganizme koji pomažu u održavanju mikroorganizma u tlu, mikroorganizmi razgrađuju organski materijal i pretvaraju ga u hranjive tvari koje biljke mogu koristiti. U biti kompostiranje je vrlo jednostavno na oko, te si svako može napraviti mali komposter kod kuće i kompostirati. U ovom radu biti će opisan proces kompostiranja ali na primjeru jedne velike kompostane kao što ima gradsko društvo Komunalac u Herešinu. Također spomenuti će se s a kojima se problemima možemo susreti u kompostiranju, te koji se procesi u kompostiranju događaju. Vrlo važno za napomenuti je da osim pozitivnog učinka na tlo i biljke, kompostiranje je vrlo važno i za zaštitu okoliša. Na taj način organski se otpad pretvara u vrijedan kompost koji se vraća u prirodu, umjesto da završi na odlagalištima. Rezultat kompostiranja su zdrave i otporne biljke te plodno tlo.

***Ključne riječi: kompostiranje, biootpad, biomasa, kompostana***

## Summary

In today's busy lifestyle, waste is more and more things and piles. The problem is in the minds of people who do not know and do not want to sort and recycle waste. Also, a large proportion of waste refers to biowaste and biomass. Bio-waste can also be recycled and reused or in a different way. For that we have composting, which is the process of biological decomposition of organic material and is one of the oldest methods of composting. Compost can be very important in nature. It is a natural organic fertilizer that improves fertility, soil structure, soil activity and helps retain moisture. It is important because it contains various microorganisms that help maintain the microorganisms in the soil, the microorganisms break down the organic material and turn it into nutrients that plants can use. In essence, composting is very simple to the eye, and if anyone can make a small composter at home and compost. In this paper, the process of composting will be described, but on the example of a large composting plant, such as the municipal association Komunalac in Herešin. It will also be mentioned which problems can be encountered in composting, and which processes occur in composting. It is very important to note that in addition to the positive effect on the soil and plants, composting is also very important for environmental protection. In this way, organic waste is turned into valuable compost that is returned to nature, instead of ending up in landfills. The result of composting is healthy and resistant plants and fertile soil.

***Key words: composting, biowaste, biomass, compost plant***

## **Popis korištenih kratica**

**C**            **Ugljik**

**N**            **Dušik**

**EU**           **Europska unija**

**EZ**           **Uredba vijeća**

**°C**           **Celzijus**

**NN**           **Narodne novine**

**SAD**           **Sjedinjene Američke Države**



# Sadržaj

1. Uvod	1
2. Biootpad i biomasa	2
3. Vrste biootpada	3
2) Proizvodnju energije iz OIE – postrojenja:	4
3) Materijali koje treba izbjegavati u kompostu	5
4) Zbrinjavanje	6
4. Problemi s klasičnim načinom zbrinjavanja	8
5. Prednosti kompostiranja	9
6. Uloga komposta u tlu	10
7. Sirovina za kompostiranje	12
8. Vrste kompostiranja	13
8.1. Kućno kompostiranje	13
8.1.1. Rizici kućnog kompostiranja	16
8.2. Industrijsko kompostiranje	17
8.2.1. Rizici industrijskog kompostiranja	19
8.3. Bokashi kompostiranje	20
8.3.1. Rizici Bokashi kompostiranja	22
9. Teorijska podloga postupka kompostiranja	22
9.1. Mikrobiologija kompostiranja	22
9.1.1. Bakterije	23
9.1.2. Arhebakterije	23
9.1.3. Fungi	23
9.2. Procesni parametri i kontrola kvalitete	23
9.2.1. Usitnjavanje materijala	24
9.2.2. Vlažnost materijala	25
9.2.3. Protok zraka	25
9.2.5. Vrijednost pH	26
9.2.6. Omjer C:N	26
9.2.7. Miješanje supstrata	27
9.3. Faze u procesu kompostiranja	27
9.4. Sustavi za kompostiranje	28
9.4.1. Nereaktorski sustavi	29
9.4.2. Reaktorski sustavi	30
10. Primjena komposta u ekološkoj poljoprivredi	30
11. Zrelost primjena i prednosti komposta	31
12. Opis procesa kompostiranja u tvrtki Komunalac d.o.o.	34
13. Zaključak	42
Literatura	43



# 1. Uvod

Gomilanje i nerazvrstavanje otpada jedan je od najvećih problema, kako u svijetu tako i kod nas. Razvojem industrije i promjenom načina života, dogodila su se strašne promjene u okolišu. Iako u današnje vrijeme sve veći fokus je na plastičnoj, metalnoj i papirnatj ambalaži, biootpad također ima veliki utjecaj na zagađenje. Ono zašto je biootpad u većoj prednosti jest to što se on može preraditi i ponovno koristiti, s time da će imati i pozitivan utjecaj na tlo. Kod onečišćenja, najveći problem je biološka frakcija iz miješanog komunalnog otpada jer njezina razgradnja predstavlja opasnost za podzemne vode na odlagalištima. Da ne bi došlo do tog problema, koristimo se procesom kompostiranja. „Proces kompostiranja poznat je kao dio integralnog i održivog sustava gospodarenja otpadom. Njegova primjena je način stabilizacije organskog otpada. Proces se odvija na više načina te kroz niz sustava, a zbog velike količine biomase koji se može jednokratno obraditi te manjih investicijskih troškova, proces se najčešće provodi u nereaktorskim sustavima.“. Glavna odlika kompostiranja jest smanjenje količine biootpada te stvaranje i proizvodnja kvalitetnog komposta. Vrlo zanimljiva činjenica je da nema previše kompostana u Hrvatskoj. Najviše ih ima u kontinentalnoj Hrvatskoj i to na sjeveru zemlje. Također jedno od najkvalitetnijih kompostana nalazi se nadomak Koprivnice u malenom prigradskom naselju Herešin, koji proizvodi jedan od najkvalitetnijih komposta. Najpozitivnija stvar što se tiče kompostiranja, jest ta da sami doma možemo napraviti komposter i kompostirati, i taj kompost natrag koristiti u svojem vrtu. Kompostiranje na veliko je proces koji se vrši postupno u kontroliranim uvjetima. Važno za napomenuti je da zreli kompost sadrži 70 do 80 % organskih tvari, fosfor, kalij, dušik i kalcij. Znači kompostiranje je zatvoreni krug koji spaja suradnju okoliša i čovjeka u kojem je čisti okoliš najveći profit [1]

## 2. Biootpad i biomasa

Biorazgradivi otpad vrsta je biljnog ili životinjskog podrijetla. Ono što biorazgradivi otpad krasi jest što je razgradiv od mikroorganizama. U današnje vrijeme kod biorazgradivog otpada, fokusira se na iskorištenje otpada kao izvora energije ili sekundarne sirovine. Ali njegova definicija glasi da se razgrađuje kroz duži vremenski period pomoću aerobnih i anaerobnih mikroorganizama stvarajući deponijske plinove i procjedne vode. U kontroliranim uvjetima biootpad se može biološki ili termički obraditi i tako produžiti životni vijek odlagališta te time smanjiti emisiju štetnih tvari u okoliš.

„Biootpad se definira kao biološko razgradiv otpad iz parkova i vrtova, te kuhinjski otpad, hrane, i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. Podrijetlom može biti proizvodni ili komunalni. U njega ne ulazi ostaci iz poljoprivrede i šumarstva, uključujući mulj iz pročišćivača za otpadne vode i gn.“

Biootpad je u zakonu o održivom gospodarenju otpada proglašen kao posebna kategorija otpada. Na slici broj 1 nalazi se primjer biootpada koji se može iskoristiti za kompostiranje. [2]

Prema Katalogu otpada komunalni biootpad se klasificirati pomoću četiri ključna broja:

- Otpad iz kantina i kuhinja a koji je razgradiv pod brojem 20 01 08
- Masti i jestiva ulja pod brojem 20 01 25
- Biorazgradivi otpad pod brojem 20 02 01
- Otpad s tržnica pod brojem 20 03 02



Slika.1 Biootpad

### 3. Vrste biootpada

Biootpad može nastati iz različitih vrsta proizvodnje i kućanstva. U biootpad spadaju kuhinjski ostaci, vrtni ili zeleni otpad, male količine ostalog biootpada. Prema Zakonu o gospodarenju otpadom (NN 84/21), članku 4., točki 3., biootpadom smatraju se samo one vrste otpada koje su navedene u katalogu otpada, a koje su prihvatljive za korištenje u postrojenjima za recikliranje i/ili postrojenjima za proizvodnju obnovljivih izvora energije što je navedeno u nastavku. U katalogu imamo i podjelu na postrojenja za recikliranje (postrojenje pod A u poglavlju 1.5. UzP) - tehnološki proces kompostiranja.[1]

#### 1) Postrojenja za recikliranje - tehnološki proces kompostiranja

<b>Katalog- Vrsta otpada</b>	<b>Katalog otpada- naziv</b>
02 03	Otpad od pripremanja i prerade povrća i voća, žitarica, kaka, čaja, jestivih ulja, duhana, konzerviranja; proizvodnje kvasca i ekstrakata kvasca, priprema i fermentacija melase
02 03 01	Muljevi od čišćenja, pranja i guljenja, centrifugiranja
02 03 04	Materijali neprikladni za preradu i potrošnju
02 04	Otpad od proizvodnje šećera
02 04 01	Otpad od pranja i čišćenja šećerne repe
02 06	Otpad od pekarske i slastičarske industrije
02 06 01	materijali neprikladni za potrošnju i preradu
02 07	Otpad iz proizvodnje alkoholnih i bezalkoholnih pića (uključujući kavu, čaj i kakao)
02 07 01	Otpad od čišćenja, pranja, i usitnjavanja mehaničkog
02 07 02	Otpad od destilacije alkohola
02 07 04	Materijali neprikladni za potrošnju i preradu
20 01	Odvojeno sakupljeni sastojci komunalnog otpada
20 01 08	Biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina
20 02	Otpad iz vrtova i parkova (uključujući otpad s groblja)
20 02 01	Biorazgradivi otpad
20 03	Ostali komunalni otpad
20 03 02	Otpad s tržnica

\* **Pravilnik o katalogu otpada (Narodne novine, broj 90/15)**

U postrojenjima za recikliranje, rezultati komposta moraju zadovoljavati zahtjeve za gnojidbene materijale donesene uredom EU 2019/1009, uvjetima iz Dodataka V. dijela 1. Pravilnika o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (Narodne novine, br. 117/14) i odgovarajućim nacionalnim pravilima o gnojivim/poboljšivačima tla za poljoprivrednu uporabu.

## 2) **Proizvodnju energije iz OIE – postrojenja:**

<b>Katalog - Vrsta otpada</b>	<b>Kataloga otpada-naziv</b>
02 03	Otpad od pripremanja i prerade žitarica, čaja, kave, žitarica, jestivih ulja, voća, povrća, kakaa, duhana, konzerviranja; proizvodnje kvasca i ekstrakata kvasca, pripremanja i fermentacije melase
02 03 01	Muljevi od pranja, čišćenja i guljenja, centrifugiranja
02 03 04	Materijali neprikladni za potrošnju i preradu
02 04	Otpad od proizvodnje šećera
02 04 01	Otpad od pranja i čišćenja šećerne repe
02 06	Otpad od pekarske i slastičarske industrije
02 06 01	Materijali neprikladni za potrošnju i preradu
02 07	Otpad iz proizvodnje bezalkoholnih i alkoholnih pića (uključujući kakao, kavu i čaj)
02 07 01	Otpad od pranja, čišćenja i mehaničkog usitnjavanja
02 07 02	Otpad od destilacije alkohola
02 07 04	Materijali neprikladni za potrošnju i preradu
20 01	Odvojeno sakupljeni sastojci komunalnog otpada
20 01 08	Biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina
20 01 25	Jestiva ulja i masti
20 02	Otpad iz vrtova i parkova (uključujući otpad s groblja)
20 02 01	Biorazgradivi otpad
20 03	Ostali komunalni otpad

\* **Pravilnik o katalogu otpada (Narodne novine, broj 90/15)**

Sukladno uvjetima poziva, u slučaju **postrojenja za anaerobnu digestiju** nastali digestat mora ispunjavati zahtjeve za gnojidbene materijale u Uredbi EU 2019/1009, uvjete iz Dodataka V. dijela 2. Pravilnika o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (Narodne novine, br. 117/14) i odgovarajuća nacionalna pravila o gnojivima/poboljšivačima tla za poljoprivrednu uporabu.[3]

### 3) Materijali koje treba izbjegavati u kompostu

#### 1. Mesni i mliječni proizvodi:

- **Meso, riba, i kosti:** Ti proizvodi lakše privlače štetočine poput štakora, lisica i drugih životinja koje traže hranu. Također, razgrađuju se sporije i mogu proizvesti neugodne mirise tijekom razgradnje zbog anaerobne obrade.
- **Mliječni proizvodi (mlijeko, sir, jogurt):** Iz istih razloga kao i meso, mliječni proizvodi mogu uzrokovati neugodne mirise i privući štetočine. Osim toga, njihova masnoća može usporiti proces kompostiranja.

#### 2. Masnoće i ulja:

- **Kuhana ulja i masni ostaci:** Masnoće i ulja teško se razgrađuju i mogu prevući materijale u kompostnoj hrpi, sprečavajući pristup zraka i uzrokujući anaerobne uvjete koji proizvode neugodan miris.

#### 3. Ljudski i izmet kućnih ljubimaca:

- **Izmet kućnih ljubimaca (mačke i psi):** Može sadržavati parazite i patogene bakterije koji predstavljaju zdravstveni rizik. Ukoliko se ne postigne dovoljno visoka temperatura unutar kompostne hrpe, ti patogeni neće biti uništeni.
- **Ljudski izmet:** Iz istih razloga kao i izmet kućnih ljubimaca, predstavlja značajan zdravstveni rizik te se ne preporučuje u redovnom kućnom kompostiranju.

#### 4. Bolestan ili zaražen biljni materijal:

- **Biljke s bolestima:** Mogu prenijeti biljne bolesti ako temperatura komposta nije dovoljno visoka za sterilizaciju.
- **Zaražene stabljike i lišće:** Konzerviranje patogena koji se mogu širiti na druge dijelove vrta ili koristiti na mjestima gdje može prouzročiti problem.

## 5. Korov u sjemenu ili trajnice:

- **Korov u sjemenu:** Ako kompostna hrpa ne dostigne dovoljno visoku temperaturu sterilizacije
- **Invazivne vrste:** Kao što su neki korovi ili biljke koje se teško kontroliraju i mogu se umnožiti ako nisu u potpunosti uništene.

## 6. Drugi materijali koji nisu organski:

- **Plastika, metali i staklo:** Ovi materijali se ne razgrađuju i mogu onečistiti tlo.
- **Tretirani drveni materijali:** Kemikalije koje se koriste u tretiranju mogu biti toksične i unijeti neželjene elemente u kompost.
- **Papir s kemikalijama i bojama:** Boje i kemikalije na papirima, poput onih na sjajnim ili obojenim kartonima, mogu sadržavati toksine koji ne bi trebali biti u kompostu.

Izbjegavanje ovih materijala osigurava da kompost ostane zdrava i sigurna hrana za tlo, promičući rast biljaka bez rizika od širenja bolesti ili zagađivanja okoliša.[5]

## 4) Zbrinjavanje

Otpad kao otpad i njegovo zbrinjavanje jedan je od najvećih svjetskih problema. Nagomilavanje otpada stvara strašnu prijetnju kvaliteti okoliša, veliki je problem u regionalnim i lokalnim zajednicama i utječe na zdravlje ljudi. Održivo gospodarenje otpadom usmjeren je na sakupljanje, smanjenje, kompostiranje i uporabu, zbrinjavanje i recikliranje, te načina promjene i postupanja s otpadom koji je održiv. Biorazgradivi otpad na odlagalištima diljem svijeta stvara veliki problem za okoliš, jer generira nastajanje stakleničkog plina- metana. Sama politika gospodarenja otpada je regulirana Direktivama(Direktive 97/C76/01, 74/442/EEC, 1999/31/EZ, 2008/98/EZ) kroz nekoliko zakonodavnih okvira. Direktive govore da sa svakom vrstom otpada se mora postupati tako da nije rizičan za tlo, vodu, floru, faunu, zrak bez stvaranja smrada i buke tj. bez utjecaja na okoliš u smislu promjene krajolika. Vrlo je važno da se otpad zbrinjava na pravilan način kako bi se mogao maksimalno iskoristiti. U biorazgradivi otpad ide otpad iz kantina i kuhinja, ali važno je da u biorazgradivi otpad nije dopušteno odlaganje mesa, ribe, kosti, kože, mliječne proizvode, ulja i masti.

U današnje vrijeme nije uopće teško razvrstavati i odvajati otpad jer su nam sve kante na raspolaganju. Biootpad možemo zbrinuti na više načina. Jedan od načina da je smeđi kontejner smješten uz stambenu zgradu te je dostupan svim stanovnicima te stambene



zgrade. Nakon što je pun ili već po dogovoru, sakupljač ili komunalno društvo dolazi po njega i vozi ga u najbližu kompostanu na zbrinjavanje. Na slici 2 nalazi se primjer smeđeg kontejnera koji se obično nalazi kod stambenih zgrada.



Slika.2 Kontejner za biootpad

Drugi način odlaganja biootpada jesu male kante za odlaganje biootpada. One se obično koriste po selima i kućama, gdje svaka kuća dobije svoju kantu te onda po rasporedu ih sakupljač pokupi i vozi na kompostiranje, ili ako slučajno kućanstvo ima vlastitu malu kompostanu gdje može taj otpad odložiti. Na slici 3 se nalazi kanta za biootpad koje su podijeljene po kućanstvima.



Slika.3 Kanta za biootpad

Većina gradova također i organizira nekoliko puta godišnje odvoz takvog otpada. Obično to bude namijenjeno za božićna drvca, jesensko lišće, proljetna ili zimska rezidba voćaka. I zadnji način na koji se možete riješiti biootpada jest da sami odvedete u najbližu kompostanu. Neke kompostane za takve primjere i nagrađuju stanovnike tako da imaju

pravo na određenu količinu komposta koji mogu preuzeti ili ga mogu dobiti po povlaštenoj cijeni. Na slici 4 nalazi se primjer kompostnih hrpa u kompostani.

Ono najbitnije u zbrinjavanju i odlaganju otpada jest to da se postižu sljedeći ciljevi:

- Proizvodnja komposta za zelene površine,
- Smanjene emisije stakleničkih plinova,
- Zaštita okoliša,
- Razvijaju se zdrave ekološke navike,
- Smanjenje količine otpada na odlagalištima.[4]



Slika 4. Kompostne hrpe

#### **4. Problemi s klasičnim načinom zbrinjavanja**

Klasično zbrinjavanje otpada, koje najčešće podrazumijeva njegovo sakupljanje, transport do odlagališta te konačno odlaganje, suočeno je s kompleksnim izazovima koji se očituju na ekološkoj, ekonomskoj i društvenoj razini. Kako svijet postaje sve urbaniziraniji i potrošnja kontinuirano raste, opterećenje postojećih sustava zbrinjavanja otpada postaje neodrživo, zahtijevajući hitne mjere i promjene pristupa u ovim postupcima.

S ekološkog stajališta, odlaganje otpada na deponijima uzrokuje značajne probleme. Organska tvar u otpadu podliježe anaerobnoj razgradnji, pri čemu se proizvodi metan, staklenički plin koji ima daleko jači učinak na globalno zagrijavanje od ugljičnog dioksida. Ova emisija doprinosi klimatskim promjenama i naglašava potrebu za smanjenjem emisija iz deponija.

Nadalje, odlagališta su često izvori onečišćenja podzemnih voda, kad toksini i kemikalije iz otpada, poput teških metala i kemijskih spojeva, počinju prodirati u tlo i podzemne akvifere. To može uzrokovati dugotrajne posljedice na zdravlje lokalnih ekosustava i ljudskih zajednica, kontaminirajući izvore pitke vode. S ekonomskog aspekta,

visoki troškovi osnivanja, održavanja i upravljanja odlagalištima otpada predstavljaju značajno financijsko opterećenje za lokalne zajednice i vlade. To često rezultira povećanjem lokalnih poreza ili smanjenjem izdvajanja za druge javne potrebe, poput obrazovanja i zdravstva. Klasično zbrinjavanje otpada, koje se usmjerava samo na odlaganje, često ne priznaje vrijednost potencijalnih resursa poput recikliranih materijala i energenata. Time se propuštaju ekonomske prilike koje bi se mogle ostvariti kroz razvoj tržišta reciklaže i transformaciju otpada u obnovljive izvore energije.[11]

Društvene implikacije klasičnog odlaganja otpada povezane su s kvalitetom života stanovnika u blizini odlagališta. Prisustvo deponija često vodi do smanjenja vrijednosti okolnih nekretnina te diže zdravstvene rizike zbog mogućih isparavanja štetnih tvari i mirisa. Zajednice u blizini često se suočavaju s društvenom stigmatizacijom zbog blizine odlagalištu, što može dodatno utjecati na društvenu koheziju i gospodarski razvoj tih područja. Rješavanje problema vezanih uz klasično zbrinjavanje otpada zahtijeva sveobuhvatniji pristup upravljanju otpadom.

Ključne strategije uključuju povećanje kapaciteta za reciklažu, promicanje kompostiranja, uvođenje naprednih tehnologija za pretvaranje otpada u energiju, i poticanje ponovne uporabe resursa. Informiranje i edukacija stanovništva o potrebama i benefitima smanjenja otpada na izvoru također su kritični elementi. Inovativni pristupi, poput kružne ekonomije, gdje se otpad tretira kao resurs umjesto problema, postaju esencijalni za održivi razvoj zajednica. Integracija učinkovitih zakonskih regulativa, razvoj moderne infrastrukture i promicanje međunarodne suradnje u oblasti upravljanja otpadom mogu značajno doprinijeti stvaranju čisteg i zdravijeg okoliša u budućnosti. Takve promjene mogu osigurati bolje ekonomske, ekološke i društvene uvjete za generacije koje dolaze.[6]

## **5. Prednosti kompostiranja**

Kompostiranjem pomažemo zemlji ali i sami sebi. Produkt kompostiranja, kompost, zemlji daje hranjive tvari koje su neophodne za razvoj i rast biljaka. Ono što je velika prednost komposta jest da je on prirodan i on u potpunosti može zamijeniti umjetna gnojiva koja su na kraju krajeva štetna za tlo. Brojni autori navode da kompost kao organsko gnojivo ima bitnu ulogu u popravljajući strukturu tla, odnos zraka i vode u tlu te toplinskih svojstava tla. Korištenjem komposta u zemlji značajno se povećava pH vrijednost tla, isto kao i koncentracija pristupačnog fosfora, izmjenjivo vezanog kisika, dušika, magnezija i kalcija. Vrlo bitna stvar kod komposta je ta da se hranjive tvari iz komposta oslobađaju veoma sporo

tako da je mala mogućnost prekomjerne koncentracije pojedinih hranjivih tvari, odnosno manja je mogućnost nastanka nutritivnog stresa jer za prelazak u mineralni oblik iz organskog, nužna je prisutnost mikroorganizama kako bi se proveo proces mineralizacije. Na slici 5 nalazi se ilustracija iskoristivosti zelenog otpada.



Slika 5. Prednosti kompostiranja

Kompostiranjem se ističe biološka raznolikost tla. Ono počinje od mikroorganizama, pa preko mikrofauune dolazi do mezofauune koji utječu na dreniranost, aeriranost te se hrani organskom tvari. Samim procesom kompostiranja smanjujemo količinu biootpada. Također kompost može vezati na sebe teške metale te na taj način smanjuje njihovu prisutnost. [7]

## 6. Uloga komposta u tlu

Kompost je neprocjenjiv resurs u očuvanju zdravlja tla, nudeći esencijalne prednosti za poljoprivredne, hortikulture i ekološke sustave. Njegova uporaba postaje ključna u kontekstu održivog upravljanja tlom, pomažući u poboljšanju strukture tla, povećanju plodnosti i jačanju biološke aktivnosti tla. Jedna od temeljnih uloga komposta je poboljšanje strukture tla. Kompost dodaje organsku tvar koja pospješuje formiranje agregata, što čini tlo rahlijim i prozračnijim.

U glinenim tlima, kompost pomaže smanjiti zbijenost, poboljšavajući drenažu i smanjujući rizik od zadržavanja vode. U pjeskovitim tlima, kompost povećava sposobnost tla da zadržava vodu, a istovremeno poboljšava pristup hranjivim tvarima, što je ključno za održavanje biljaka tijekom sušnih razdoblja. Plodnost tla dodatno se unapređuje zahvaljujući bogatstvu hranjivih tvari u kompostu. Kompost sadrži ključne makroelemente

poput dušika, fosfora i kalija, koji su vitalni. Biološka aktivnost tla dobiva veliki poticaj dodavanjem komposta. On djeluje kao izvor hrane za širok spektar mikroorganizama, uključujući bakterije, gljivice i nematode, koji igraju ključnu ulogu u ciklusu hranjivih tvari. Ovi mikroorganizmi pomažu razraditi organsku tvar, čime se oslobađaju hranjive tvari i poboljšava struktura tla. Također, povećana biološka aktivnost tla stvara zdravi sustav koji može bolje opstati i obnoviti se nakon stresnih događaja kao što su suša ili bolesti. Osim što smanjuje rizik od erozije tla, kompost djeluje kao zaštitni sloj koji pomaže zadržavanju tla i smanjuje ispiranje važnih hranjivih tvari u podzemne vode. Organski slojevi komposta također filtriraju onečišćivače, smanjujući njihov utjecaj na površinske i podzemne vode, čime doprinose očuvanju kvalitete vode. Klimatski, kompostiranje smanjuje emisije stakleničkih plinova smanjujući potrebu za fosilnim gorivima prilikom proizvodnje sintetičkih gnojiva. Djeluje i kao skladište ugljika kroz procese sekvenciranja, gdje se ugljik izolira u organskoj tvari tla, doprinosi smanjenju ukupnog sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi i ublažava učinke globalnih klimatskih promjena. [8]

Ekonomске prednosti kompostiranja također su značajne. Lokalne zajednice mogu iskoristiti kompost za smanjenje troškova povezanih s odvozom otpada, istovremeno stvarajući mogućnosti za lokalnu proizvodnju i distribuciju. Kompost može smanjiti troškove za poljoprivrednike kroz smanjenje potrebe za kupnjom komercijalnih gnojiva i poboljšavanje prinosa kroz zdravije tlo. Sve u svemu, kompost predstavlja ključni alat za postizanje održivosti u upravljanju tлом, klimom i resursima. Njegova upotreba doprinosi očuvanju biološke raznolikosti, poboljšanju kvalitete tla i vode, te smanjenju ekološkog otiska ljudskih aktivnosti. Kako se svjetske zajednice suočavaju s izazovima održivog razvitka, kompostiranje se nameće kao učinkovita i nužna praksa za očuvanje okoliša i promicanje ekološke ravnoteže. Na slici 6 nalazi se primjer zemlje bez komposta i sa kompostom. [9]



Slika 6. Upotreba komposta

## 7. Sirovina za kompostiranje

U procesu kompostiranja mogu se koristiti različiti materijali, a s obzirom da se događa proces humifikacije, materijale možemo podijeliti na 3 skupine:

- U prvu skupinu svrstavamo tvari koje potiču raspadanje, a to su fekalije, vapno, mineralna gnojiva i ekstremno domaćih životinja.
- Druga skupina su tvari čija je sposobnost sorpcije hranjiva i vode, a to su mulj, pepeo i zemlja.
- U zadnju skupinu svrstavamo tvari koje su teško raspadljive kao što su dlake, kosti, perje, rožnate tvari i slično.

Pored ove klasifikacije materijala, postoji još jedna klasifikacija koja se većinom upotrebljava za komercijalnu proizvodnju komposta te sadrži 4 skupine:

1. Piljevina, korovi, slama, gnojiva, širokolisno lišće, sjeckano drvo, borove iglice, otkosi trave, treset, tlo, kukuruzni oklasci.
2. Industrijski otpadci – otpad iz prehrambene industrije, mulj otpadnih voda, krvno brašno, voćni trop, gradsko smeće i ljuske graha. Kod gradskog mulju vrlo je važno da se izbjegava pojedinačno i osobno sakupljanje, zbog velike mogućnosti da u njemu sadrži patogene organizme.
3. Materijali koji povećavaju biljno-hranidbenu vrijednost komposta - praškasto stijenje, koštano brašno, pepeo od drva i organska gnojiva.
4. Tvari koje se koriste za skidanje viška kiselosti - drveni pepeo, dolomit, vapnenac i Thomasov fosfat.

Iz ovih skupina možemo zaključiti da se sve organske tvari mogu kompostirati. Jedina razlika u njima je da se neke tvari mogu brže kompostirati i pogodnije su, a nekima pak treba duže vremena za razgradnju. Ali ipak neke tvari se ne bih smjele naći na hrpi za kompostiranje jer mogu naštetiti radu mikroorganizama, koje utječu na plodnost tla, koje mogu biti toksične za biljke i opasne za ljude i koje se ne razgrađuju. U tu skupinu svrstavamo sredstva za zaštitu bilja, metalne predmete, staklo, plastične stvari, lešine životinja uginulih od infektivnih bolesti. Na slici 8 nalazi se primjer kućnog komposta, kako bi se tvari trebale postavljati. [15]



Slika 8. Prikaz pravilnog kompostiranja

## 8. Vrste kompostiranja

### 8.1. Kućno kompostiranje

Kućno kompostiranje je proces kojim se organski kuhinjski i vrtne otpad razgrađuje u vrijedan kompost koji se može primijeniti na tlo u vrtu ili posudama za biljke. Ova praksa ne samo da smanjuje količinu otpada koji se šalje na odlagališta već i obogaćuje tlo, čime se poboljšava rast biljaka i održivost ekosustava. U nastavku će biti detaljno opisane metode i prakse za uspješno kućno kompostiranje.

Prednosti kućnog kompostiranja:

- Smanjenje kućnog otpada,
- Poboljšanje kvalitete tla - kompost dodaje hranjive tvari tlu, poboljšava njegovu strukturu i povećava sposobnost zadržavanja vode.
- Održiva praksa - kompostiranje je primjer kružnog gospodarstva, u kojem se otpad ponovno koristi za stvaranje resursa, smanjujući potrebu za umjetnim gnojivima i drugim kemikalijama.

**Osnovne metode kućnog kompostiranja:**

### **1. Hrpe i hrpe (otvoreno kompostiranje)**

- **Prednosti:** Niska cijena i jednostavnost implementacije. Idealno za veće vrtove, gdje prostor nije problem.
- **Postupak:** Materijali se slažu u hrpe na zemlji, omogućavajući crvima i drugim organizmima dolazak odozdo, što dodatno ubrzava razgradnju. Treba održavati vlažnost i redovito okretati materijal radi ravnomjerne raspodjele topline i vlage.

### **2. Kompostni spremnici:**

- **Vrste:** Plastični ili drveni spremnici pružaju bolju kontrolu temperature i vlage, što ubrzava proces razgradnje.
- **Postavljanje:** Spremnik treba biti smješten na sunčanom mjestu, zaštićen od jakog vjetra, kako bi se optimalno iskoristavala toplina.

### **3. Vermi-kompostiranje:**

- **Korištenje glista:** Crvene gliste razgrađuju kuhinjski otpad u bogat humus.
- **Postavljanje:** Posude s glistama trebaju imati dobar sustav za odvod i sloj smeđih materijala kao osnovu, uz redovito dodavanje otpada i održavanje vlažnosti.

Materijali pogodni za kućno kompostiranje:

- Zeleni materijali
- Smeđi materijali: blato
- Dodaci: ljuske od jaja (zdrobljene), talog kave.



Pri dodavanju materijala treba paziti na omjer ugljika i dušika (otprilike 30:1) kako bi se osigurala optimalna aktivnost mikroorganizama.

Održavanje i vrijeme kompostiranja:

- **Vlažnost i aeracija:** Hrpa bi trebala biti vlažna poput iscijedene spužve i redovito okretana radi dodavanja kisika i prevencije anaerobnih uvjeta.
- **Dodavanje materijala**

**Vrijeme potrebno za zrenje komposta i prepoznavanje zrelog komposta:**

- **Vrijeme:** Zreli kompost obično se može dobiti za 3 do 6 mjeseci, ali vremenski period može varirati ovisno o uvjetima.
- **Znakovi zrelosti:** Kompost bi trebao biti tamne boje, mrvičast, ugodnog, zemljanog mirisa. Izvorni materijali ne bi trebali biti prepoznatljivi, a hrpa ne bi trebala proizvoditi dodatnu toplinu.



Slika 9. Što se smije kompostirati

Kućno kompostiranje nije samo jednostavan način za upravljanje kućnim otpadom već i ekološki odgovorna praksa koja doprinosi održivosti okoline. Kroz proces kompostiranja, kućanstva mogu aktivno sudjelovati u smanjenju otpada i stvaranju zdravih vrtova, koristeći

prirodne procese razgradnje kako bi obogatili tlo. Osim praktičnih pogodnosti, kućno kompostiranje pruža prigodu za edukaciju obitelji i zajednica o važnosti recikliranja i zaštite okoliša. Učinkovito kompostiranje može se prilagoditi svakom obliku života, bilo da imate veliki vrt ili živite u stanu, postoje metode koje će odgovarati vašem prostoru i načinu života. Na slici 9 nalaze se stvari koje su dopuštene kod kompostiranja i stvari koje nisu dopuštene kod kompostiranja. [10]

### **8.1.1. Rizici kućnog kompostiranja**

Kućno kompostiranje je praksa koja donosi mnoge prednosti, uključujući smanjenje kućanskog otpada i obogaćivanje tla. Unatoč tomu, poput svake korisne aktivnosti, ono nosi određene rizike koje treba pažljivo upravljati kako bi se osigurala sigurnost i učinkovitost. Razumijevanje tih potencijalnih problema pomaže u prevenciji i omogućava kompostiranje s minimalnom zabrinutošću.

Sanitarni rizici predstavljaju jedan od većih izazova kod kućnog kompostiranja. Ako kompostna hrpa ne dosegne dovoljno visoke temperature, što znači oko 55-70°C, patogeni poput Salmonelle i E. coli mogu preživjeti i potencijalno kontaminirati kompost. Ovi mikroorganizmi mogu biti opasni za ljude koji dolaze u dodir s kompostom ili konzumiraju proizvode uzgojene u tlu obogaćenom takvim kompostom. Kako bi se to izbjeglo, važno je osigurati pravilne uvjete i mikrobnu aktivnost unutar hrpe, čime se osigurava sigurnost krajnjeg proizvoda. Osim sanitarnih rizika, nepravilno održavane kompostne hrpe mogu privući neželjene štetočine. Hrpa koja sadrži velike količine ostataka hrane, posebno mesa, mliječnih proizvoda i masnoća može postati primamljiva za glodavce, kukce i divlje životinje. Ovo ne samo da može izazvati neugodne situacije, već može prenositi bolesti i poremetiti lokalni ekosustav. Kako bi se izbjegli ovi problemi, kompostnu hrpu treba držati. Još jedan čest problem s kućnim kompostiranjem su neugodni mirisi koji mogu nastati kao posljedica anaerobnih uvjeta. Kada kompostna hrpa nije adekvatno prozračena, dolazi do razgradnje u nedostatku kisika, što rezultira neugodnim mirisima sličnim pokvarenim jajima ili truleži.[12]

Takvi mirisi mogu stvoriti probleme ne samo unutar kućanstva, već i za susjede. Redovitim okretanjem hrpe i osiguravanjem pravilne aeracije, moguće je održavati uvjete koji sprječavaju stvaranje ovih mirisa. Kemijska kontaminacija je još jedan rizik kojemu se može podleći tijekom kompostiranja. Dodavanje biljaka tretiranih pesticidima, kontaminiranog zelenog otpada, ili tretiranih drvnih ostataka može unijeti štetne kemikalije

u kompost, što može negativno utjecati na zdravlje tla i biljaka koje se uzgajaju u njemu. Pažljivo biranje materijala i izbjegavanje unosa tretiranih supstanci ključno je za održavanje čistoće i sigurnosti komposta. Uz to, neravnoteža hranjivih tvari može utjecati na kvalitetu komposta. Prekomjerna količina zelenih materijala, kao što su svježa trava i povrtni ostaci, može dovesti do zbijenosti i prekomjerne vlažnosti hrpe, dok višak smeđih materijala, poput suhog lišća i grančica, može usporiti proces razgradnje. Zaključno, kućno kompostiranje donosi brojne ekološke i praktične prednosti, no potrebno je pažljivo upravljati mogućim rizicima. Osiguranje optimalnih uvjeta za razgradnju, uključujući temperaturu, aeraciju i balans hranjivih tvari, minimalizira potencijalne probleme. Edukacija i razumijevanje najboljih praksi kompostiranja pomoći će kućanstvima da izbjegnu uobičajene zamke te da maksimalno iskoriste prednosti koje kompostiranje može ponuditi.[13]

## **8.2. Industrijsko kompostiranje**

Industrijsko kompostiranje je proces razgradnje organskih materijala u velikim razmjerima, što je vitalna komponenta u upravljanju otpadom posebno u urbaniziranim područjima. Ova metoda pretvaranja organskog otpada u korisne resurse smanjuje količinu otpada koji završava na odlagalištima, istovremeno doprinoseći održivosti kroz proizvodnju komposta bogatog hranjivim tvarima.

### **Proces industrijskog kompostiranja**

Industrijsko kompostiranje uključuje nekoliko ključnih koraka kako bi se osiguralo učinkovito i brzo razlaganje materijala. Prvo, organski otpad se prikuplja iz raznih izvora kao što su kućanstva, ugostiteljski objekti i agroindustrijska poduzeća. Nakon prikupljanja, otpad se sortira kako bi se uklonile neorganske i nepoželjne tvari koje nisu prikladne za kompostiranje. Usitnjavanje otpada predstavlja sljedeći korak, čime se povećava površina materijala i time olakšava rad mikroorganizama. Kontroliranje uvjeta unutar tih posuda ili hrpa je vitalno. Temperatura, vlažnost i razine kisika se pažljivo nadziru kako bi se stvorili optimalni uvjeti za mikrobiološku aktivnost. Nakon početne faze razgradnje, slijedi razdoblje sazrijevanja komposta, gdje materijal dobiva stabilnost i postaje potpuno razgrađen. Ova faza može trajati od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci, ovisno o specifikacijama i namjeni krajnjeg proizvoda. Na slici 10 je preokretač kompostnih hrpa koji preokreće kompostne hrpe.



Slika 10. Preokretač kompostnih hrpa

### **Prednosti industrijskog kompostiranja**

Industrijsko kompostiranje značajno smanjuje volumen otpada na odlagalištima, čime se produžava njihov vijek trajanja i smanjuju emisije metana, stakleničkog plina koji doprinosi globalnom zagrijavanju.

Proizvedeni kompost je izuzetno bogat hranjivim tvarima te se koristi za obogaćivanje poljoprivrednog tla, parkova i gradskih zelenih površina. Također, mnogi sustavi industrijskog kompostiranja koriste anaerobne procese, tijekom kojih se stvara bioplin. Ovaj plin, većinom metan, može se koristiti kao izvor obnovljive energije, smanjujući ovisnost o fosilnim gorivima. Razvoj industrijskih kompostara otvara i nove ekonomske prilike, stvarajući radna mjesta i potičući zelene inicijative unutar lokalnih zajednica. Unatoč svim prednostima, industrijsko kompostiranje ima svoje izazove. Kontaminacija materijala može umanjiti kvalitetu komposta, stoga je pravilno sortiranje ključno. Problem neugodnih mirisa može se riješiti korištenjem zatvorenih sustava i pravilnim upravljanjem hrpama. Inicijalni troškovi postavljanja infrastrukture za industrijsko kompostiranje mogu biti visoki, međutim, dugoročne financije[14]

### **Primjeri dobre prakse**

Gradovi poput San Francisca u SAD-u i Kopenhagena u Danskoj služe kao vodeći primjeri učinkovitog industrijskog kompostiranja. San Francisco prikuplja sveobuhvatan

spektar organskih otpada i godišnje pretvara tisuće tona otpada u kompost. U Kopenhagenu, anaerobni digestori transformiraju organske tvari u korisni kompost i energiju, pružajući održivu alternativu na klasičnim metodama gospodarenja otpadom. Milan u Italiji također ističe se svojim sustavom kolektivnog prikupljanja i industrijskog kompostiranja, koji uključuje velik dio gradskog stanovništva, time smanjujući značajnu količinu otpada koji bi inače završio na deponijima. Zeleni gradovi uspijevaju putem strategija koje osim kompostiranja uključuju i edukaciju stanovništva o važnosti razdvajanja otpada na izvoru, čime se osigurava veća čistoća i redukcija samog otpada. Ovi primjeri pokazuju kako učinkovita suradnja između lokalnih vlasti, industrije i zajednice može dovesti do značajnih ekoloških i ekonomskih poboljšanja.

Industrijsko kompostiranje predstavlja ključnu komponentu u globalnim naporima za smanjenje otpada i promicanje održivijeg načina života. Upravljanje sve većim količinama organskog otpada u urbanim sredinama zahtijeva integrirane sustave koji kombiniraju tehnologiju, infrastrukturu i zajednički trud, a rezultati su višestruko korisni, ne samo u osiguranju zdravijeg tla i čistije energije, već i u poboljšanju kvalitete života unutar zajednica. Kroz neprestanu inovaciju i prilagodbu najbolje prakse industrijskog kompostiranja, gradovi i zemlje mogu učinkovito iskoristiti svoj otpad, smanjujući utjecaj na okoliš i osiguravajući resurse za buduće generacije. Budući napori bi se trebali usmjeriti na dalje poboljšanje metoda razdvajanja otpada, razvoj novih tržišta za kompostne proizvode, te bolju integraciju kompostiranja u šire planove gospodarenja otpadom i lokalne urbane politike. Ovaj pregled industrijskog kompostiranja naglašava njegovu važnost i potencijal kao jednog od glavnih elemenata u modernim ekološkim pristupima upravljanju otpadom.[15]

### **8.2.1. Rizici industrijskog kompostiranja**

Industrijsko kompostiranje igra ključnu ulogu u održivom gospodarenju velikim količinama organskog otpada, što je sve važnije s globalnim porastom populacije i urbanizacijom. Ipak, kao i svaka industrijska aktivnost, ono nosi sa sobom niz rizika koji se moraju pažljivo upravljati kako bi se osigurala njegova održivost i sigurnost. Jedan od značajnih izazova je kontaminacija ulaznih materijala.

U industrijskom kontekstu, velika količina otpada dolazi iz različitih izvora, često s varijabilnim razinama onečišćenja. Uobičajeni neorganski kontaminanti uključuju plastikom zaprljane materijale, metale, staklo i kemikalije koje mogu imati negativne utjecaje na okoliš. Ekološki rizici povezani su ne samo s kontaminacijom, već i s curenjem

procjednih voda. Procjedne vode su potencijalno opasne tekućine koje nastaju tijekom razgradnje otpada i bogate su organskim i anorganskim spojevima.

Emisije plinova su još jedan značajan ekološki izazov. Tijekom razlaganja organskog materijala, oslobađaju se plinovi poput amonijaka, metana i ugljičnog dioksida. Metan, osobito, ima velik potencijal kao staklenički plin, doprinosi klimatskim promjenama znatno više od ugljičnog dioksida. Na operativnoj razini, industrijsko kompostiranje suočava se s izazovima koji proizlaze iz složenosti i veličine operacija. To uključuje rizike povezane s kvarovima opreme, nedovoljnom obukom osoblja i neodgovarajućom infrastrukturom. Zbog toga je ključno ulagati u modernu tehnologiju i kontinuiranu edukaciju radne snage kako bi se osiguralo učinkovito funkcioniranje i minimiziranje.

Rizici povezani s prihvatljivošću i društvenim aspektima, kao što su mirisi i buka, također zahtijevaju pažnju. Na kraju, iako industrijsko kompostiranje pruža nužna rješenja za upravljanje otpadom, mora se provoditi uz visoke standarde i pažljivo upravljati potencijalnim rizicima kako bi se postigla njegova puni potencijal u poboljšanju ekološke održivosti i kvaliteti života. Učinkovito rješavanje ovih rizika omogućuje da industrijsko kompostiranje ostane ključna komponenta u strategijama smanjenja otpada i ublažavanja klimatskih promjena.[16]

### **8.3. Bokashi kompostiranje**

Bokashi kompostiranje je inovativna metoda obrade kućnog organskog otpada koja vuče korijene iz tradicionalnih azijskih poljoprivrednih tehnika, no modernizirana je kroz rad japanskog agronoma dr. Teruo Hige. Ova metoda koristi proces fermentacije uz pomoć efektivnih mikroorganizama (EM) za efikasnu razgradnju otpada u uvjetima bez zraka. Ova metoda posebno je pogodna za obradu širokog spektra kuhinjskog otpada, uključujući i one dijelove koje je inače teško kompostirati, poput mesa i mliječnih proizvoda.

#### **Proces bokashi kompostiranja**

Proces bokashi kompostiranja započinje sakupljanjem kuhinjskog otpada koji se slaže u hermetički zatvoren spremnik. Svaki sloj otpada posipa se bokashi mekinjama koje sadrže mješavinu korisnih mikroorganizama - bakterija mliječne kiseline, aktinomiceta, kvasaca i drugih mikroskopskih organizama.

Ovaj proces omogućava kontrolirane anaerobne uvjete koji pokreću fermentaciju otpada, a za razliku od tradicionalnog kompostiranja, fermentacija sprječava neugodne mirise i omogućava stabilizaciju materijala kroz pretvorbu u kiselkastu masu bogatu

hranjivim tvarima. Jedna od ključnih prednosti bokashi kompostiranja je njegova sposobnost obrade otpada koji se tradicionalno izbjegava, poput mesa, ribe, masnoća i mliječnih proizvoda, čineći ovu metodu osobito pogodnom za urbana područja gdje kuhinjski otpad čini značajan dio smeća. Zahvaljujući anaerobnom karakteru procesa, bokashi sustavi idealni su za unutarnju primjenu jer ne privlače štetočine i ne stvaraju neugodne mirise. Implementacija bokashi sustava u kućanstvima, školama i poslovnim objektima može značajno smanjiti količinu otpada koji završava na odlagalištima. Edukacijske inicijative o ulozi mikroorganizama pri fermentaciji mogu dodatno potaknuti veći interes zajednice za ekološki osviješteno zbrinjavanje otpada. Bokashi sustav ne samo da pruža praktične koristi, već i obrazovne prednosti, potičući svijest o ekološkim procesima i važnosti održivosti.

Usprkos brojnim prednostima, bokashi kompostiranje suočava se s izazovima poput potrebe za stalnom opskrbom specifičnim mikroorganizmima i odgovarajućim spremnicima, što može predstavljati dodatne troškove ili logističke prepreke. Međutim, njegova integracija u šire sustave upravljanja otpadom predstavlja značajan potencijal za smanjenje ukupne količine otpada i ekološkog otiska kućanstava. Zaključno, bokashi kompostiranje nudi značajne mogućnosti za rješavanje problema organskog otpada i istovremeno doprinosi razvoju kružnog gospodarstva. Njegov potencijal za povećanje plodnosti tla i smanjenje otpadnih materijala čini ga ključnom komponentom u strategijama održivog razvoja. Kao relativno brz i jednostavan proces, bokashi može poslužiti kao učinkovit alat za pretvaranje otpada u resurse, pružajući održiva rješenja za generacije koje dolaze. Na slici 11 nalazi se primjer bokashi kompostiranja. [16]



Slika 11. Primjer bokashi kompostiranja

### **8.3.1. Rizici Bokashi kompostiranja**

Bokashi kompostiranje predstavlja inovativnu metodu obrade organskog otpada koja koristi anaerobnu fermentaciju uz pomoć efektivnih mikroorganizama (EM) kako bi razgradila organski materijal. Ova metoda je poznata po svojoj sposobnosti da obrađuje različite vrste otpada, uključujući meso i mliječne proizvode, bez neugodnih mirisa i uz minimalnu prisutnost štetočina.

Jedan od značajnih rizika bokashi kompostiranja je mogućnost razvoja plijesni i patogenih mikroorganizama kada sustav fermentacije ne radi optimalno. Proces bokashi kompostiranja se oslanja na precizno doziranje i dodavanje efektivnih mikroorganizama koje potiču fermentaciju. Ako dođe do pogrešnog mjerenja ili ako bokashi kanta nije pravilno zatvorena, mogu se pojaviti neželjene mikrobiološke reakcije. U slučaju da se anaerobni uvjeti ne održavaju dosljedno, površina materijala može postati pljesniva, što ukazuje na prijetnju kontaminacije i neadekvatnog procesa. Pored mikrobioloških aspekata, skladištenje i nepravilno odlaganje fermentiranog materijala također mogu predstavljati značajne izazove u bokashi kompostiranju.

Fermentirani otpad iz bokashi sustava nije u potpunosti razgrađen kao u klasičnom kompostiranju, stoga se preporučuje da se zakopa u tlo ili pomiješa s tradicionalnom kompostom. Dodatno, bokashi metoda može generirati tekućinu poznatu kao "bokashi sok". Ova tekućina se mora redovito ispuštati iz donjeg dijela spremnika kako bi se spriječili neugodni mirisi i preplavlivanje posude. Ako se "bokashi sok" ne upravlja pravilno te se ne razrijedi ili koristi u dozama koje odgovaraju, njegova uporaba može postati izvor neugodnih mirisa ili dana podlogu za rast neželjenih mikroorganizama.

Financijski aspekt bokashi kompostiranja također može predstavljati izazov za korisnike. Iako bokashi kompostiranje nudi brz i relativno jednostavan način obrade širokog spektra organskih materijala s minimalnim negativnim vanjskim učinkom.

## **9. Teorijska podloga postupka kompostiranja**

U samom procesu kompostiranja ima nekoliko važnih točaka koje moraju biti kontrolirane i pod pravim uvjetima kako bih dobili kvalitetan kompost a s druge strane bitno je da je taj kompost siguran za korištenje.

### **9.1. Mikrobiologija kompostiranja**



U samom procesu kompostiranja veliku važnost imaju anaerobni organizmi. To su uglavnom bakterije i fungi. U procesu se nalaze još neke grupe mikroorganizama ali one nisu važne za kompostiranje. Mikroorganizmi koji su nam potrebni moraju biti iz okoliša. Oni su prisutni u materijalu za kompostiranje, u zraku, u vodi, u tlu i u procesnoj opremi koju koristimo za kompostiranje. Da bi se aktivnost mikroorganizama održala tijekom cijelog procesa važni su različiti izvori koji to osiguravaju.

### **9.1.1. Bakterije**

Tijekom kompostiranja najviše dominiraju bakterije, te su one povezane sa razgradnjom lako razgradivih organskih spojeva u mezofilnoj fazi. Te bakterije koje razgrađuju organsku tvar najviše ovise o kemijskom sastavu. Bakterije koje pokazuju celuloitičku i proteolitičku aktivnost najzaslužnije su za razgradnju. One imaju i svojstvo formiranja spora tako da su otpornije na zračenja, kemijskim agensima i visokim temperaturama. Znači otpornost spora i prisutnost sporogenih bakterija vrlo je bitna za završnu fazu kompostiranja. Također vrlo važnu ulogu u kompostiranju imaju i aktinomiceti koji imaju mogućnost razgradnje složenih molekula.

### **9.1.2. Arhebakterije**

Arhebakterije su većinom termofilne ili hipertermofilne. Rijetki su slučajevi izolacije arhebakterija iz komposta ali otkriveno je da iz njega izlazi značajna emisija metana u kompostnim hrpama. To je posljedica prisutnosti metanogenih arhebakterija.

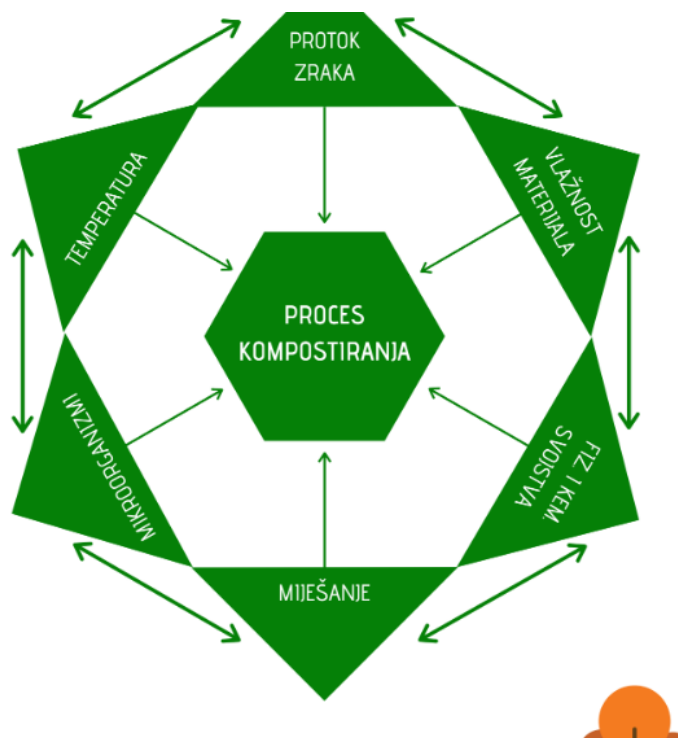
### **9.1.3. Fungi**

Fungi također sudjeluju u početnoj fazi kompostiranja što znači da razgrađuju lako razgradive komponente. Za funge je važna dobra opskrba kisikom jer tako preživljavaju za razliku od bakterija. Oni nemaju važnu ulogu u termofilnoj fazi zbog male termotolerantnosti. Ali nije uvijek tako. Kod kompostiranja gdje prevladavaju materijali bogati celulozom i ligninom, tada fungi imaju vrlo važnu ulogu tijekom cijelog procesa.

## **9.2. Procesni parametri i kontrola kvalitete**

Za kompostiranje je vrlo važno da materijal koji ulazi u proces bude biorazgradivi čisti otpad. Ključan faktor uspješnog procesa u smislu brzine i tijeka procesa su fizikalna i kemijska svojstva navedenog supstrata. Također na sam proces utječu i koncentracija, dostupnost hranjivih tvari i omjer. Najvažnija fizikalna svojstva biootpada su vlažnost, pH

i veličina čestica. Osim fizikalnih svojstava, važni su nam i procesni čimbenici, a to su temperatura, protok zraka, usitnjavanje materijala za kompostiranje te miješanje kompostne mase tijekom procesa. Na slici 12 prikazani su parametri koji su potrebni za dobar kompost.



Slika 12. Parametri za kompostiranje

### 9.2.1. Usitnjavanje materijala

Kao što smo već spomenuli, usitnjavanje materijala je od velike važnosti za ubrzano kompostiranje. Preporučuje se da su čestice veličine od 1 do 3 centimetara. Znači što su manje čestice biorazgradivog materijala, to će biti brži proces kompostiranja jer je time povećana ukupna površina dostupna mikroorganizmima. S druge strane ako su čestice premale, tada dolazimo do problema zbog smanjenog prostora između čestica te je time onemogućen pravilan protok te difuzija kisika. Zbog takve situacije može doći do anaerobnih uvjeta. A ako su čestice prevelike, proces se usporava. Ukoliko prije samom usitnjavanja materijala već imamo prevelike ili premale čestice, tada koristimo sljedeće korake. Kod prevelikih čestica koristimo usitnjavanje, a kod premalih čestica one se miješaju sa inertnim materijalima kao što su komadi automobilskih kuma ili šljunak koji tada osiguravaju prozračnost te komponente mase, a na kraju se lako izdvoje iz produkta. Na slici 13 nalazi se stroj za usitnjavanje biootpada.



Slika 13. Stroj za usitnjavanje mase za kompost

### 9.2.2. Vlažnost materijala

Vlažnost materijala kao i voda važna je tvar za sve žive organizme i mikroorganizme jer pomoću nje provode bio razgradnju. U samo procesu kompostiranja količina vode u materijalu za kompostiranje i nema preveliku ulogu, odnosno da bi štetila kompostnoj tvari. Zapravo previše vode zatvara i smanjuje zračni prostor i time otežava put kisika prema samoj sredini kompostnog materijala. Samim time proces kompostiranja se usporava. Također nije dobro ako je premala vlažnost materijala ili ako je uopće nema. Time se zaustavlja biološki proces a dobiva se fizički stabilan i biološki nestabilan produkt. Mikrobna aktivnost se prekida kada je udio vode u materijalu manju od 8-12%. Neka istraživanja su pokazala da bi se trebao udio vode održavati iznad 40%. Ipak veliki utjecaj na to ima na koji se način kompostira, koje su veličine čestica itd.

### 9.2.3. Protok zraka

Protok zraka je, kao što smo već ranije spomenuli, jedan od najvažnijih čimbenika u procesu kompostiranja i bez njega kompostiranje bi bilo nemoguće. Njegova uloga jest dopremanje kisika u kompostnu masu. Da bi dobili aerobne uvjete, komposta masa se prozračuje i to na način da se koriste negativni ili pozitivni tlakovi, a moguće je i u kombinaciji. Prozračivanjem ne dobivamo samo protok zraka u masu nego njime možemo pratiti i kontrolirati vlažnost materijala i temperaturu. Zahtjevi za kisikom u procesu se mijenjaju s obzirom na strukturu kemijske mase i kemijski sastav. U samom procesu kompostiranja koncentracija kisika opada, a koncentracija ugljikovog dioksida raste. Ukupni volumen ta dva plina u kompostu iznosi 20%. Od toga je zrak 15-20% a ugljikov

dioksid 0,5-5 %. Vrlo je važno da kompostna masa ima konstantni dovod zraka jer ako koncentracija kisika padne ispod vrijednosti, tada to više nisu aerobni uvjeti nego anaerobni.

#### **9.2.4. Temperatura**

Temperatura također sudjeluje u kompostiranju. Pošto je to aerobni proces, dolazi do oslobađanja velike količine energije. Dio te nastale energije mikroorganizmi koriste za sintezu ATP-a (adenozin trifosfata), dok se ostatak energije oslobađa u obliku topline i dijelom ostaje u kompostnoj masi. Ta oslobođena energija u obliku topline može uzrokovati rast temperature od 70 do 80°C. Dakle temperatura uvelike utječe na kompostiranje. Ali ako je temperatura veća to ne mora značiti da će kompostiranje biti brže. Tako da za jednostavnije organske molekule mikrobna raznolikost i brzina razgradnje događa se pri temperaturama od 30-45°C. Ali ipak je bitno da u nekom trenutku temperatura mora dostići više od 45°C zbog uništavanja patogenih organizama i same razgradnje složenijih mikroorganizama. Složenije organske molekule se pak najbrže razgrađuju na temperaturama od 45-65°C.

#### **9.2.5. Vrijednost pH**

Vrijednost pH u materijalu za kompostiranje iznose od 5.5 do 8.5. Ipak poželjno je da pH materijala bude oko 7 jer ako pH vrijednosti preniske ili previsoke, tada dolazi do inhibicije aktivnosti mikroorganizama i kompostiranje je nemoguće. Visoki pH s visokom temperaturom u početnom supstratu koja se oslobađa tijekom kompostiranja obično dovodi do gubitka dušika hlapljenjem amonijaka. S druge strane ako je nizak pH, njega pak možemo korigirati sa dodavanjem različitih anorganskih soli (natrijev acetat, vapno, miješanjem kiselog materijala s neutralnim ili lužnatim materijalom u odgovarajućem omjeru, natrijev hidrogen-karbonat). U samom procesu kompostiranja, pH jako varira. U početnoj fazi on je u opadanju zbog toga što bakterije razgrađuju jednostavne organske produkte do međuprodukata u obliku organskih kiselina. U nastavnom dijelu procesa nastaje amonijak, koji podiže pH na 8-9.

#### **9.2.6. Omjer C:N**

Jako važan podatak o hranjivim tvarima je omjer ugljika i dušika. U kompostiranju mikroorganizmi koriste 30 jedinica ugljika za svaku jedinicu dušika. Omjer ugljika i dušika u kompostiranju se kontinuirano smanjuje zbog biološke mineralizacije organskih spojeva ugljika te oslobađanja CO<sub>2</sub>. Neki optimalni omjer ugljika i dušika biorazgradivog otpada

je od 25 do 30. Ako je omjer C:N u biootpadu viši od optimalnog, tada je mikrobiološka aktivnost smanjena i dolazi do dužeg procesa kompostiranja. To obično dolazi kod biootpada u kojem prevladava ukupni organski ugljik u molekulama koje teže podliježu biorazgradnji( celuloza, lignin, određeni aromatski spojevi). Ako su vrijednosti omjera manje od 20, tada ne dolazi do usporavanja procesa kompostiranja ali dolazi do gubitka dušika zbog hlapljenja amonijaka. A pošto amonijak onečišćuje atmosferu, zbog njega se pojavljuju neugodni mirisi. Gubitkom dušika se smanjuje i ograničava uporabna vrijednost gotovog produkta.(tablica 9).

### 9.2.7. Miješanje supstrata

Proces miješanja je vrlo bitan u procesu zbog homogeniziranja kompostne hrpe, prozračivanja kompostne hrpe, isparavanja vode i plinova te raspodjela mikroorganizama. Sam proces kompostiranja u današnje vrijeme može se ubrzati pomoću mikrobnih inokulata. Proces miješanja osigurava izmjenu nastalih plinova te dovod svježeg zraka za kompostiranje. Ono što smo naveli gore u radu može se riješiti miješanjem. Kada je povišen pH u kompostu, oslobađa se amonijak, a miješanjem se oslobađa i ispušta nastali amonijak. Isto tako kada miješanjem možemo potaknuti novu aktivaciju mikroorganizama dovodom svježeg zraka. Ako naiđemo na probleme u kompostiranju, u većini situacija to možemo riješiti miješanjem.

## 9.3. Faze u procesu kompostiranja

Iako smo dio nekih procesa i faza spomenuli u dosadašnjem radu, treba napomenuti da kompostiranje se radi u nekoliko faza gdje u složenim slučajevima se prati i upravljaju različiti čimbenici.

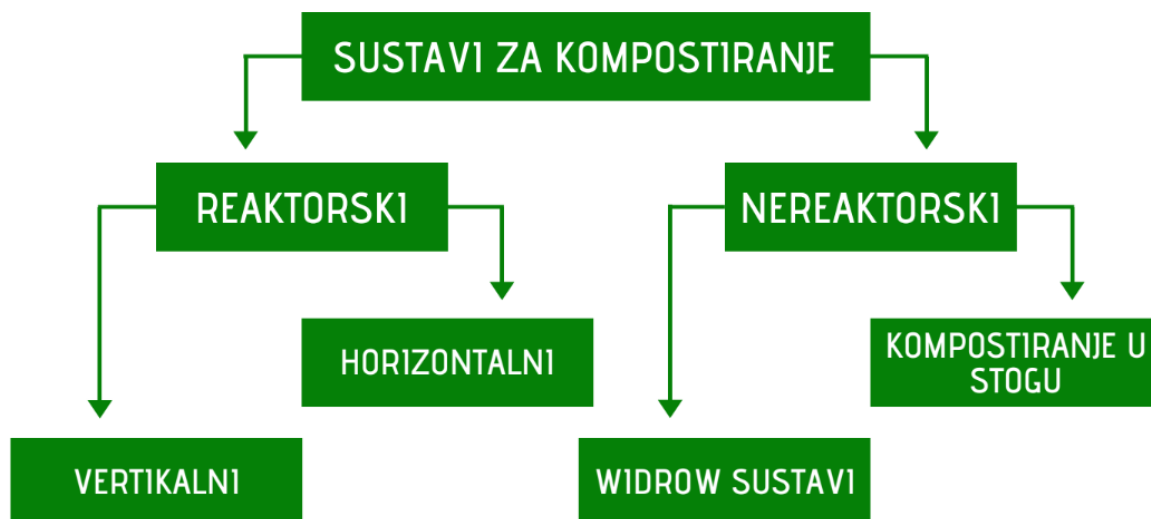
1. **Mezofilna faza** - Početna faza kompostiranja u kojoj dolazi do porasta temperature i razgradnje molekula šećera i bjelančevina na bakterije, funge i akinomicete. Raspon temperature je od 25 do 45°C.
2. **Termofilna faza** - U toj fazi događa se porast temperature od 45 do 65°C, a povišenjem temperature raste i broj termofilnih mikroorganizama. Oni zamjenjuju mezofilne mikroorganizme koji polako odumiru i postaju razgrađeni termofilnim mikroorganizmima. U ovoj fazi iznad 55°C otpada aktivnost termofilnih funga dok s druge strane termofilne i termotolerantne bakterije ostaju. Također u ovoj fazi moguć je porast temperature do 80°C što može naštetiti jer na tim temperaturama bakterije

prestaju djelovati odnosno inhibiraju. Vrlo je važna i sanitacija u ovom procesu jer u sirovom kompostu se nalaze velika većina patogenih mikroorganizama, jajašca kukaca te sjemenje korova, a oni se uništavaju na visokim temperaturama. Iako visoka temperatura ima pozitivne karakteristike u ovoj fazi, ona može i naštetiti jer su temperature iznad 70°C nepoželjne jer ubijaju većinu mezofilnih mikroorganizama te dolazi do otežanog aktiviranja u fazi hlađenja.

- 3. Faza hlađenja** - U ovoj fazi temperature počinju padati zbog toga jer se u termofilnoj fazi iscrpljuje sav biorazgradivi materijal. Iz toga se ponovo aktiviraju mezofilni mikroorganizmi, iz preživjeli spora. Zbog toga se u ovoj fazi povećava broj mikroorganizama od početne faze koji razgrađuju škrob. To su fungi i bakterije. Temperatura ima jako veliki utjecaj na proces kompostiranja. Sam proces kompostiranja traje dosta dugo a to pokazuje činjenica da temperatura od 65 do 70° se može zadržavati od jednog do 3 tjedna. Ako svi uvjetni nisu optimalni, tada temperatura se zadržava i više od 3 tjedna ali tada je maksimalna vrijednost temperature oko 55°C. Ta nam temperatura pokazuje mikrobnu aktivnost. „ Do eksponencijalnog porasta temperature dolazi zbog razgradnje/oksidacije lako razgradivih komponenti otpada (šećeri, škrob i jednostavne bjelančevine). Tijekom tog perioda eksponencijalno raste i mikrobna populacija. Nakon što se razgrade lako razgradive organske tvari i zaostanu složene molekule, bakterijska aktivnost opada, a s tim i temperatura.“ Osim temperature kompost mijenja svoja fizikalna i kemijska svojstva. Znači mijenja se struktura, miris i boja. Sam kompost u procesu dobiva tamniju nijansu boje dok na kraju on je ili tamnosivi ili tamno smeđi. Također velika je razlika u mirisu na početku i na kraju što je pokazatelj napretka procesa. U kompostiranju može prevladavati miris amonijaka ako je pH iznad 7,5 a maseni udio ugljika i dušika nizak. Na kraju procesa, gotov produkt kompost miriše na plodno tlo. Isto tako mu se mijenja i fizikalna svojstva gdje amorfni materijali postaju granule a vlaknasti materijali postaju lomljivi.

#### **9.4. Sustavi za kompostiranje**

Kompostiranje se može odvijati u različitim sustavima. Oni ovise o raspoloživom prostoru, zakonskim propisima, veličina otpada itd. No ako gleda sa kemijske strane, tada kompostiranje dijelimo na reaktorske i nereaktorske. Ono što je dobro za njih da oni ne trebaju biti opremljeni opremom i mogu biti i u zatvorenom i otvorenom prostoru. Na slici 14 možemo vidjeti podjelu sustava za kompostiranje.



Slika 14. Sustavi za kompostiranje

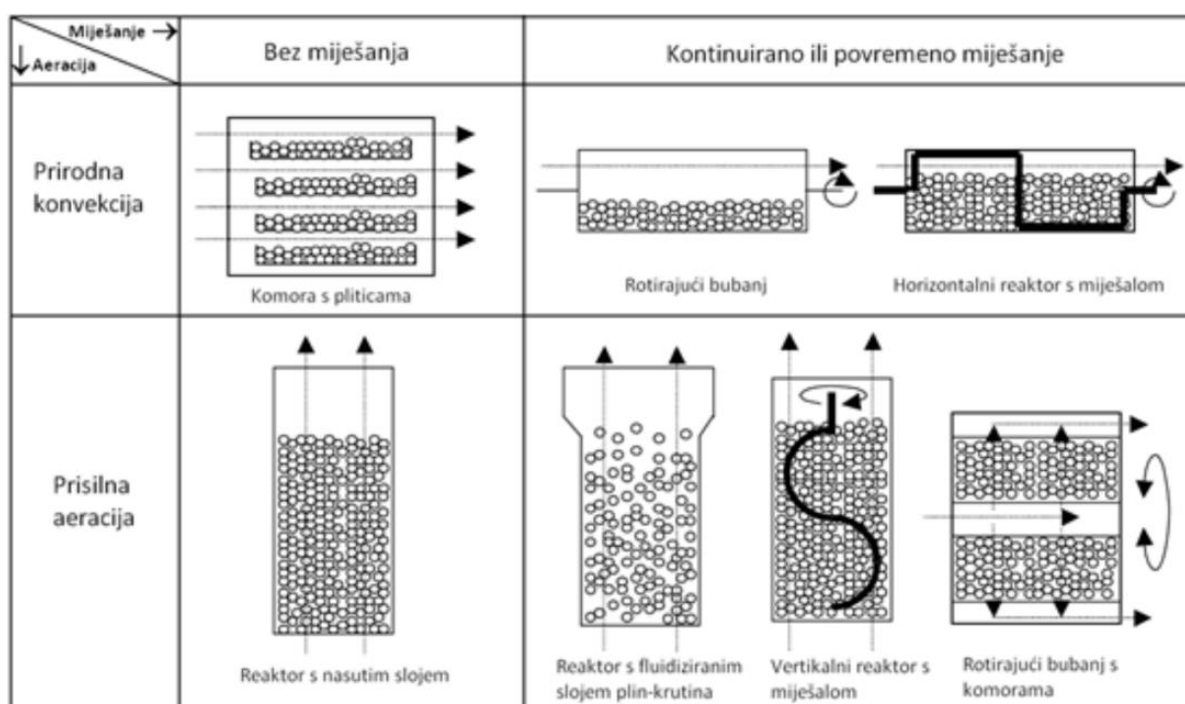
#### 9.4.1. Nereaktorski sustavi

Nereaktorski sustavi su često upotrjebljeni u praksi jer je dosta jeftin i jednostavan proces. Ono što ima negativne strane jest da traje dosta dugo, od 4 do 6 mjeseci, ovisno o vremenskim uvjetima, emisija štetnih plinova nepotpuna kontrola procesa i širenje neugodnih mirisa. U nereaktorskim sustavima postoje 2 osnovna sustava za kompostiranje a to su **widrow sustavi i sustavi kompostiranja u hrpi**. Najbitnija razlika u tim dvama sustavima jest prozračivanje kompostnog materijala. U **widrow sustavima** otpad se slaže u polukružni poprečni presjek ili u hrpa trapeznog presjeka. Tada se te hrpe slažu redove, a njihov broj ovisi samo o prostoru koje kompostiramo, mehaničkoj opremi i količini otpada. Njegovo osnovno obilježje je prozračivanje otpada mehaničkim prevrtanjem hrpe. Kao što smo ranije spomenuli to prevrtanje osim prozračivanja daje homogenost materijala i jednolikost razgradnje u svim dijelovima komposte mase. Također prevrtanjem se gubi voda isparavanjem. Zbog toga treba dodavati vodu u materijale koji nemaju dovoljno vode, dok materijalu koji ima dovoljno vode ne trebamo dodavati vodu nego je isparavanje poželjno. **Kompostiranje u hrpi** ne dolazi do prevrtanja materijala nego se do prozračivanja dolazi prirodnim ili prisilnom konvekcijom zraka kroz hrpu. I u jednom i drugom slučaju se koriste performirane cijevi ali sama izvedba je drugačija. Kod sustava sa prisilnom aeracijom zraka, cijevi su spojene na različite uređaje koji tada upuhuju zrak. Neka praksa kod tog sustava jest da se hrpe svježeg otpada prekrivaju sa kompostom čija je uloga da filtrira. U ovom sustavu je mnogo bolja mogućnost kontrole štetnih plinova te

je zato bolji od widrow sustava. Kod ovog sustava nije bitan izgled hrpe kao kod widrow sustava.

#### 9.4.2. Reaktorski sustavi

Kao što naziv govori u tim sustavima se koriste različiti reaktori. Reaktori se mogu podijeliti na vertikalne i horizontalne. Vertikalni reaktori mogu biti reaktori s mješalom ili reaktori s nasutim slojem dok horizontalni mogu biti rotirajući i reaktori s mješalom. U njima se odvija egzotermna reakcija, što znači da su reaktori toplinski izolirani. U njima se odvija adijabatska reakcija. Ti znači da nema izmjene topline između sustava i okoline. Velika prednost reaktorskih sustava jest da ne ovise o vremenskim uvjetima, te sam proces traje puno kraće. Traje od 15-30 dana te ima mogućnost vođenje procesa podešavanjem procesnih uvjeta. Reaktorski sustavi mogu i sakupljati i obrađivati procjedne vode. Nažalost negativna stvar ovog sustava jest visoka cijena materijala za izradu reaktora te sva mehanička oprema. Na slici 15 nalazi se primjer reaktorskog kompostiranja. [5,6,8]



Slika 15. Reaktorski sustavi

## 10. Primjena komposta u ekološkoj poljoprivredi

Obogaćivanje tla organskim i hranjivim tvarima primjenom komposta u poljoprivredi primjenjuje se od kad je poljoprivrede. Neki navodi čak govore da se kompost primjenjuje



čak od 1149. godine. Ali sama primjena komposta u posljednje vrijeme se smanjila zbog korištenja velikih količina agrokemikalija.

Kompost u poljoprivredi najčešće koristimo za poboljšanje kemijskih, bioloških i fizikalnih značajki tla, za ishranu bilja, kao malč i kao sirovina za proizvodnju raznih supstrata. Time dobivamo novi proizvod koji se stavlja na tržište kao kvalitetno hranjivo za uzgoji rast biljaka – kompost. To je navedeno u skladu s EU direktivom o odlagalištima otpada (1999/31/EC) u kojoj se potiče i sugerira države da povećaju recikliranje i iskoristivost bio otpada. Na slici 16 vidimo znak za certificirani kompost prihvaćen u EU.

Kvaliteta komposta u europskim državama definira se na temelju sadržaja onečišćivača, te mehaničke i fizikalne nečistoće. Kontrola na organska onečišćenja ponekad se ne rade. Također i sustavi provjere kvalitete komposta razlikuju se od države do države. Ali ako kompost stavljamo na tržište tada ga moramo označiti oznakom koja je dokaz da je kompost provjerene kvalitete, te da su u samoj proizvodnji redovito provedene analize.[4]



Slika 16. Znak za certificirani kompost

## 11. Zrelost primjena i prednosti komposta

Kompostiranje predstavlja ključnu prirodnu tehnologiju u održivom upravljanju resursima, čija važnost postaje sve značajnija u kontekstu globalnih izazova povezanih s okolišnom održivošću i urbanim razvojem. Zreo kompost, kao krajnji proizvod tog procesa, pruža širok spektar koristi koje nadmašuju puku razgradnju otpada.

**Zrelost komposta** je presudna za njegovu učinkovitost. Zreli kompost je spreman za uporabu u poljoprivredi i hortikulturi kad postigne tamnu, mrvičastu strukturu te zemljani miris. To ukazuje da su složeni organski spojevi potpuno razgrađeni u jednostavne hranjive tvari dostupne biljkama. Temperatura kompostne mase približava se temperaturi okoliša, što signalizira da su mikrobiološke aktivnosti dosegle završnu fazu. Ovaj prirodni proces u

kojem se temperatura unutar hrpe stabilizira, svjedoči o smanjenju mikrobne aktivnosti i osigurava da će dodatni patogeni biti uništeni. Takva zrelost čini kompost sigurnim za upotrebu bez dodatnih rizika za rast biljaka.

**Primjena komposta** je široka i raznovrsna. U poljoprivrednom sektoru, kompost se koristi za poboljšanje strukture tla, povećanje plodnosti i smanjenje potrebe za kemijskim gnojivima. Ova prirodna alternativa gnojivima ne samo da odobrava održive kultivacijske prakse nego i osigurava dugoročnu zdravost tla. U hortikulturi, kompost pomaže održavanju zdravlja i estetske vrijednosti biljaka, dok u urbanom uređenju povećava kvalitetu zelenih površina kao što su parkovi i vrtovi. U urbanim sredinama, kompost poboljšava strukturu tla, smanjuje efekt sabijenosti, te poboljšava zadržavanje vode, što je ključno za održavanje bioraznolikosti i smanjenje urbano-toplinskog otoka.

U **ekološkim restauracijskim** projektima, kompost igra ključnu ulogu obnovi degradiranih područja, poboljšavajući njihov kapacitet zadržavanja vode i obogaćujući tlo hranjivim tvarima. Kompostiranje također osigurava da se vrijedni organski materijali vrate u tlo, čime se smanjuje potreba za sintetičkim gnojivima i sprječava dodatno onečišćenje okoliša.

Prednosti komposta su mnogobrojne. Njegova sposobnost poboljšanja plodnosti tla bez upotrebe kemijskih dodataka predstavlja veliki korak prema održivoj poljoprivredi. Osim hranjivih tvari potrebnih za rast biljaka, kompost ima sposobnost povećanja organske tvari u tlu, što jača njegovu sposobnost zadržavanja vode i smanjuje eroziju. Time se potiče zdrav mikrobiomski život u tlu, koji je neophodan za dugoročnu plodnost zemlje. Kompost doprinosi smanjenju zagađenja tla i vode poboljšavajući biološku aktivnost tla i smanjujući eroziju. Osim toga, pridonosi smanjenju ugljičnog otiska poljoprivrednih praksi i urbanog razvoja jer može značajno smanjiti ovisnost o kemijskim gnojivima te smanjiti emisije metana koji bi inače nastajale anaerobnom razgradnjom otpada na deponijima.

Ekonomičnost je također važan aspekt kompostiranja. Kao isplativa alternativa za upravljanje organskim otpadom, kompostiranje omogućava lokalnim zajednicama i organizacijama da prenamijene otpad koji bi inače zagađivao ekosustave. Kompost se može lokalno proizvoditi, čime se smanjuju troškovi povezani s prijevozom otpada i nabavom komercijalnih gnojiva te potiče lokalni razvoj zelenih poslova. Zaključno, zrelost, primjena i prednosti komposta pokazuju da on igra ključnu ulogu u stvaranju održivog gospodarskog ciklusa. Njegova sposobnost poboljšanja tla i promicanja zdravijeg okoliš urbanih praksi.

Kao esencijalni element kružnog gospodarstva, kompost promiče održivost nudeći ekološke, ekonomske i društvene beneficije. Na ekološkoj razini, kompostiranje pomaže u smanjenju otpada koji završava na deponijima, čime se smanjuje emisija stakleničkih plinova, posebno metana. Osim toga, korištenjem komposta, smanjuje se potreba za kemijskim gnojivima koja mogu uzrokovati onečišćenje tla i vode te pogoršanje zdravlja biljaka. Kompost pospješuje biološku raznolikost u tlu, time stvarajući otpornije ekosustave koji bolje reagiraju na promjene u okolišu.

Ekonomski, kompostiranje predstavlja učinkovit i dugoročno isplativ način upravljanja otpadom. Lokalne zajednice mogu smanjiti troškove vezane uz odvoz i zbrinjavanje otpada, dok istodobno stvaraju dodatne ekonomske prilike kroz proizvodnju i prodaju komposta. Također, smanjenje upotrebe kemikalija može voditi do smanjenih troškova u poljoprivredi i hortikulturi.

Na društvenoj razini, kompostiranje može ojačati zajednice. Edukacija o kompostiranju i njegovo provođenje može povećati svijest građana o važnosti održivosti, potaknuti suradnju zajednica i povećati razumijevanje o kružnom gospodarstvu. Kompostni programi mogu biti integrirani u obrazovne sile, omogućujući mladima bolje razumijevanje ekoloških procesa i odgovornog upravljanja resursima. Sve u svemu, kompost je ključni faktor za postizanje održivosti u našim sustavima upravljanja otpadom i zemljištem.

Njegova integracija u poljoprivredu, hortikulturu, urbano planiranje i ekološku restauraciju može značajno doprinijeti očuvanju prirodnih resursa, smanjenju ekološkog utjecaja ljudskih aktivnosti i promicanju zdravijeg načina života za buduće generacije. Kroz strategije koje potiču kompostiranje, možemo osigurati da naš planet ostane održiv i plodan za generacije koje dolaze, čineći kompostiranje esencijalnim dijelom globalnog napora za očuvanje okoliša, a čini ga neprocjenjivim resursom u uspostavljanju održivih poljoprivrednih i urbanih praksi. Na slici 17 prikazan je kompost.[10,12]



Slika 17. Kompost

## 12. Opis procesa kompostiranja u tvrtki Komunalac d.o.o.

U malenom prigradskom naselju Herešin nalazi se kompostana tvrtke Komunalac d.o.o. a kako izgleda vidimo na slici 18.

Otvorena je 2021. godine a sama investicija koštala je 14,3 milijuna kuna. U kompostani u kojoj su smještene dvije proizvodne hale i skladišni prostor proizvodi se kompost DomKo u kontroliranim uvjetima u vremenu od šest do osam tjedana, a do sada se proizvodio u trajanju od 6 mjeseci. Primijenjena je najsuvremenija tehnologija razvijena u kompaniji Tehnix zajedno s Akademijom tehničkih znanosti i stručnjacima u Republici Hrvatskoj. U sklopu hale smješten je i laboratorij za praćenje samog procesa kompostiranja. Ugrađene su dvije sabirne jame za tehničke vode, a napravljena je i recirkulacija vode za daljnje zalijevanje.



Slika 18. Kompostana

Sam proces kompostiranja počinje na samom ulazu u kompostanu Herešin (prikazano na slici br. 18). Vozilom kojim ste dovezli otpad stanete na vagu te se upisujete i prijavljujete koju ste vrstu otpada dovezli kako bi se on mogao sortirati



Slika 18. Ulaz u kompostanu

Nakon toga vas upute gdje se može istovariti otpad. Otpad se ne miješa odmah nego se sortira. Sječka ide na jednu stranu dok trava i ostali komunalni bio otpad se odlaže na posebnu hrpu. U kompostani postoji stroj koji melje sječku na određenu veličinu kako bi bila spremna za kompostiranje. Stroj za usitnjavanje je prikazan na slici br. 19. Važno je napomenuti da se u kompost stavlja 20% sječke, 20% trave i lišća te 60% komunalnog biootpada. Upravo ovaj omjer je najbolji za kompostiranje jer dolazi dovoljno zraka a opet temperatura i mikroorganizmi odrade svoje.



Slika 19. Stroj za usitnjavanje

Nakon pripreme kompostne mase ona se odvozi u kompostne hale gdje se formiraju kompostne hrpe. Važno je za napomenuti da se u kompostani nalaze nepropusni podovi kako štetna voda ne bi završila u tlu. Također otišli su korak unaprijed te sakupljaju kišnicu u podzemne prostore te ju aeriraju i ponovno koriste u upotrebi komposta. Sam proces kompostiranja od početka do kraja procesa traje otprilike 2 mjeseca, sve ovisi o godišnjem dobu. Kada su temperature veće tada je i proces kompostiranja brži, a kada su niže tada i proces traje duže. Na slici 20 prikazano je mjesto gdje se sakuplja kišnica.



Slika 20. Mjesto za sakupljanje kišnice

Nakon formiranja kompostnih hrpa stavlja se temperature sonde na početak, sredinu i kraj kompostne hrpe. Jedan od ključnih parametara za dobar kompost je temperatura. Te sonde su spojene na računalo te se prati proces. Temperatura fermentacije je oko 70°C. Kada dođe do te temperature tada se kreće u sljedeći korak a to je preokretanje. Prikaz stroja za preokretanje vidimo na slici br. 21. Za to imaju jedan stroj koji se vozi iznad hrpe te ju preokreće. Važno je napomenuti da nakon prvog okretanja kompostne hrpe, dodaju se mikroorganizmi.



Slika 21. Preokretač kompostnih hrpa

Dodavanjem mikroorganizama ubrzujemo sam proces.

U kompostani Herešin dodaju proizvod imena Eko EM Plus. To je otopina koja je dobivena aktivacijom originalne kulture efektivnih mikroorganizama u melasi i vodi. Ta otopina je blago kiselog mirisa i okusa te zlatnosmeđe boje. Ono što je važno napomenuti da je ta otopina prirodna i da mikroorganizmi nisu genetski modificirani. Također bezopasni su za biljke, životinje i ljude te ga ne treba posebno označavati. Koristi se za obradu otpadnih voda, obradu mulja, obradu komunalnog otpada, kompostiranje bio otpada te za neutralizaciju neugodnih mirisa pošto kompost u fermentaciji ima dosta neugodan miris. Otopina se sastoji od bakterija mliječnih kiselina, kvasci, bakterija, fotosintetskih bakterija, melasa otopljena u vodi te drugih prirodnih mikroorganizama.

Za dobar kompost važno je da se prate parametri. Obzirom da je postrojenje na otvorenom, vrlo je važno da u određenom godišnjem dobu pristupamo kakvo je i vrijeme. U ljetnim mjesecima dolazi suhi kompost, stoga mu moram dati vode inače fermentacija neće odraditi. Također u jesenskim mjesecima moramo malo ocjediti kompostnu masu jer nije dobro ako je puna vode. Prati se temperatura preko temperaturnih sonde, a iskusni operateri već na oko znaju šta im nedostaje.

Vrlo je zanimljivo isparavanje iz kompostnih hrpa te koju toplina izlazi iz njih. Ali da je kompostiranje ide u dobrom toku pokazuju gljive koje počnu rasti po kompostnim hrpama.



Nakon 2 mjeseca kada je kompostiranje završeno, sav materijal se odvozi u boksove kako bi se uklonile bakterije. Vrlo je zanimljivo da u tim boksovima mikroorganizmi i dalje rade jer sam kompost ima dosta topline. Na slici br. 22 vidimo hrpe komposta koje su spremljene u halama za dozrijevanje.



Slika 22. Kompost na dozrijevanju

Nakon što se u boksovima očisti od štetnih bakterija, kompostni materijal se mora prosijati. To se radi u stroju za prosijavanje komposta i odvajanje ne kompostiranih tvari kao što su deblje grane stabla koje ne mogu se kompostirati u 2 mjeseca. Stroj za prosijavanje prikazan je na slici br. 24. Ali te tvari koje sito odvaja se ne bacaju nego se opet miješaju u kompostne hrpe i ponovo iskorištavaju. Nakon prosijavanja dobivamo gotov kompost koji se može i vani skladištiti. Prikaz takvih kompostnih hrpa vidimo na slici br. 23.



Slika br. 23. Kompostne hrpe



Slika 24. Stroj za prosijavanje kompostnih hrpa

Potrebno je napomenuti da se u spomenutoj kompostani radi kompost 1. klase. Godišnje se proizvede oko 9000 tona komposta, koliko je i kapacitet samo kompostane. Nakon što je

kompost gotov, on se šalje ovlaštenoj organizaciji na analizu. U Herešinu oni šalju na Agronomski fakultet koji im radi analize. Također sam Komunalac se trudi da svaki građanin može dobiti i kupiti kompost kada kod želi. Ako sami dovedete bio otpad, tada zauzvrat možete podignuti kompost, ovisno koliko ste toga dovezli, ali to je super inicijativa za sakupljanje bio otpada.

Zanimljiva je informacija da kompost sprečava rast korova te da unosi potrebne minerale i spojeve u zemlju. Na slici br. 25. vidimo razliku između zemlje i komposta – kompost je tamnije boje.



Slika 25. Usporedba komposta i zemlje

### **13. Zaključak**

Kompostiranje predstavlja jedan od najučinkovitijih i ekološki najprihvatljivijih načina upravljanja organskim otpadom, pružajući brojne koristi u kontekstu održivog razvoja. Kroz proces kompostiranja smanjuje se količina otpada koji završava na odlagalištima, a pritom se proizvodi bogat i hranjiv kompost koji poboljšava kvalitetu tla i podržava rast biljaka. U okviru ove diplomske radnje istražili smo različite aspekte kompostiranja, uključujući kućne, industrijske i inovativne metode kao što je bokashi kompostiranje. Analizom je pokazano da svaka metoda kompostiranja nudi jedinstvene prednosti i izazove. Kućno kompostiranje omogućava individualizirani pristup obradi otpada i izravnu primjenu u vrtlarstvu, dok industrijsko kompostiranje pruža rješenja za obradu velikih količina otpada, značajno smanjujući ekološki otisak zajednica. Bokashi kompostiranje ističe se svojom prilagodbom urbanom načinu života, omogućujući fermentaciju šireg spektra otpada unutar domaćinstva. Ključni dio rada bio je naglasiti važnost mikrobioloških procesa u kompostiranju, koji omogućavaju razgradnju organskog materijala i osiguravaju sanitarni i nutritivni sigurnosni profil konačnog komposta. Efikasnost ovih procesa ovisi o optimizaciji uvjeta unutar kompostne hrpe ili sustava, uključujući temperaturu, vlažnost i prozračnost. Unatoč brojnim prednostima, kompostiranje se suočava s rizicima kao što su kontaminacija, neugodni mirisi i tehnološki izazovi. Međutim, pravilno upravljanje, redovita kontrola i edukacija korisnika omogućavaju minimiziranje tih rizika i povećanje koristi. Kompostiranje se ističe kao ključna praksa u globalnim naporima za održivost, pružajući ekološke, ekonomske i društvene benefite. Buduće inicijative trebale bi se usmjeriti na daljnje istraživanje i razvoj novih tehnologija kompostiranja, kao i na širenje svijesti o važnosti odgovornog upravljanja otpadom među širim slojevima društva. Primjerom kompostane tvrtke Komunalac d.o.o. možemo vidjeti kako na sustavan način rada donosi kompost prve klase. U tom procesu prati se nekoliko parametara kao što je temperatura i zrak. Važno je napomenuti da kompost ima pristupačnu cijenu i da je dostupan svima. Benefit od njega je vrlo veliki. Uvođenje kompostiranja u šire okvire održivog planiranja i obrazovanja može značajno doprinijeti očuvanju resursa planeta za buduće generacije.

## Literatura

1. Diaz, L. F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, w., (Eds) Compost Science and technology, Elsevier, Amsterdam, 2007
2. Kisić I., Uvod u ekološku poljoprivredu, Zagreb, 2014
3. Herceg N., Okoliš i održivi razvoj, Zagreb, 2013
4. Pokos Nemeć, Valerija. "Kompostiranje i biljna gnojiva." *Glasnik zaštite bilja* 34.5 (2011):
5. Kostović-Vranješ, Vesna, Mila Bulić, and Daniela Novoselić. "Izvanastavna aktivnost „kompostiranje“ u promicanju obrazovanja za održivi razvoj." *Školski vjesnik: časopis za pedagoški teoriju i praksu* 65.Tematski broj (2016)
6. Sabljarić, Violeta. "Kompostiranje otpada biljnog podrijetla." *Polimeri: časopis za plastiku i gumu* 26.3 (2005): 134-134.
7. Pavlović, Tamara : „Biotpad kao posebna kategorija otpada“, Završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2021
8. Jukić, Petra,: „Ko-kompostiranje biootpada i mulja“, Sveučilište u Zagrebu, 2020
9. Briški F., Gomzi Z., Hublin A., Vuković M. (2003) Aerobno kompostiranje otpadaka voća i povrća: modeliranje procesa. *Kemija u industriji*
10. Duš, Lorena,: „Kućno kompostiranje biootpadom-najstariji način recikliranja“, Sveučilište Sjever, 2022
11. Epstein, Eliot. *Znanost o kompostiranju*. CRC tisak, 2017.
12. Ayilara, Modupe Stella, et al. "Gospodarenje otpadom kroz kompostiranje: izazovi i potencijali." *Održivost* 12.11 (2020): 4456.
13. Finstein, Melvin S. i Merry L. Morris. "Mikrobiologija kompostiranja čvrstog komunalnog otpada." *Napredak u primijenjenoj mikrobiologiji* 19 (1975): 113-151.
14. Cerda, Alejandra, et al. "Kompostiranje otpada od hrane: status i izazovi." *Tehnologija bioresursa* 248 (2018): 57-67.
15. Pergola, Maria, et al. "Kompostiranje: Put za održivu poljoprivredu." *Primijenjena ekologija tla* 123 (2018): 744-750.
16. Ren, Xiaoya, et al. "Potencijalni utjecaj na biorazgradnju organskih zagađivača iz tehnologije kompostiranja za sanaciju tla." *Gospodarenje otpadom* 72 (2018): 138-149.

17. Hadelan, Lari, et al. "Kompostiranje kao sastavnica kružnog gospodarstva: iskustva Kompostane Herešin." *Agroeconomia Croatica* 14.1 (2024): 124-137.



SVEUČILIŠTE  
SJEVER



### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Nikola Posavec (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Kompozicije u prirodi kompozitor u turističkom (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Posavec Nikola  
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.

# Posavec Nikola

## Diplomski rad

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  University North

### Document Details

Submission ID  
trn:oid::1:2997827670

Submission Date  
Sep 4, 2024, 9:32 AM GM T+2

Download Date  
Sep 4, 2024, 9:33 AM GM T+2

File Name  
Diplomski\_rad-Nikola\_Posavec.docx

File Size  
6.0 MB

54 Pages

11,167 Words

67,576 Characters



Page 1 of 58 - Cover Page

Submission ID (trn:oid::1:2997827670)



Page 2 of 58 - Integrity Overview

Submission ID (trn:oid::1:2997827670)

## 4% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

### Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 8 words)

### Top Sources

- 4%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

### Integrity Flags

#### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.