

# Mikrobiološka analiza komposta

---

**Martić, Gabrijela**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:259569>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-21**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Gabrijela Martić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**MIKROBIOLOŠKA ANALIZA KOMPOSTA**  
**Diplomski rad**

**Osijek, 2022.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKI ZNANOSTI OSIJEK

Gabrijela Martić

Diplomski studij Ekološka poljoprivreda

**MIKROBIOLOŠKA ANALIZA KOMPOSTA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Brigita Popović, predsjednik
2. prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić, mentor
3. prof. dr. sc. Irena Rapčan, član

**Osijek, 2022.**

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Pregled literature .....	3
2.1. Kompost .....	3
2.1.1. Proces kompostiranja .....	5
2.1.3. Kompostni materijali.....	13
2.1.4. Sustavi za provođenje procesa kompostiranja.....	15
2.1.5. Promjene u procesu kompostiranja .....	17
2.1.6. Stabilnost komposta .....	18
2.2. Mikroorganizmi u kompostu.....	19
2.2.1. Bakterije .....	20
2.2.3. Gljive.....	22
2.2.4. Arheje.....	23
3. Materijali i metode .....	24
3.1 Kompost .....	24
4. Rezultati .....	25
5. Rasprava.....	28
6. Zaključak.....	31
7. Popis literature .....	32
8. Sažetak .....	40
9. Summary .....	41
10. Popis tablica .....	42
11. Popis slika .....	43
TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA .....	44
BASIC DOCUMENTATION CARD .....	45

## 1. Uvod

Povećana industrijalizacija i rast stanovništva rezultat je sve većeg nakupljanja otpada. Odlaganje otpada ima velik utjecaj na zdravlje ljudi, ali i na onečišćenje okoliša. U skorije vrijeme vrlo česti termini koji se pojavljuju jesu globalna zatopljenja te staklenički plinovi. Na ovu problematiku dakako je utjecalo povećanje otpada. Jedno od mjesta s kojih se staklenički plinovi na dnevnoj bazi ispuštaju u atmosferu su odlagališta. Europska direktiva o odlagalištima ističe da je potrebno smanjiti otpad na odlagalištima za 35 % do 2020. godine za zemlje članice (Direktiva 1999/31/EC.). Prijetnju u borbi protiv klimatskih promjena predstavlja upravo metan koji se ispušta u atmosferu s odlagališta, jer u odnosu na ugljikov dioksid skladišti i do 100 puta više topline (Shindell i sur., 2009.). Jednom otpuštena toplina u atmosferu svojim zagrijavanjem doprinosi topljenju ledenjaka i povećanju razine mora (Uredba EU 2018/841).

Osim otpada koji značajno utječe na onečišćenje okoliša, ali i na zdravlje ljudi, važno je spomenuti i poljoprivredu. Konvencionalni način poljoprivredne proizvodnje uključuje korištenje proizvoda na bazi kemikalija, poput mineralnih gnojiva i zaštitnih sredstava. Njihova primjena je poljoprivrednicima omogućila postizanje visokih prinosa, ali dugotrajna primjena dovela je do niza negativnih posljedica. Štetne posljedice uporabe mineralnih gnojiva dovode do nakupljanja teških metala u tlu, zakiseljavanja tla, smanjenja humusa što dovodi do smanjenja plodnosti tla, smanjenja hraniva, smanjenja brojnosti mikroorganizama u tlu pa sve do erozije, ali i do povećanja štetnih tvari u zraku i oštećenja ozonskog omotača (Sekulić i sur., 2003.). Uslijed direktnih i indirektnih posljedica primjene mineralnih gnojiva došlo je do sve većeg rasta ekološke poljoprivredne proizvodnje (Kisić, 2014.). Ekološka poljoprivreda svojim načinom proizvodnje te zakonima i pravilnicima nastoji smanjiti onečišćenje okoliša, ali i količinu otpada na efikasan i koristan način. Naime, poljoprivreda svojom proizvodnjom stvara velike količine otpada u vidu slame, grančica drveća, lišća i slično kojim valja kvalitetno gospodariti. Jedan od rješenja za komunalni otpad, ali i otpad nastao poljoprivrednom proizvodnjom je kompostiranje.

Prema Pravilniku o nusproizvodima i ukidanju statusa otpada (Narodne novine, 1994.) kompostiranje je tehnološki proces gospodarenja otpadom pri čemu se pomoću mikroorganizama u aerobnim uvjetima obrađuje i stabilizira biološki razgradivi otpad uz razvoj topline. Proces truljenja biološki razgradivog otpada, to jest kada je riječ o biološkoj

razgradnji otpada kojom se ne upravlja, ne smatra se kompostiranjem (Narodne novine 1994.).

Važnu ulogu u procesu kompostiranja imaju mikroorganizmi čija uloga je važna od samog početka kompostiranja pa do kraja, ali i nakon procesa kompostiranja. Drugim riječima oni imaju ulogu razgradnje organskog otpada. Važno je napomenuti kako je veliki broj termofilnih, termotolerantnih, mezofilnih aerobnih mikroorganizama, uključujući bakterije, gljive, aktinomicete, uočen u kompostima kao i drugim samozagrijavajućim organskim materijalima (Barrena i sur., 2011.). Veliki utjecaj na raznolikost mikroorganizama unutar komposta imaju abiotički čimbenici.

Cilj ovog istraživanja je odrediti broj gljiva, aktinomiceta, mezofilnih bakterija, aminoheterotrofa i asimbiotskih fiksatora dušika u uzorcima komposta.

## **2. Pregled literature**

### **2.1. Kompost**

Kompost predstavlja organsko gnojivo koje nastaje kontroliranom oksidativnom mikrobiološkom razgradnjom različitih smjesa kao što su biljni ostatci, koji mogu biti pomiješani sa stajskim gnojivima i životinjskim ostacima, ili mineralnim dodacima (Lončarić i sur., 2015.).

Velike količine otpada se proizvedu u suvremenom društvu, a njegova proizvodnja i zbrinjavanje predstavljaju veliki ekološki, socijalni i ekonomski problem (Castaldi i sur., 2008.). Proizvodnja i zbrinjavanje komunalnog otpada rastu uključujući i organski otpad, dok se iz tla organske tvari progresivno gube zbog intenzivnog uzgoja i klimatskih uvjeta. Recikliranje organskog otpada kroz proces kompostiranja te njegova primjena na poljoprivrednim površinama omogućuje obogaćivanje tla kompostom, što predstavlja korisnu alternativu spaljivanju otpada ili deponijama smeća (Massiani i Domeizel, 1996.). Recikliranjem organskog otpada u poljoprivredi nakon odgovarajuće biološke obrade može se proizvesti vrijedna organska tvar koja može biti od velikog interesa zemljama u kojima prevladavaju tla s nedostatkom hranjivih tvari (Canet i Pomares 1995.; Hassen i sur., 2001.). Izvještaji su pokazali da je primjena komposta od krutog komunalnog otpada u poljoprivrednoj proizvodnji poboljšala fizikalno-kemijska svojstva tla, povećava zadržavanje vode kao i poboljšala prinose usjeva (Ghaly i Alkokaik, 2010.). Nadalje, pri tome se osigurava stabilizacija organske tvari i sanitacija otpada (Bernal i sur., 1998.). Kompost se, dakle, koristi za poboljšanje i održavanje kvalitete tla, a jedan je od najboljih prirodnih materijala za malčiranje i dopunu tla, te se može koristiti kao zamjena za komercijalna gnojiva (Epstein, 1997.). Veeken i Hameleres (2002.) ističu da je kompostiranje organskog i komunalnog otpada ekološki i ekonomski prihvatljivo rješenje.

Za kompostiranje se može koristiti niz bioloških otpada koji uključuju čvrsti komunalni otpad, te životinjski i ljudski izmet (Tiquia, 2005.). Tijekom kompostiranja organska tvar se djelovanjem mikroorganizama i njihovih enzima pretvara u humusom bogat proizvod (Vargas-Garcia i sur., 2010.). Mikroorganizmi i njihovi enzimi koje izlučuju imaju ključnu ulogu u biološkim i biokemijskim transformacijama kompostnog materijala u procesu kompostiranja. Enzimi mikroorganizama imaju sposobnost razgradnje složenih organskih

molekula u jednostavnije spojeve topive u vodi koji se sastoje malih molekula (Castaldi i sur., 2008.). Stoga, kroz karakterizaciju mikroorganizama duž procesa kompostiranja mogu se dobiti važne informacije poput razvoja procesa, stopa biorazgradnje i u konačnici zrelost proizvoda (Ryckeboer i sur., 2003.).

Proces kompostiranja zahtjeva odgovarajuće uvjete temperature, pH, vlage i hranjivih tvari kako bi se omogućio adekvatan razvoj mikroorganizama (De Bertoldi, 1992.). Stoga će promjene tih uvjeta tijekom procesa utjecati na proliferaciju određene mikroflore, koja ima različite enzimske aktivnosti, koje kontroliraju organsku degradaciju tvari (Garcia-Gómez i sur., 2003.). Općenito, većina studija o kompostiranju usredotočena je na fizikalno-kemijske parametre za procjenu razvoja procesa komposta i njegove kvalitete (Said-Pullicino i sur., 2007.; Albrecht i sur., 2008.). Međutim, za mikrobiološke i biokemijske parametre se nedavno pokazalo da su također dobri pokazatelji za karakterizacije procesa kompostiranja (Raut i sur., 2008.; Vargas-Garcia i sur., 2010.; Liu i sur., 2011.)

Kompostiranje predstavlja unosni dio poljoprivredne biotehnologije, a prema tome je osnovni cilj upravljanje poljoprivrednim otpadom, smanjenje količine otpada što rezultira smanjenjem zagađenja životne sredine uz poboljšane metode recikliranja supstrata (Modupe i sur., 2020.).

Prema Glouke i sur. (2007.), kompost (Slika 1.) se može definirati kao stabilni i dezinficirani produkt procesa kompostiranja, a koji je kompatibilan i koristan za biljke. Također, ističu da se velik broj pridjeva koristi za kompost, no samo su neki od njih ispravni, kao što su aerobni, čvrsti, higijenski i kvalitetni dok anaerobno, tekuće stanje, treba izbjegavati.



Slika 1. Kompost

Izvor: <https://www.bhg.com/gardening/yard/compost/how-to-compost/>



### 2.1.1. Proces kompostiranja

Proces kompostiranja predstavlja razgradnju složenih organskih tvari pomoću mikrobnih zajednica pri različitim temperaturama. Prema tome, kompostiranje se može podijeliti u nekoliko faza, a to su (Golueke i sur., 2007.):

- Mezofilna faza (25-40 °C )
- Termofilna faza (36-65 °C)
- Mezofilna faza
- Faza zrenja

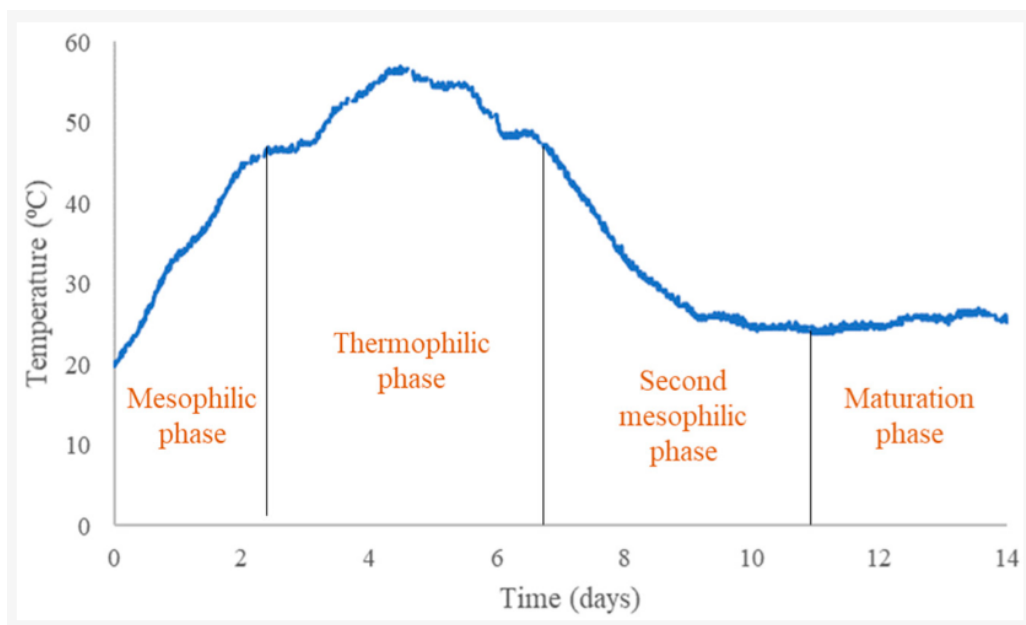
Mezofilna faza (Slika 2.) se naziva još i početna faza koja traje tri dana, jer se već nakon trećeg dana razvija temperatura iznad 40 °C (Lončarić i sur., 2015.). Metabolička aktivnost različitih mikroorganizama rezultira povećanje temperature, jer ti mikrobi koriste prisutne lako razgradive spojeve poput šećera i škroba za energiju i svoj rast (Amrit i sur., 2021.). Kroz ovu fazu dominiraju mezofilne i/ili termotolerante bakterije i gljive koji su aktivni razgrađivači svježih organskih tvari, pri temperaturama od 20-40 °C (Ryckeboer i sur., 2003.). Mikroorganizmi razgrađuju topljive i lako razgradive spojeve ugljika, što rezultira padom pH vrijednosti zbog nastalih organskih kiselina (Beffa i sur., 1996.). S druge strane, amonifikacija uzrokuje povećanje pH vrijednosti što će povoljno djelovati na veću brojnost bakterija u odnosu na gljive (Gray i sur., 1971.). Bakterije su nutritivno najraznovrsnija skupina kompostnih mikroorganizama, koje koriste širok raspon enzima za kemijsku razgradnju organskih materijala (Ryckeboer i sur., 2003.). Prema tome bakterije su odgovorne za većinu početne razgradnje i stvaranja topline u kompostu. Povećanje temperature u kompostnoj masi rezultira prelaskom bakterija iz aktivnog stanja u endospore, a one im omogućuju otpornost na povišenu temperaturu, UV zračenje, kemikalije, te povratak u aktivno stanje nakon termofilne faze (Diaz i sur., 2007.). Prema Golueke i sur. (2007.), različite kompostne sirovine utječu na različit raspon pH vrijednosti kompostne hrpe, pa prema tome u ovoj fazi sudjeluju različite vrste mikroorganizama čija je i brojnost veća od termofilne faze. Široki raspon prokariota proizvodi enzim amilazu koji omogućuje razgradnju škroba što je važno tijekom početne faze kompostiranja (Fagan i Fergus, 1984.).

Tijekom termofilne faze (Slika 2.) temperature u kompostnoj masi se kreću od 35-65 °C (Golueke i sur., 2007.). U usporedbi s početnom mezofilnom fazom u termofilnoj fazi

razgradnja je ubrzana. Mezofilni mikroorganizmi se inaktiviraju ili ugibaju tijekom početne termofilne faze, dok se broj i raznolikost vrsta termofilnih i/ili termotolerantnih bakterija, gljiva, aktinomiceta povećavaju (Beffa i sur., 1996.). Ukupna raznolikost bakterijskih vrsta značajno opada tijekom termofilne faze, a tipične bakterije koje su aktivne pri temperaturama od 50 do 60 °C su bakterije koje stvaraju endospore npr. *Bacillus* sp. (Herrmann i Shann, 1997.). Proces razgradnje pri temperaturama većim od 60 °C provode termofine bakterije, a bakterije kao što su *Hydrogenobacter* spp. i *Thermus* spp. su dominantni aktivni razgrađivači u kompostima na temperaturama iznad 70 °C, čak i do 82 °C (Beffa i sur., 1996.; Blanc i sur., 1999.). Neke od termofilnih bakterija koje se javljaju tijekom ove faze su *Micromonospora* sp., *Nocardia* sp., *Pseudonocardia* sp., *Symbiobacterium* sp., *Thermocrispum* sp. (Ryckeboer i sur., 2003.). Aktinomicete u hrpi se natječu s drugim organizmima za hranjive tvari i mogu inhibirati njihov rast proizvodnjom antibiotika ili proizvodnjom litičkih enzima (Ryckeboer i sur., 2003.). Oni imaju važnu ulogu u kompostiranju, jer razgrađuju prirodne polimere i koloniziraju organski materijal nakon što bakterije i gljive potroše lako razgradive tvari, a njihovi enzimi također omogućuju razgradnju čvrstih ostataka kao što su drvenaste stabljike, kora, novine i slično (Beffa i sur., 1996.). Hardy i Sivasithamparam (1989.) izvještavaju da su celuloza i hemiceluloza iz biljnih ostataka, hitin iz gljivica, te lignin i humus njihov izvor ugljika i dušika. Aktinomicete u nepovoljnim uvjetima ove faze preživljavaju kao spore (Cross, 1968.). Termofilne gljive u ovoj fazi su važne zbog razgradnje celuloze i lignina, optimalna temperatura za razvoj ovih gljiva je od 40 do 50 °C, a što je također optimalna temperatura za razgradnju lignina (Sharma, 1989.). Temperatura je jedan od najvažnijih čimbenika koji utječu na razvoj gljiva, naime većina ih je mezofilna s optimalnom temperaturom 25-30 °C (Godden i sur., 1992.). Finstein i Morris (1975.) izvještavaju kako je maksimalna temperatura za razvoj gljiva od 60 do 62 °C, a dok su pri temperaturama višim od 60 °C gljive ubijene ili prisutne u obliku spora. Gljive koje se javljaju tijekom ove faze su *Aspergillus* sp., *Mucor* sp., *Macrosporium* sp., *Monilia* sp., *Pencillium* sp. (Ryckeboer i sur., 2003.). Kvasci nestaju tijekom termofilne faze kompostiranja, ali kada se temperatura spusti na 54 °C, mogu se ponovno pronaći (Choi i Park, 1998.; Ryckeboer i sur., 2003.). Visoke temperature omogućuju uništavanje patogenih mikroorganizama, sjemena korova i jajašaca kukaca, ali ako je temperatura iznad 60-65 °C, dolazi do odumiranja i korisnih mikroorganizama te je tada potrebna aeracija (Lončarić i sur., 2015.). Često kompostne hrpe mogu postići i temperature iznad 80 °C čiji porast nije rezultat mikrobne aktivnosti, već je posljedica egzotermnih reakcija u kojima sudjeluju temperaturno stabilni enzimi autokataliziranih aktinomiceta (Diaz i sur., 1989.).

Temperatura u kompostu nije uvijek jednaka u svim dijelovima komposta pa je vrlo važno redovito miješanje, zbog čega se osigurava dovođenje svakog dijela supstrata u centralni dio gdje je temperatura najviša (Golueke i sur., 2007.). No, kada je riječ o mikroorganizmima, u kompostima se razlikuju četiri zone, a to su vanjska zona koja je najhladnija i dobro opskrbljena kisikom, zatim unutarnja zona koja je slabo opskrbljena kisikom, donja zona gdje je temperatura visoka i gdje je dobra opskrba kisikom, a dok je gornja zona najtoplija i uglavnom dobro opskrbljena kisikom (Ryckeboer i sur., 2003.).

Druga mezofilna faza ili faza hlađenja (Slika 2.) nastaje kada aktivnost termofilnih mikroorganizama prestane zbog iscrpljenosti supstrata, a temperatura počinje opadati. U ovoj fazi dolazi do ponovne aktivnosti mezofilnih mikroorganizama, pri temperaturi od 40 °C (Diaz i sur., 2007.). Bakterije se iz endospora vraćaju u svoj aktivni oblik, a s njima se i mikroorganizmi s rubnih dijelova kompostne mase vraćaju u unutrašnji izvor (Diaz i sur., 2007.). Tijekom ove faze se odvijaju dugotrajni procesi razgradnje lignina i drugih rezistentnih komponenti, te se tako stvaraju stabilne komponente humusa (Lončarić i sur., 2015.). Beffa i sur. (1996.) navode da tijekom ove faze dolazi do opadanja kvalitete supstrata, dok se sastav mikrobne zajednice u nekoliko navrata u potpunosti mijenja. Također, brojnost gljiva raste, dok brojnost bakterija opada. U ovoj fazi nastaju spojevi koji nisu dalje razgradivi poput lignin - humus kompleksa, te oni prevladavaju (Diaz i sur., 2007.).



Slika 2. Prikaz glavnih faza tijekom procesa kompostiranja

Izvor: Sokač i sur., (2022.): Application of Optimization and Modeling for the Enhancement of Composting Processes. Processes

Trajanje pojedinih faza ovisi o sastavu supstrata i sustavu u kojem se provodi proces kompostiranja. Prvi stupanj zrelosti utvrđuje se izgledom i mirisom, a ako se u dubini komposta ne mogu prepoznati početne tvari od kojih je kompost napravljen kao i kada masa postigne ujednačen izgled, i tamne boje, a miris poprimi tipičan za šumsko tlo, proces je gotov (Funtak, 2016.).

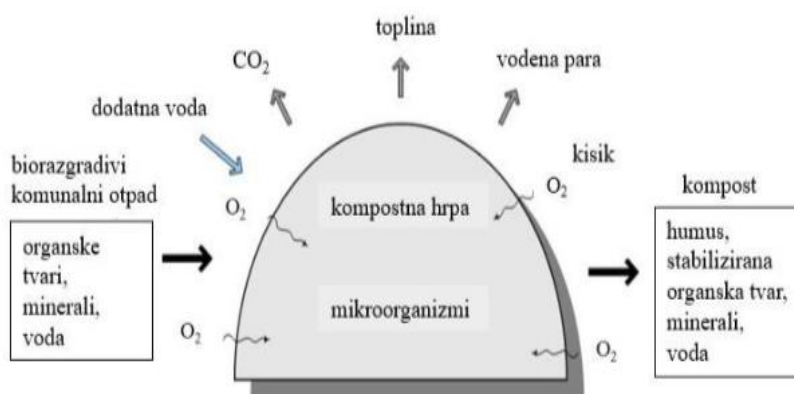
### 2.1.2. Čimbenici koji utječu na proces kompostiranja

U kompostiranju (Slika 3.) kao biološkom procesu mikroorganizmi imaju ključnu ulogu, stoga treba uzeti u obzir čimbenike koji utječu na njihov rast i razmnožavanje (Amrit i sur., 2021.). Čimbenici koji su važni za rast i razmnožavanje mikroorganizama ujedno su važni i za tijek procesa kompostiranja. Naime, ti čimbenici mogu biti i limitirajući za sam proces, a kasnije i kvalitetu samog procesa. Ti čimbenici se odnose na aeriranost, C/N odnos, vlažnost, pH reakciju, temperaturu, fizikalna svojstva (poroznost, struktura, homogenost, tekstura) (Lončarić i sur., 2015.). Kako bi proces kompostiranja bio što uspješniji, važno je ove čimbenike održavati u optimalnim rasponima (Tablica 1.).

Tablica 1. Čimbenici koji utječu na proces kompostiranja

Čimbenici	Prihvatljivi raspon	Optimalni raspon
Sadržaj vlage	40-65 %	50-60 %
C/N odnos	20:1 40:1	25:1 30:1
Koncentracija kisika	>5 %	>10 %
pH	5,5-9,0	6,5-8,0
Temperatura	40-65 °C	55-60 °C

Izvor: Lončarić i sur. (2015.): Gnojidba povrća, organska gnojiva i kompostiranje. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.



Slika 3. Prikaz procesa kompostiranja

Izvor: <http://docplayer.rs/docs-images/114/211919637/images/22-0.jpg>

#### 2.1.2.1. C/N omjer

C/N odnos predstavlja odnos ugljika i dušika koji značajno utječe na intenzitet kompostiranja. Naime, širok C/N odnos, to jest nedostatak dušika produžuje proces kompostiranja, a uzak C/N, odnosno nedostatak ugljika onemogućuje stabilizaciju dušika što će rezultirati značajne gubitke u amonijskom obliku (Lončarić i sur., 2015.).

Za aktivnost mikroorganizama tijekom procesa razgradnje potrebne su im hranjive tvari poput ugljika i dušika, te fosfora i kalija u tragovima. Dobivanje potrebne energije za rast mikroorganizma potrebno je i do 25 puta više ugljika nego dušika, a dok je dušik potreban za bjelančevine (Rynk i sur., 1992.). Jedan od najvažnijih pokazatelja ravnoteže hranjivih tvari upravo je C/N odnos. Početni C/N odnos kompostne smjese je 25:1-30:1, dok je prihvatljivi raspon 20:1-40:1 (Lončarić i sur., 2015.). Kada je riječ o širokom C/N odnosu 50:1, proces kompostiranja je znatno duži sve dok mikroorganizmi ne potroše sav suvišni ugljik, a pri užim odnosima 20:1 raspoloživi ugljik će biti potrošen bez potpune stabilizacije dušika pri čemu će biti povećani gubitci dušika u amonijskom obliku (Rynk i sur., 1992.).

Potrebno je voditi računa o brzini razgradnje organskog ugljika. Tijekom procesa kompostiranja najbrže se razgrađuju šećeri iz svježih biljnih ostataka kao što su na primjer ostaci voća i povrća (Lončarić i sur., 2015.). Udio ovakvih kompostni tvoriva mogu imati utjecaj na gubitak dušika što će utjecati na uski C/N odnos (Lončarić i sur., 2015.). U procesu kompostiranja sporije se razgrađuje celuloza, to jest slama, a najsporija razgradnja je drvenastih materijala zbog lignina (Rynk i sur., 1992.). U tablici 2 su prikazani primjeri izvora ugljika i dušika.

Tablica 2. Izvori ugljika i dušika

Izvori			
C/N odnos (izvori bogati ugljikom)		C/N odnos (izvori bogati dušikom)	
Karton	200-500	Ostatci hrane	15-25
Lišće	30-80	Ostatci trave	15-25
Novine	560	Kravlji gnoj	20
Piljevina	100-230	Svinjski gnoj	5-7
Zob, ražena slama	70-90	Stajsko gnojivo	5-10
Pšenična slama	140-150	Vrtni ostatci	20-60
Iverica	200-700	Talog kave	20

Izvor: Sherman, 2016. The Composting Process. Akademski članci.

### 2.1.2.2. Kisik

Kisik je jedan od najznačajnijih čimbenika u procesu kompostiranja, a njegov sadržaj uvjetovan je tehnologijom i sustavom provođenja procesa (Diaz i sur., 2007.). Aeracija je neophodna za aerobne procese u kompostnoj hrpi, a ona može biti prirodna, pasivna ili prisilna (Boutler i sur., 2000.). Smoljko (2009.) izvještava da je prirodna aeracija kada temperatura u sredini hrpe viša od temperature okoliša, pa se zrak gubi uvis zbog čega se stvara podtlak koji usisava zrak na bočnim stranama hrpe. Kada je riječ o prisilnoj, tada se razlikuje pozitivna i negativna aeracija (Smoljko, 2009.). Pozitivna prisilna aeracija predstavlja upuhivanje zraka kroz ventilatore perforirane cijevi na dnu hrpe, a dok se negativna prisilna aeracija odnosi na vakuum crpku koja crpi zrak iz hrpe i tako uvlači zrak iz okoline kroz površinu hrpe (Diaz i sur., 2007.). Minimalna koncentracija kisika je 5 %, a ukoliko je ona ispod ove vrijednosti, tada dolazi do stvaranja anaerobnih uvjeta što je rezultat smanjenja mikrobne aktivnosti (Diaz i sur., 2007.). Optimalna koncentracija kisika je iznad 10 % kako bi se unutar kompostne hrpe održali aerobni uvjeti, a samim time i potrebna mikrobna aktivnost (Lonačarić i sur., 2015.). Međutim, visoke koncentracije kisika u kompostnim hrapama su nepovoljne, jer dovode do isušivanja kompostne hrpe (Boutler i sur., 2000.). U kompostnoj hrpi zrak se nalazi u međuprostorima, a zbog mikrobne aktivnosti mijenja se njegova razina to jest, koncentracija ugljikovog dioksida se povećava, dok se koncentracija kisika smanjuje (Diaz i sur., 2007.). Kako je već spomenuto u tekstu, tijekom početnih faza kompostiranja razgrađuju se šećeri zbog čega je važno održavati optimalnu koncentraciju kisika, a daljnjim procesima kompostiranja i potrebe za kisikom se smanjuju. Tijekom nedovoljne aeriranosti kompostne hrpe dolazi do anaerobnih uvjeta, pri čemu dolazi do nakupljanja metana, sumporovodika i organskih kiselina (Rynk i sur., 1992.). Značaj kisika nije samo zbog aerobnih mikroorganizama, već je neophodan zbog razmjene plinova i vodene pare s okolinom, ali još veća je potreba zbog otpuštanja topline iz kompostne hrpe (Lončarić i sur., 2015.).

### 2.1.2.3. Temperatura

Proces kompostiranja je egzotermni proces pri čemu se oslobađa velika količina topline (Epstein i sur., 2011.). Temperatura kompostne hrpe ima direktan utjecaj na rast mikroorganizama. Tijekom proces kompostiranja vrlo brzo temperatura raste pri čemu se

postigne razina mezofilne faze (10-40 °C) i termofilne (>40 °C) (Amirt i sur., 2021.). Najveća mikrobiološka aktivnost je upravo pri prvoj mezofilnoj fazi (pri temperaturama 30-40 °C), što dovodi do intenzivne biorazgradnje (Finstein i sur., 1983.). Povećanje temperatura u hrpi od 70-90 °C (Finstein i sur., 1983.) rezultira usporavanjem biorazgradnje i inhibicijom rasta mikroorganizama, pri čemu samo nekoliko rodova termofilnih bakterija pokazuju metaboličku aktivnost. Tako visoke temperature omogućuju uništavanje patogena, a minimalna temperatura za njihovo uništavanje je 55-60 °C, dok za uništavanje klijavosti sjemena korova je 63 °C (Amirt i sur., 2021.). Visoke temperature komposta mogu se postići kroz 5-10 dana ili 10-15 dana ovisno o kompostnoj smjesi i načinu kompostiranja, ali i o aerobnim uvjetima (Lončarić i sur., 2015.)

#### 2.1.2.4. Vlažnost

Za kretanje mikroorganizama i hraniva, ali i za kemijske reakcije neophodna je vlažnost. U početku procesa kompostiranja optimalna vlažnost je 40-65 % (Michael i sur., 1995.). Kada je vlažnost kompostne hrpe ispod 40 %, značajno se usporava proces, jer je mikrobiološka aktivnost vrlo spora (Diaz i sur., 2007.). Međutim, s druge strane porastom vlažnosti iznad 65 % voda istiskuje zrak iz pora što dovodi do stvaranja anaerobni džepova (El Kader i sur., 2007.). Slično kao i s koncentracijom kisika vrlo je važno opskrbiti kompostnu hrpu u početnim fazama vodom iznad 40 %, zbog čega se suhe komponente komposta miješaju s vlažnim komponentama ili im se jednostavno doda 50-60 % vode (Lončarić i sur., 2015.). Optimalna vlažnost ovisi o volumnoj gustoći, teksturi, strukturi i poroznosti, pa postoji opće pravilo da ako je kompostna masa prevlažna, voda se može iscijediti iz šake, a ako je suha u ruci se ne osjeća vlažnost (Amirt i sur., 2021.).

#### 2.1.2.5. pH reakcija

Optimalna pH reakcija kompostnog supstrata je u rasponu od 6,5-8,0, ali proces kompostiranja će se odvijati zadovoljavajućom dinamikom i pri pH rasponu od 5,5-9,0, jer u ovom procesu sudjeluje širok spektar mikroorganizama (Lončarić i sur., 2015.). Dinamika procesa kompostiranja je optimalna pri slabo kiseloj do neutralnoj reakciji, a dok je znatno sporija pri pH 5,5 ili 9,0 (Rynk i sur., 1992.). U procesu kompostiranja pH vrijednost se ne



može lako promijeniti, naime pH vrijednost počinje opadati na početku procesa kao posljedica aktivnosti bakterija koje stvaraju kiseline razgradnjom složenih ugljikovih tvari do organskih kiselina kao među-produkata (Diaz i sur., 2007.). Značaj pH vrijednosti je veći kod kompostnih hrpa koje imaju velik udio dušika, jer pri visokom pH iznad 8,5 dušik prelazi u amonijski oblik zbog čega se dodatno povećava pH, ali dolazi i do gubitka dušika u amonijskom obliku (Smoljko, 2009.). pH vrijednost je promjenjiva u kompostnim hrpama, pa tako do zakiseljavanja dolazi uslijed povećane proizvodnje organskih kiselina, a do alkalizacije pretvorbom organskog dušika u amonijak (Diaz i sur., 2007.). Aerobni proces razgradnje u konačnici će rezultirati na kraju procesa pH vrijednošću u rasponu od 6,5-8,0 (Lončarić i sur., 2015.).

### **2.1.3. Kompostni materijali**

Materijali za kompostiranje su organski nus-proizvodi ili otpadne tvari ili različiti materijali koji se nalaze na farmama (Rynk i sur., 1992.). Sve organske tvari koje se koriste u kompostiranju su razgradive, ali neki materijali su prikladniji od drugih. Materijali za kompostiranje najčešće se mogu pronaći na poljoprivrednim gospodarstvima, u prvom redu su to stajska gnojiva sa ili bez stelje, žetveni ostaci kao i prerađivački otpad (Rynk i sur., 1992.). Sirovine koje su najprikladnije za proces kompostiranja su otpad od povrća i voća, poljoprivredni otpad poput kokosovih ljuski i otpad šećerne trske, ostaci usjeva, npr. stabljike kukuruza i drugi žetveni ostaci, dvorišni otpad poput lišća, trave, kuhinjski otpad iz kućanstva, te ljudski i životinjski izmet (Hoornweg i sur., 1999.). Lardinois i Van der Klundert (1993.) navode kako se organske tvari poput drva, kosti, papira i kože vrlo slabo razgrađuju i ometaju proces kompostiranja. Kada je riječ o materijalima koji se koriste u procesu kompostiranja, u većini slučajeva postoje primarne sirovine poput stajskog gnojiva kojem se dodaju i drugi materijali (Rynk, 1992.). Jedna vrsta materijala ne može ispuniti sve potrebne uvjete za učinkoviti proces kompostiranja, zbog čega se provodi miješanje različitih materijala. Primjer toga na farmama je vlažno stajsko gnojivo koje se miješa s ostacima usjeva ili pak s otpadom iz drvnog pogona (Willson, 1989.). Rynk i sur. (1992.) navode da se materijali koji se dodaju kako bi se osigurale željene karakteristike nazivaju amandmanima, to jest tvarima za povećanje volumena ili tvarima koji su veliki izvor ugljika. Kako bi proces kompostiranja bio što učinkovitiji i kvalitetniji, mora ispunjavati određene karakteristike u optimalnim rasponima poput C/N omjera, pH, te vlažnost (Willson, 1989.).

Optimalni rasponi čimbenika koji su važni za proces kompostiranja opisani su u tablici 1. Također, važni čimbenici su cijena i dostupnost, naime da bi kompostiranje bilo ekonomično materijali moraju biti jeftini (Rynk i sur., 1992.). Materijali za kompostiranje u većini slučajeva su vrlo dostupni i prikladni za proces kompostiranja.

Materijali za kompostiranje (Slika 4.) mogu se podijeliti u tri grupe:

1. Primarni materijali (najčešće bogati dušikom i vlažni)
2. Dodatak bogat ugljikom (suhi dodatak, slama)
3. Kondicioner za popravljjanje fizikalnih svojstava (materijal teže razgradiv, drvena sječka) (Lonačarić i sur., 2015.).



Slika 4. Materijali koji se koriste u procesu kompostiranja

Izvor: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn>

Određeni otpadni materijali, posebice industrijski i komunalni otpad, mogu sadržavati otrovne tvari koje bi mogle kompost učiniti neprikladnim za namjeravanu upotrebu (Willson, 1989.). Stoga je važno vršiti analizu određenih otpadnih materijala kako bi se mogla održavati koncentracija štetnih metala ispod one koja bi mogla naštetiti zemljištu i okolišu (Willson, 1989.).

#### **2.1.4. Sustavi za provođenje procesa kompostiranja**

Prilikom procesa kompostiranja dobiveni proizvod mora biti odgovarajuće kvalitete i isplativ. Prema tome, proces kompostiranja obuhvaća čitav niz metoda i načina kompostiranja koji su prilagođeni vrsti i količini kompostnog materijala, dinamici kompostiranja, prostoru i stupnju ulaganja (Lončarić i sur., 2015.).

Vrlo važna smjernica u sustavu kompostiranja jeste da proces ne mora biti tehnički kompliciran da bi bio uspješan. Određivanje metode kompostiranja utječe djelovanje i razvoj procesni čimbenika poput temperature, vlažnosti, kontrole mirisa i slično (Rynk i sur., 1992.).

Prema Epstein-u (2011.), proces kompostiranja dijeli se na dva osnovna sustava, a to su :

1. Otvoreni (nereaktorski) sustav,
2. Zatvoreni (bioreaktorski) sustav.

Različite metode pasivne i aktivne aeracije kompostne mase predstavlja otvoreni sustav kompostiranja (Lončarić i sur., 2015.). Otvoreni sustav (Slika 5.) se češće primjenjuje zbog svoje jednostavnosti za korištenje i nižih financijskih troškova. Negativne posljedice ovog sustava su gubitak plinova, a oni se gube isparavanjem u atmosferu (staklenički plinovi) ili u podzemne vode čime se ovo smatra i nedostatkom sustava (Diaz i sur., 2007.). Nedostatak otvorenog sustava za kompostiranje je što su pod limitirajućim utjecajem vremenskih prilika poput učestalih oborina, previsoke ili preniske temperature i isušivanje. Također, otvoreni sustav kompostiranja je manje pogodan za urbane sredine zbog većeg utjecaja neugodnog mirisa, dugotrajnosti procesa i mogućnosti zapaljenja ukoliko nema miješanja kompostne mase unutar sustava (Rynk i sur., 1992.). Ovakvi sustavi kompostiranja su jednostavniji od zatvorenog sustava kompostiranja, zahtijevaju manju investiciju, većeg su kapaciteta, ali zauzimaju više prostora (Lončarić i sur., 2015.). Otvoreni sustavi dijele se na dvije osnovne vrste, a to su „windrow“ sustavi i sustav kompostiranja u hrpi ili stogu (Komilis i sur., 2003.).



Slika 5. Otvoreni sustav kompostiranja

Izvor: <https://groundgrocer.com/compost-windrow-turner/>

Zatvoreni ili bioreaktorski sustav predstavlja aktivni sustav kompostiranja u kojem je omogućeno kontroliranje aeracije, temperature, vlažnosti i gubitka plinova (Lončarić i sur., 2015.). Diaz i sur. (2007.) kao prednosti ovog sustava navode da proces kompostiranja nije ovisan o vremenskim uvjetima, uz kontrolu temperature i vlažnosti omogućuje brže i homogenije kompostiranje, ali također se može provoditi i kontrola neugodnog mirisa i emisije štetnih plinova. Ovakav način kompostiranja iziskuje manje prostora i radne snage zbog čega je pogodan za upotrebu u urbanom području (Haug, 1993.). Međutim, postoji nekoliko nedostataka ovog sustava, a to su velika ulaganja za izgradnju sustava i osposobljavanje za upravljanje pogonom, ali i visoki troškovi za održavanje sustava (Lončarić i sur., 2015.). Budući da je kompostiranje biološki proces, ove jedinice se nazivaju bio-reaktorima. U posljednjih nekoliko godina broj bio-reaktora se povećao, a porast novih dizajna dijelom su posljedica regulatornih zahtjeva koje su donijele neke europske zemlje i EU. Općenito, bio-reaktori se mogu podijeliti u dva glavna tipa (Haug, 1993.):

- vertikalni i
- horizontalni (Slika 6.).



Slika 6. Vertikalni i horizontalni reaktor

Izvor: <https://www.google.com/url>

### 2.1.5. Promjene u procesu kompostiranja

Pažljivi pregled tijeka procesa kompostiranja ukazuje na četiri posebne značajke koje mogu poslužiti kao korisni pokazatelji učinkovitosti procesa kompostiranja. To su: porast i pad temperature; promjene mirisa i izgleda komposta; promjena teksture; i usitnjavanje organske tvari (Diaz i sur. 2007.). Utjecaj ovih čimbenika kroz proces kompostiranja rezultirat će nastankom visokokvalitetnog, stabilnog i zrelog organskog gnojiva. Diaz i Savage (2007.) izvještavaju da je promjena mirisa još jedan izrazito uočljiv slijed. Ako je C/N otpada nizak i pH mase za kompostiranje je iznad 7,5 (Diaz i sur., 2007.), koncentracija amonijaka može prekriti druge mirise. Naposljetku svi neugodni i nepoželjni mirisi ili nestanu ili se zamjenjuju s mirisom ilovače. Kako navode Lončarić i sur. (2015.) posljedice kompostiranja su smanjenje volumena za 50 %, a pozitivne promjene se uočavaju u čitavom nizu svojstava organskih gnojiva kao što su:

1. povećani postotak mineralni tvari (pepela),
2. značajno poboljšanje fizikalnih svojstava (povećana gustoća, porozitet, kapacitet za vodu),
3. neutralizacija pH vrijednosti,

4. smanjenje C/N odnosa i odnosa nitratnog i amonijskog dušika,
5. smanjenje fitotoksičnosti,
6. smanjenje biološke i kemijske potrebe za kisikom,
7. povećani udio topivih soli i konduktiviteta (EC) te
8. povećani udio N, P, K, Ca, Mg i mikroelemenata.

Kako je već spomenuto, rezultat procesa kompostiranja je smanjenje volumena i mase u odnosu na početnu smjesu. Volumen kompostne hrpe smanjuje se u rasponu od 25-50 %, a gubitak vode iz kompostne hrpe utjecat će na smanjenje mase u rasponu od 40-80 %, što je znatno više u odnosu na volumen (Lončarić i sur., 2015).

### **2.1.6. Stabilnost komposta**

Predložena su brojna ispitivanja za određivanje stabilnosti i zrelosti komposta. Ove metode se mogu kategorizirati kao fizikalni, kemijski i biološki parametri (Switzenbaum i sur., 1997.).

Neke od ranih metoda predloženih za određivanje stabilnosti su sljedeće:

- konačni pad temperature (Golueke i McGauey, 1953.),
- stupanj samozagrijavanja (Niese, 1964.),
- količina razgradive i otporne organske tvari u materijalu (Rolle i Oršanić, 1964.),
- porast redoks potencijala (Moller, 1968.) te
- rast gljive *Chaetomium gracilis* (Obrist, 1965.).

Mnogi od predloženih testova za ispitivanje stabilnosti komposta imaju nedostatke koji umanjuju njihovu korisnost. Nedostatak svakog testa je univerzalnost u smislu promjenjivih vrijednosti. Prema Diaz i sur. (2007.), primjer je koncentracija organskih (hlapljivih) krutih tvari. Dakle, obično se pretpostavlja da sve tvari imaju usporedivu koncentraciju organskih krutih tvari koje su jednako biološki stabilne. Ova pretpostavaka nije nužno valjana, jer su tvari koje sadrže organske krute tvari po prirodi stabilnije u odnosu na one koje imaju jednaku koncentraciju organske krute tvari, ali su građene i od spojeva koji se lako razgrađuju (Diaz i sur., 2007.).

Prema Lončarić i sur. (2015.), stabilnost se mjeri intenzitetom disanja (Tablica 3.). Naime, najveći stupanj razgradnje, mikrobiološke aktivnosti i potrošnje kisika su u termofilnoj fazi,

a i kompost je ekstremno nestabilan tijekom navedene faze. Iscrpljivanjem visokoenergetskih spojeva, odnosno potrošnjom organskog ugljika, smanjuje se mikrobiološka aktivnost, potreba za kisikom i izdvajanje CO<sub>2</sub> disanjem mikroorganizama, a time kompost postaje stabilan (Diaz i sur., 2007.). Stabilnost komposta je značajka zrelog komposta u kojem se neće nastaviti razgradnja i povećanje temperature ukoliko se kompost ponovno aerira i podigne vlažnost do optimalne razine.(Lončarić i sur., 2015.).

Tablica 3. Ocjena stabilnosti komposta prema intezitetu disanja

<b>MgCO<sub>2</sub>/g/dan</b>	<b>Stabilnost</b>	<b>svojstva komposta</b>
1	vro stabilan	gotov kompost, bez nastavljanja razgradnje, bez mirisa i potencijalne fitotoksičnosti
2-4	Stabilan	dobro zreo, bez mirisa, minimalan utjecaj na dinamiku tla
5-7	umjereno stabilan	u zrenju, bez mirisa, smanjene potrebe za prozračivanjem , malog utjecaja na dinamiku tla
8-9	Nestabilan	aktivan, nezreo, malo miriše, velika potreba za prozračivanjem, umjereni utjecaj na dinamiku C i N tla
10-11	svježi kompost	aktivan, neugodnog mirisa, negativan utjecaj na tlo
>11	svježi gnoj	ekstremno nestabilan, vrlo neugodan miris, nije za upotrebu kao kompost

Izvor: Vukobratović i sur. (2008.): Proizvodnja i ocjena kvalitete kompostiranih stajskih gnojiva. Gnojidba povrća, organska gnojiva i kompostiranje.

## 2.2. Mikroorganizmi u kompostu

Browne (1933.) je prvi dokazao da je samozagrijavanje komposta posljedica biološke aktivnosti. Na temelju molekularnih analiza dokazano je prisustvo mnogih nepoznatih vrsta mikroorganizama u kompostu (Beffa i sur., 1996.).

Prvi uvjet za kompostiranje je prisutnost kompostirajućih mikroorganizama. Zadaća aerobnih mikroorganizam u procesu kompostiranja je pretvaranje biorazgradivih organskih

tvori u CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O i stabilnu organsku tvar odnosno kompost (Mirnov i sur., 2021.). Različite zajednice mikroorganizama prevladavaju tijekom različitih faza kompostiranja. Gray i sur. (1971.) utvrđuju da su u tipičnom procesu kompostiranja prisutne bakterije i gljive. Kroz ranija istraživanja utvrđeno je kako su tijekom početnih faza procesa kompostiranja glavne skupine bakterija *Lactobacillus* spp. i *Acetobacter* spp. koje proizvode mezofilne organske kiseline (Golueke i sur., 1954.). Tijekom termofilne faze pak dominaciju preuzimaju gram-pozitivne bakterije kao što su *Bacillus* spp. i *Actinobacteria*, kako otkrivaju de Batolli i sur. (1980.) tijekom svog istraživanja. Populacija različitih vrsta mikroorganizama tijekom termofilnog kompostiranja raste i opada uzastopce, pri čemu svaka skupina napreduje dok su uvjeti okoliša i izvor energije povoljni, a zatim ugibaju ostavljajući nove pogodne uvjete drugoj skupini organizama (Trautmann i sur., 1996.). Waksman i sur. (1939.) ističu kako se najučinkovitiji proces kompostiranja postiže uz prisutnost miješanih zajednica bakterija i gljiva.

### 2.2.1. Bakterije

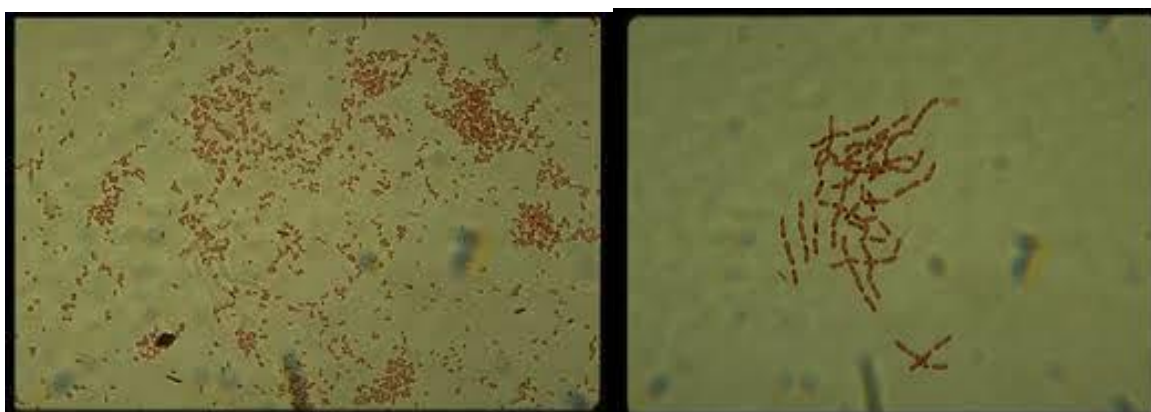
Bakterije (Slika 7.) čine 80-90 % (Trautmann i sur., 1996.) komposta od milijardu organizama koji se obično nalaze u gramu tla. Bakterije su odgovorne za većinu razgradnje i stvaranja topline u kompostu. Nutritivno su najraznovrsnija skupina kompostnih organizama, koja koristi širok raspon enzima za kemijsku razgradnju raznih organskih materijala (Golueke, 1992.). Bakterije su prokariotski organizmi koji su strukturirani kao štapićasti bacili, kuglasti koki ili spiralni spirili, mnogi su pokretni i mogu se kretati vlastitom snagom (Krasny i Trautmann, 1996.).

Tijekom termofilne faze od mikrobne populacije najviše dominiraju bakterije roda *Bacillus* (Trautmann i Krasny, 1997.), ali prisutni su i drugi rodovi poput *Micromonospora* sp., *Citrobacter freundii*, *Symbiobacterium* sp., *Thermus* sp. i druge (Ryckeboer i sur., 1992.). U rasponu temperatura od 50 do 55 °C prevladava ranolikost vrsta bacila, a dok se dramatično smanjuje pri temperaturi od 65 °C i višoj (Trautmanni sur., 1996.). Prilikom nepovoljnih uvjeta bacili preživljavaju tvoreći endospore, spore debelih stjenki koje su otporne na nastale visoke temperature u kompostnoj masi. Nakon što kompost uđe u drugu mezofilnu fazu razvijaju se i prevladavaju mezofilne bakterije. Brojnost i vrsta bakterija u drugoj mezofilnoj fazi ovisi o tome koje su spore i organizmi prisutni u kompostu, ali i u okolini. Općenito što



je duža faza sazrijevanja, to je i veća raznolikost mikrobne zajednice (Ryckeboer i sur., 1992.).

Također, u kompostnim hrpama ne prevladavaju samo korisne bakterije, već se u kompostnim hrpama vrlo često nalaze i bakterije koje uzrokuju biljne bolesti (patogeni). Neke od patogenih bakterija koje su prisutni u kompostima su rodovi *Salmonella* spp., *Clostridium*, *Escherchia* i drugi (Diaz i sur., 1997.). U termofilnoj fazi zrenja komposta ovi predstavnici bivaju suzbijeni.

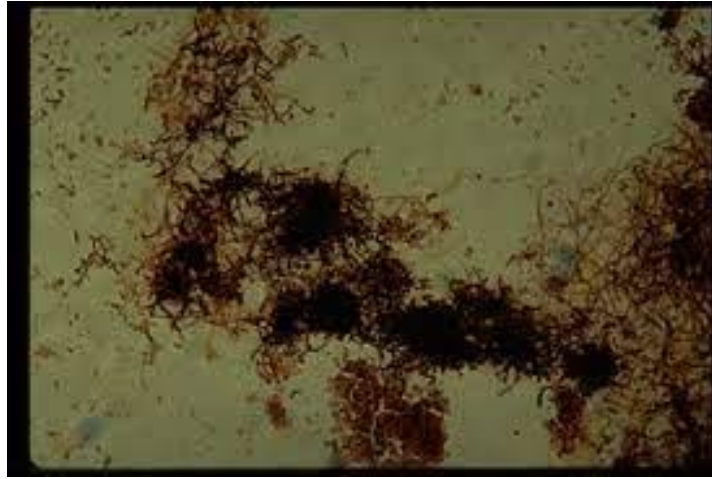


Slika 7. Bakterije

Izvor: <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>

Trautmann i sur. (1996.) izvještavaju da aktinomicete (Slika 8.) u procesu kompostiranja igraju važnu ulogu u razgradnji složenih organskih tvari poput celuloze, lignina, hitina i proteina. Također navodi kako se neke vrste pojavljuju tijekom termofilne faze, a druge postaju važne u drugoj mezofilnoj fazi kada u kompostu ostanu smo najotporniji spojevi.

Aktinomicete koje se javljaju tijekom procesa kompostiranja su *Actinomyces* sp., *Cellulomonas* sp., *Nocardia* sp., *Rhodococcus* sp., *Streptomyces* sp., i dr. (Ryckeboer i sur., 1992.).

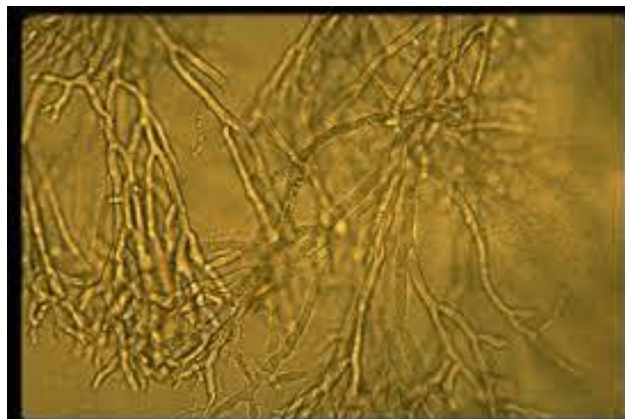


Slika 8. Aktinomicete

Izvor: <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>

### 2.2.3. Gljive

Tijekom početne faze gljive (Slika 9.) se s bakterijama natječu za lako dostupne supstrate. Gljive su odgovorne za razgradnju mnogih složenih biljnih polimera u kompostu, ali i u tlu (Diaz i sur., 2007.). U kompostu su gljive važne, jer razgrađuju čvrste ostatke i tako omogućuju bakterijama da nastave proces razgradnje nakon što je većina celuloze iscrpljena. Vrste gljiva kao što su *Aspergillus* sp., *Coprinus* sp., *Thermomyces* sp., *Trichoderma* sp. i druge, brojne su tijekom mezofilne i termofilne faze kompostiranja (Ryckeboer i sur., 1992.). Tijekom visokih temperatura velik broj gljiva se nalazi u vanjskom sloju komposta.



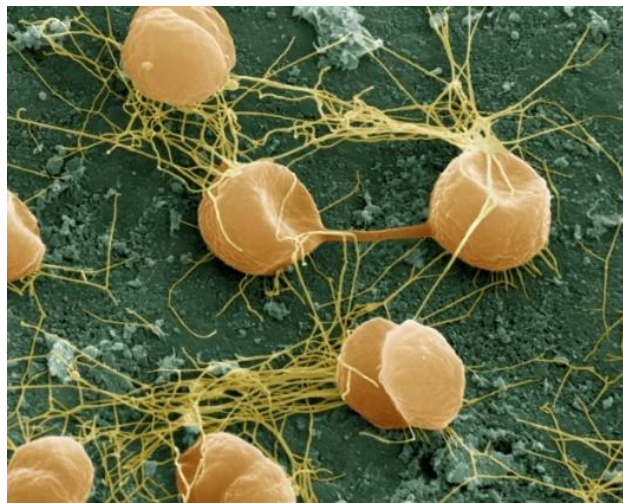
Slika 9. Gljive

Izvor: <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>

#### 2.2.4. Arheje

Poznato je da su mnoge arheje (Slika 10.) termofilne i izolirane su iz komposta (Stackebrandt i sur., 1997.) u kojima je zabilježena značajna metanogeneza (Cabanas-Vargas i Stentiford, 2006.),

Razlog za relativno malu brojnost arheja vjerojatno je taj što su obično oligotrofne, a njihova vremena generiranja su mnogo veća od onih kod bakterija, što ih čini neprikladnima za uvjete koji se brzo mijenjaju (Trautmann i sur., 1996.).



Slika 10. Arheje

Izvor: <https://www.skolskiportal.hr/wp-content/uploads/2020/09/termofilne-arheje-Pyrococcus-scaled.jpg>

### 3. Materijali i metode

Uzorci komposta obuhvaćaju suhi kompost, miješani kompost i zreli miješani kompost koji je uzorkovan iz lokalnog poduzeća koje obavlja poslove skupljanje bio-otpada i kompostiranja. Mikrobiološka analiza komposta obuhvatila je određivanje fizioloških skupina mikroorganizam: ukupnog broja gljiva na krumpir-dekstroznom agaru (Biolife), ukupnog broja aminoheterotrofa na hranjivim agaru (Liofilchem), ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija na triptikaza sojinim agaru (Liofilchem), ukupnog broja aktinomiceta na škrobnom agaru (HiMedia) i asimbiotskih fiksatora dušika metodom fertilnih zrnaca tla na Ashby agaru (manitol 10 g;  $K_2HPO_4$  0,5 g  $MgSO_4$  0,2 g;  $K_2SO_4$  0,1 g  $CaCO_3$ , 5 g, agar 20 g). Metodom razrjeđenja uzorci komposta su razrijeđeni, a potom je inokulum od 0,5 ml prelišen odgovarajućom hranjivom podlogom metodom razlijevanja u dva ponavljanja. Nakon inkubacije očitani su rezultati. Određen je cfu (colony forming unit) broja kolonija koji je preračunat na suhu masu komposta.

#### 3.1 Kompost

Ispitani kompost (Slika 11.) je nastao od miješanog bio-otpada, kao i lišća, granja, trave i stabala. Sav materijal se prikuplja, a zatim ustinja pomoću drobilice. Nakon što je materijal usitnjen formiraju se u kompostne hrpe koje se tijekom procesa kompostiranja prevrću pomoću prevrtača i zalijevaju. Kroz proces kompostiranja u hrpama se mjeri pH vrijednost i temperatura, a nakon gotovog procesa kompostiranja dobiveni kompost se pakira.



Slika 11. Uzorci komposta

Izvor: *Gabrijela Martić*

## 4. Rezultati

Mikroorganizmi imaju glavnu ulogu u procesu kompostiranja, čija je uloga razgradnja organske tvari. Tijekom procesa izmjenjuju se tri faze mezofilna, termofilna i druga mezofilna faza, a tijekom tih faza prevladava i izmjena termofilnih i mezofilnih mikroorganizama.

U tablicama 4, 5, 6, 7 i 8 su prikazani rezultati ukupnog broja mikroorganizama u 1g suhog zemljišta (ST%) i ukupan broj gljiva, aktinomiceta, aminoheterotrofa, mezofilnih bakterija i % simbiotskih fiksatora dušika.

Tablica 4. Rezultati ukupne brojnosti gljiva na 1g tla

Ukupna brojnost gljiva	Ponavljanja	Suhi kompost	Miješani kompost	Zreli miješani kompost
	1.	$78 \times 10^5$	$4 \times 10^4$	$2 \times 10^5$
	2.	$124 \times 10^5$	$22 \times 10^4$	$14 \times 10^4$
Prosjek		$101 \times 10^5$	$13 \times 10^4$	$17 \times 10^4$
Prosjek na suhu tvar		$75 \times 10^5$	$67 \times 10^3$	$95 \times 10^3$
Prosjek na log10		6,873553094	4,825834902	4,977238754

Tablica 5. Rezultati ukupne brojnosti aktinomiceta na 1g tla

Ukupna brojnost aktinomiceta	Ponavljanja	Suhi kompost	Miješani kompost	Zreli miješani kompost
	1.	$2 \times 10^5$	$8 \times 10^5$	$16 \times 10^5$
	2.	$2 \times 10^4$	$12 \times 10^5$	$1 \times 10^6$
Prosjek		$11 \times 10^4$	$1 \times 10^6$	$13 \times 10^5$
Prosjek na suhu tvar		$81 \times 10^3$	$51 \times 10^4$	$72 \times 10^4$
Prosjek na log10		4,910624405	5,71189155	5,860733184

Tablica 6. Rezultati ukupne brojnosti aminoheterotrofa na 1g tla

Ukupna brojnost aminoheterotrofa	Ponavljanja	Suhi kompost	Miješani kompost	Zreli miješani kompost.
	1.	212x10 <sup>6</sup>	356x10 <sup>5</sup>	384x10 <sup>5</sup>
	2.	28x10 <sup>7</sup>	338x10 <sup>5</sup>	374x10 <sup>5</sup>
Prosjek		246x10 <sup>6</sup>	347x10 <sup>5</sup>	379x10 <sup>5</sup>
Prosjek na suhu tvar		18 x 10 <sup>7</sup>	18 x 10 <sup>6</sup>	21 x 10 <sup>6</sup>
Prosjek na log10		8,260166827	7,252221025	7,325429042

Tablica 7. Rezultati ukupne brojnosti aerobnih mezofilnih bakterija na 1g tla

Ukupna brojnost aerobnih mezofilnih bakterija	Ponavljanja	Suhi kompost	Miješani kompost	Zreli miješani kompost
	1.	118x10 <sup>6</sup>	15x10 <sup>6</sup>	134x10 <sup>5</sup>
	2.	14x10 <sup>7</sup>	224x10 <sup>5</sup>	142x10 <sup>5</sup>
Prosjek		129x10 <sup>6</sup>	187x10 <sup>5</sup>	138x10 <sup>5</sup>
Prosjek na suhu tvar		95 x 10 <sup>6</sup>	96 x 10 <sup>5</sup>	77 x 10 <sup>5</sup>
Prosjek na log10		7,97982143	6,983733156	6,886668919

Tablica 8. Rezultat postotka asimbiotskih fiksatora dušika i suhe tvari na 1g tla

	Suhi kompost	Miješani kompost	Zreli miješani kompost
% asimbiotskih fiksatora dušika	12	0	0
Suha tvar ST %	74 %	51,51 %	55,82 %

U tablici 4. prikazan je rezultat ukupne brojnosti gljiva u tri uzorka komposta. Metoda razrjeđivanja mikroorganizama unutar uzoraka komposta omogućila je prebrojavanje ispitivanih skupina mikroorganizama na odgovarajućoj hranjivoj podlozi. Na osnovu tih rezultata i provedenih preračunavanja moguće je iščitati sljedeće rezultate. Naime, brojnost gljiva (tablica 4.) je najveća u prvom uzorku suhom kompostu, a najmanju brojnost su ostvarile u miješanom kompostu.

Promatrajući tablicu broj 6. gdje se mogu utvrditi rezultati ukupne brojnosti aminoheterotrofa najveću brojnost su također ostvarile u suhom kompostu poput gljiva, a najmanja brojnost su ostvarili u miješanom kompostu poput gljiva.

Nadalje, promatrajući tablicu 7. aerobne mezofilne bakterije su svoju najmanju brojnost ostvarile u zreom miješanom kompostu, a najveću u suhom kompostu poput gljiva i aminoheterotrofa.

Tablica broj 5. za razliku od prethodno opisanih tablica najveća brojnost je ostvarena u zreom miješanom kompostu, a najmanju pak u suhom kompostu. U tablici 5. su rezultati ukupne brojnosti aktinomiceta.

Tablica 8. prikazuje rezultate postotka asimbiotski fiksatora dušika čiji se rezultat ostvario samo u suhom kompostu, a u ostala dva se nisu pojavili. Također tablica prikazuje postotke suhe tvari u uzorcima, čiji je postotak najveći u prvom uzorku, odnosno suhom kompostu 74 %.

## 5. Rasprava

Rezultati istraživanja pokazali su da je prema izračunima najveći postotak mase suhe tvari je u suhom kompostu. Također, u ovom uzorku prema izračunatom prosjeku najveću brojnost zauzimaju aminoheterotrofi, zatim aerobne mezofilne bakterije, gljive, a najmanja zabilježena brojnost je aktinomiceta. Kada je riječ o druga dva uzorka (miješanom i zreloom miješanom kompostu) također najveću brojnost zauzimaju aminoheterotrofi. Gledajući na sva tri uzorka, miješani i zreli miješani kompost imaju približne rezultate, naime kod oba uzorka se najmanje razvilo ukupnih gljiva, dok je najveća brojnost aminoheterotrofa kod sva tri uzorka. Za razliku od miješanog i zrelog miješnaog komposta, u suhom kompostu najmanja ukupna brojnost je zabilježena kod aktinomiceta. U radu je istražen postotak asimbiotskih fiksatora dušika koji je rezultirao samo jednim pozitivnim uzorkom, a radi se o suhom kompostu.

Brojnost mikroorganizama u kompostu ispitivali su i drugi istraživači. Brojna istraživanja su uglavnom usmjerena na kretanje brojnosti mikroorganizama kroz tri temperaturne faze.

Gebeyeh i Kibret (2013.) u svom istraživanju izvještavaju da se broj mezofilnih bakterija i gljiva smanjio na kraju procesa kompostiranja u odnosu na početnu fazu, dok se s druge strane broj aktinomiceta povećao, zabilježeni broj aktinomiceta u početnoj fazi iznosi  $5,2 \times 10^6$  cfug<sup>-1</sup> i  $7,4 \times 10^6$  cfug<sup>-1</sup> u posljednjoj fazi kompostiranja. Brojnost gljiva na kraju procesa kompostiranja je bila  $1,05 \times 10^4$  cfug<sup>-1</sup>, a brojnost mezofilnih bakterija je iznosila  $1,3 \times 10^4$  cfu g<sup>-1</sup>. U usporedbi s ovim istraživanjem, brojnost aktinomiceta je manja u sva tri ispitana uzorka u odnosu na rezultate istraživanja Gebeyeh i Kibert (2013.), dok je brojnost gljiva u sva tri uzorka veća u odnosu na rezultate istraživanja istih autora. Kowalchuk i sur. (1999.) navode da bi posljedica smanjenja broja mikroba mogla biti rezultat iscrpljivanja hranjivih tvari i nakupljanja otrovnih tvari u otpadu koje stvaraju nepovoljno okruženje za mikrobe. Aktinomicete se identificiraju kao jedna od glavnih skupina koje su odgovorne za pretvorbu organskih tvari tijekom kasnijih faza kompostiranja. Kroz proces kompostiranja natječu se s drugim organizmima za hranjive tvari i mogu inhibirati rast mikroorganizama zbog proizvodnje antibiotika, litičkih enzima ili čak parazitizma (Rebollido i sur., 2008.). Aktinomicete proizvode enzime koji omogućuju razgradnju čvrstih dijelova kompostne hrpe (Chopra, 2004.).



Foruti i sur. (2008.) su u svom istraživanju mikrobiološkog aspekata u procesu kompostiranja komunalnog otpada i kanalizacijskog mulja u polu-industrijskom postrojenju pratili razvoj bakterija i aktinomiceta, te fekalnih streptokoka. Navode da se broj mezofilnih bakterija smanjio na kraju procesa u odnosu na početnu fazu kompostiranja, a kao rezultat smanjenja navode porast temperature, gubitak lako biorazgradivog supstrata, odnosno gubitak vlage tijekom procesa kompostiranja. Razvoj mezofilnih mikroorganizama u drugoj mezofilnoj fazi nastao je zahvaljujući endosporama koje bakterije stvaraju tijekom termofilne faze (Foruti i sur., 2008.). Ukupan broj mezofilnih bakterija omogućuje procjenu mikrobiološke aktivnosti tijekom procesa kompostiranja. Ovi se mikroorganizmi razvijaju tijekom svih faza transformacije organske tvari. Brojnost aktinomiceta u ovoj studiji nije pokazao veću varijaciju tijekom cijelog procesa kompostiranja. Razvoj aktinomiceta u procesu kompostiranja dosežu takav intenzitet da njihov micelij i spore postaju mikroskopski vidljivi dajući kompostu sivu boju i miris zemlje (Foruti i sur., 2008.).

Ghazifard i sur. (2001.) tijekom svog istraživanja provode identifikaciju termofilnih i mezofilnih bakterija i gljiva u kompostu od čvrstog komunalnog otpada, te identificiraju termofilne i mezofilne mikroorganizme u komunalnom otpadu. Autori uočavaju da nakon 20-tog dana kompostiranja dominiraju rodovi *Escherichia*, *Klebsiella*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Enterococcus* i *Bacillus*, a nakon toga od mezofilnih jedino je prisutan rod *Bacillus*.

Taiwo i sur. (2004.) kroz istraživanje utjecaja pasivne aeracije u procesu kompostiranja na mikroorganizme tijekom mezofilne faze izoliraju gljive *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Humicola*, *Mycotypha* i *Scopulariosis* sp, dok su u fazi hlađenja najistaknutije gljive roda *Fusarium* i *Mycotypha*. Primijetili su da je postojala veća raznolikost mikroorganizama u mezofilnom stadiju, te da mikroorganizmi u fazi hlađenja ponovno kličaju iz spora. Također, izolirane su i aktinomicete rodova *Streptomyces* i *Actinomyces*, te *Streptosporangium*. Isti autori navode identifikaciju roda *Bacillus* sp. u mezofilnoj, ali je u termofilnoj fazi i *Bacillus* sp. aktivan.

Tijekom svog istraživanja Chang i Hudson (1967.) uočavaju obilni razvoj heterotrofnih mikroorganizama u roku od 2 dana u početnoj fazi kompostiranja čija aktivnost povećava temperaturu komposta na razinu termofilne faze. Aktinomicete i bakterije dalje povećavaju temperaturu na vrhunac iznad 60 °C. Na vrhuncu ove faze, istraživači primjećuju kako se broj aktinomiceta i bakterija smanjio, a termofilne gljive su se naselile iz hladniji područja i

održavale temperaturu iznad 40 °C, tijekom produljene faze hlađenja. Kako se temperatura konačno smanjila ispod 40 °C uočavaju da je nekoliko mezofilnih mikroorganizama koloniziralo kompost, od kojih su najznačajniji termo-tolerantni *Coprinopsis cinereas*, koji je sposoban koristiti i celulozu i lignin kao izvor energije. Hudson (1986.) u ranim fazama kompostiranja identificira još jedan organizam *Mucor pusillus*.

Milinković (2013.) u kompostu komunalnog otpada u svom istraživanju uočava bakterije, gljive i aktinomicete. Najveću ukupnu brojnost ostvaruju bakterije, a najmanju aktinomicete. Autorica ističe kako sve ove mikrobne populacije tijekom procesa kompostiranja doprinose nastanku komposta, naime transformacija lignina, celuloze, lignoceluloze i drugih polimera tijekom kompostiranja moguća je samo uz prisustvo različitih zajednica mikroorganizma.

## 6. Zaključak

Otpad predstavlja sve veći problem u svijetu, a njegovo uklanjanje bez ekoloških onečišćenja još uvijek je upitno. Međutim, velik broj zemalja komunalni i drugi razgradivi otpad zbrinjava procesom kompostiranja. Proces kompostiranja, iako je poznat još od davnina, danas postaje sve više aktualan. Ovaj proces je vrlo jednostavan, ali ne bi bio uspješan bez rada mikroorganizama. Mikroorganizmi, iako oku nevidljivi, uvelike doprinose procesu kompostiranja od samih početaka, pa i tijekom njegove daljnje upotrebe.

Ovim istraživanjem izolirani su mikroorganizmi iz tri uzorka komposta koji je nastao od komunalnog otpada. Ispitivani kompostni uzorci su pokazali raznovrsnost mikrobne populacije. Kroz rezultate prikazana je ukupna brojnost gljiva, aktinomiceta, mezofilnih aerobnih bakterija i asimbiotskih fiksatora dušika. Dobiveni rezultati ukazuju na vijabilnost stanica identificiranih fizioloških skupina mikroorganizama, a kompost će daljnjom upotrebom zasigurno utjecati na povećanje mikroflore na mjestu primjene.

## 7. Popis literature

Albrecht, R., Joffre, R., Gros, R., Le Petit, J., Terrom, G., Périsso, C. (2008.): Efficiency of near-infrared reflectance spectroscopy to assess and predict the stage of transformation of organic matter in the composting process. *Bioresource Technology*, 99: 448-455.

Amrit Lal Meena, Minakshi Karwal, Debashis Dutta, Mishra R.P. (2021.): Composting Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. CAR-Indian Institute of Farming Systems Research, Modipuram, Meerut-250110 2KIET group of Institutions, Ghaziabad, Delhi-NCR, India.

Barrena, R., Turet, J., Busquets, A., Farrés, M., Font, X., Sánchez, A. (2011.): Respirometric screening of several types of manure and mixtures intended for composting. *Bioresource Technology*, 102: 1367–1377.

Beffa, T., Blanc, M., Lyon, P.F., Vogt, G., Marchiani, M., Fischer, J.L., Aragno, M. (1996.): Isolation of *Thermus* strains from hot composts : *Applied and Environmental Microbiology*, 62:1723-1727.

Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1998.): Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63: 91-99.

Blanc M., Marilley L., Beffa T., Aragno M. (1999.): Thermophilic bacterial communities in hot composts as revealed by most probable number counts and molecular (16S rDNA) methods. *FEMS Microbiology Ecology*, 28: 141-149.

Boulter, J.I., Boland, G.J., Trevors, J.T. (2000.): Compost. A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease, 115 - 134.

Browne, C.A. (1933.): The spontaneous heating and ignition of hay and other agricultural products, 77:223-229.

Cabanas-Vargas, D.D., Stentiford, E.I. (2006.): Oxygen and CO<sub>2</sub> profiles and methane formation during the maturation phase of composting. *Compost Science Utilization*, 14: 86–89.

- Canet, R., Pomares, F. (1995.): Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia. *Bioresource Technology*, 51:259-264.
- Castaldi, P., Garau, G., Melis, P. (2008.): Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions. *Waste Management*, 28:534-540.
- Chang Y., Hudson H.J. (1967.): The fungi of wheat straw compost. In: *Ecology studies*. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 50:649-66.
- Choi M.H., Park Y.H. (1998.): The influence of yeast on thermophilic composting of food waste. *Lett. Appl. Microbiol.*, 26: 175-178.
- Chopra, S. (2004.): Quantification and composition audit of waste generated at the early morning market in Vientiane, Lao PDR. M.Sc thesis, University of Toronto, Canada.
- Cross T. (1968.): Thermophilic actinomycetes. *J. Appl. Bact.*, 31: 36-53.
- de Bertolli M, Citernes U., Griselli M. (1980.): Bulking agents in sludge composting, 21:32-35.
- de Bertoldi, M. (1992.): The control of the composting process and quality of end products. In: *Composting and Compost Quality Assurance Criteria*, Jackson, D.V., Merillot, J.M. and L'Hermite, P. (Eds). Commission of the European Communities, pp., 85-93.
- Diaz-Ravina M., Acea M.J., Carballas T. (1989.): Microbiological characterisation of four composted urban refuses. *Biol. Wastes*, 30: 89-100
- Diaz L. F., de Bertoldi M., Bidlingmaier W., Stentiford E. (2007.): *Compost science and technology*, Waste Management Series 8, Amsterdam.
- Diaz L.F., Savage G.M. (2007.): *Compost science and technology*, Waste Management Series 8,; poglavlje 4 Factors that Affect the Process, 58.
- Direktiva 1999/31/EC 1999/31/EC
- Drew Shindell. NASA GISS (2011.): News Q&A: Cleaning the Air Would Limit Short-Term Climate Warming. (n.d.).

- El Kader, N.A., Robin, P., Paillat, J.M., Leterme, P. (2007.): Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting, *Bioresour. Technol*, 98: 2619 – 2628
- Epstein, K. (1997.): *The Science of Composting*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Epstein, E. (2011.): *Industrial composting Environmental Engineering and Facilities Management*, Taylor & Francis Group, USA.
- Fagan S.M., Fergus C.L. (1984): Extracellular enzymes of some additional fungi associated with mushroom culture. *Mycopathologia*, 87: 67-70.
- Finstein M.S., Morris M.L. (1975): Microbiology of municipal solid waste composting. *Adv. Appl. Microbiol.*, 19: 113-151.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Strom, P.F., MacGregor, S.T., Psarianos, K.M. (1983.): Composting ecosystem management for waste treatment, *Biotechnol* , 347 – 353.
- Funtak A.(2016):Kompostiranje i gospodarenje tlom. *Gospodarski list*  
<https://gospodarski.hr/rubrike/ostalo/prilog-broja-kompostiranje-i-gospodarenje-tlom/>  
(09.04.2022.).
- Garcia-Gómez, A., Roig, A., Bernal, M.P.(2003.): Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. *Bioresource Technology*, 86 : 59-64.
- Gebeyehu R., Kibert M. (2013.): Microbiological and Physico-chemical Analysis of Compost and its Effect on the Yield of Kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia.
- Ghaly, A.E., Alkoaik, F.N. (2010.): Effect of municipal solid waste compost on the growth and production of vegetable crops. *American Journal of Agricultural and Biological*, 5: 274–281.
- Ghazifard, A., Kermanshahi, R.K., Etemadi, Z. (2001): Identification of thermophilic and mesophilic bacteria and fungi in Esfahan (Iran) municipal solid waste compost. *Far Waste Management and Research*, 19(3):257–261.
- Godden B., Ball A.S., Helvenstein P., McCarthy A.J., Penninckx M.J., (1992): Toward elucidation of the lignin degradation pathway in actinomycetes. *J. Gen. Microbiol.*, 138: 2441-2448.

- Golueke C., Bidlingmaier W., De Bartolodi M., Diaz L., (2007.): Compost Science and Technology, Elsevier, 25-48.
- Golueke, C.G., McGauhey, P.H. (1953.): Reclamation of municipal refuse by composting. Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California, Be
- Golueke G.G., Card B.J., McGauhey P.H. (1954.): A critical evaluation of inoculums in composting. Appl Microbiol. USA, Technical Bulletin No. 9, 2:45-53.
- Gray K.R., Sherman K., Biddlestone A.J. (1971): A review of composting - part I. Process Biochem., 6: 32-36.
- Griffin, D.M. (1985): A comparison of the roles of bacteria and fungi. Bacteria in Nature, Vol. 1 (eds. Leadbetter, E.R., & Poindexter, J.S.), Plenum Publishing, London, 221-255.
- Hardy G.E. St.J., Sivasithamparam K. (1989): Microbial, chemical and physical changes during composting of a eucalyptus (*Eucalyptus calophylla* and *Eucalyptus diversicolor*) bark mix. Biol. Fertil. Soils, 8: 260-270.
- Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., Boudabous, A. (2001.) : Microbial characterization during composting of municipal solid waste: Bioresource Technology, 80 : 217-225.
- Haug, R. T. (1993.): The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publisher, USA.
- Herrmann R.F., Shann, J.F. (1997.): Microbial community changes during the composting of municipal solid waste. Microb. Ecol., 33: 78-85.
- Hoornweg D., Thomas L., Otten L., (1999.): Composting and Its Applicability in Developing Countries, 4-5.
- Hudson H.J. (1986.): Fungi as inhabitants of extreme environments. In: Fungal Biology, Edward Arnold Publishers, Great Britain, 298.
- Kaiser, D., (1982.): L'analyse microbiologique des composts. Compost Information, 10: 9-13.
- Kisić I., (2014.): Uvod u ekološku poljoprivredu. Zagreb: Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagreb.

Komilis, D.P., Ham, R.K. (2003.): The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes, *Waste Manag*, 419 - 423.

Kowalchuk, G.A., Naomenko, Z.S., Derika, P.I., Felske, A., Stephen, J.R., Arkhipchenk, I.A. (1999.): Molecular analysis of ammonia-oxidizing bacteria of the beta subdivision of the class proteobacteria in compost and composted materials. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 396- 403.

Krasny M.E., N. M. Trautmann (1996.): *It's Gotten Rotten*, executive producers. NY.

Lardinois, Arnold van de Klundert (1993.): *Organic waste: options for small-scale resource recovery* . Amsterdam, Nizozemska.

Liu, D., Zhang, R., Wu, H., Xu, D., Tang, Z., Yu, G., Xu, Z., Shen, Q. (2011.): Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 102: 9040-9049.

Lončarić Z., Parađiković N., Popović B., Lončarić R., Kanisek J. (2015.): Gnojidba povrća, organska gnojiva i kompostiranje: *Organska gnojiva* , 2: 62-94.

Malakahmad A., Idrus N. B. , Abualqumboz M. S., Yavari S., Kutty S. R. M. (2017.): In-vessel co-composting of yard waste and food waste: an approach for sustainable waste management in Cameron Highlands, Malaysia. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6: 149 – 157.

Massiani, C., Domeizel, M. (1996.): Quality of compost organic matter stabilization and trace metal contamination: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. and Papi, T. (Eds). *The Sciences of Composting*. UK, 185-194.

Michel F.C., Reddy C.A., Forney L.J. (1995): Microbial degradation and humification of the lawn care pesticide 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid during the composting of yard trimmings. *Appl. Environ. Microbiol.*, 61: 2566-2571.

Milinković Mira R. (2013.): *Biopotencijal komposta i produkata komposta*, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.

Mironov V.V., Potokina V.V., Botchkova E.A., Vanteeva A.V., Zagustina N.A., Parshina S. N. (2021.): Activity of Methanogenic Archaea during the Composting of Organic Waste. a Winogradsky Institute of Microbiology, Fundamentals of Biotechnology Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Moscow. Russia.



Modupe Stella Ayilara, Oluwaseyi Samuel Olanrewaju, Olubukola Oluranti Babalola, Olu Odeyemi (2020.): Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. Department of Microbiology, Faculty of Science, Obafemi Awolowo University. Nigeria.

Möller, F. (1968.): Oxidation-reduction potential and hygienic state of compost from urban refuse. International Research Group on Refuse Disposal, Information Bulletin, 32.

Mironov V.V., Potokina V.V., Botchkova E.A., Vanteeva A.V., Zagustina N.A., Parshina S. N. (2021.): Activity of Methanogenic Archaea during the Composting of Organic Waste. a Winogradsky Institute of Microbiology, Fundamentals of Biotechnology Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Moscow. Russia.

Niese, G. (1963.): Experiments to determine the degree of decomposition of refuse by its self-heating capability. International Research Group on Refuse Disposal.

Obrist, W. (1965): Enzymatic activity and degradation of matter in refuse, digestion. International Research Group on Refuse Disposal, Bulletin 24.

Olfa Fourti, Naceur Jedidi, Abdenaceur Hassen, (2008.): Behaviour of Main Microbiological Parameters And of Enteric Microorganisms During the Composting of Municipal Solid Wastes and Sewage Sludge in A Semi-Industrial Composting Plant. Centre des Recherches et des Technologies des Eaux, Laboratoire Traitement et Recyclage.

Rahel Gebeyehu<sup>1</sup>, Mulugeta Kibret (2013.): Microbiological and Physico-chemical Analysis of Compost and its Effect on the Yield of Kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar. Ethiopia, ulugeta Kibret, Bahir Dar University.

Raut, M.P., Prince William, S.P.M., Bhattacharyya, J.K., Chakrabarti, T., Devotta, S. (2008.): Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste - a compost maturity analysis perspective. *Bioresource Technology*, 99 (14) : 6512-6519.

Rebollido, R. Martínez, J., Aguilera, Y., Melchor, K., Koerner, I., Stegmann, R. (2008): Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Applied Ecology and Environmental Research*, 6: 61- 67.

Rolle, G., Oršanić, E. (1964.): A new method of determining decomposable and resistant organic matter in refuse and refuse compost. International Research Group on Refuse Disposal.

- Ryckeboer, J., Mergaert, J., Coosemans, J., Deprins, K., Swings, J. (2003.): Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *Journal of Applied Microbiology*.
- Rynk R., Maarten van de K., Willson G. B., Singley M. E., Richard T. L., Kolega J. J., Gouin F. R., Lucien L. Jr., Kay D., Murphy D. W., Hoitink H. A. J., Brinton W. F. (1992.): *On-Farm Composting Handbook*, 6-40.
- Said-Pullicino, D., Erriquens, F.G., Gicliotti, G. (2007.): Changes in the chemical characteristics of waterextractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. *Bioresource Technology*, 98 : 1822-1831.
- Sekulić P., Kastori R., Hadžić V. (2003.): *Zaštita zemljišta od degradacije*. Novi Sad
- Sharma H.S.S. (1989): Economic importance of thermophilous fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 31: 1-10.
- Sherman R. (2016.) *The Composting Process*, NC State University, prezentacija
- Shindell, D., G. Faluvegi, D. Koch, G. A. Schmidt, N. Unger i S. E. Bauer (2009.): *Improved Attribution of Climate Forcing to Emissions*.
- Smoljko I.,(2009.):*Recikliranje krutog otpada, nerecenzirani materijali*. Kemijskotehnoški fakultet, Split,
- Stackebrandt, E., Rainey, F.A., Ward-Rainey, N.L. (1997.): Proposal for a new heirarchic classification system, *Actinobacteria classis nov. Int. J. Syst. Bacteriol.*, 47, 479–491.
- Sokač, T., Valinger, D., Benković, M., Jurina, T., Gajdoš, Kljusurić, J., Radojčić Redovniković I., Jurinjak Tušek, A. (2022.): Application of Optimization and Modeling for the Enhancement of Composting Processes. *Processes*, 229: 3.
- Storm, IMLD., Kristensen, NB., Raw, J. (1985.): Fungi and Selected Mycotoxins From Pre and Postfermented Corn Silage. *Journal of Applied Microbiology* 104:1034-1041.
- Switzenbaum MS., Moss LH., Epstein E., Pincince AB., Donovan JF. (1997.): Defining bio solids stability. *J Envirion Eng* 123:1178-1184.
- Taiwo L.B., B. A. (2003.): *OsoInfluence of composting techniques on microbial succession, temperature and pH in a composting municipal solid waste*.

Tiquia, S.M. (2005): Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*, 99: 816-828.

Trautmann N., Olynciw E. (1996.): *Compost Microorganism*. Cornell Waste Management Institute, 4: 55-65.

Trautmann N.M., Richard T., M.E. Krasny (1996.): *Compost in Schools*. Photosynthesis Productions, Inc. Ithaca, New York

Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o izmjeni Uredbe 2018/841 o uključivanju emisija i uklanjanja stakleničkih plinova iz korištenja zemljišta, prenamjene zemljišta i šumarstva u okvir za klimatsku i energetske politiku do 2030.

Vargas-Garcia, M.C., Suárez-Estrella, F., López, M.J., Moreno, J. (2010.) : Microbial population dynamics and enzyme activities in composting processes with different starting materials. *Waste Management*, 771-778.

Veeken, A., Hamelers, H. (2002.): Sources of Cd, Cu, Pb and Zn in biowaste. *Science of The Total Environment*, 300: 87-89.

Vukobratović, M. (2008.): *Proizvodnja i ocjena kvalitete komposta ranih stajskih gnojiva*. Doktorski rad, Poljoprivredni fakultet u Osijeku: Lončarić Z., Parađiković N., Popović B., Lončarić R., Kanisek J. (2015.): *Gnojidba povrća, organska gnojiva i kompostiranje: Organska gnojiva*, 2: 93.

Zakon o održivom gospodarenju otpadom (2013.): *Narodne novine* 94 (NN 94/13).

Waksman, S.A., Cordon T.C., Hulpoi N. (1939.): Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in compost of stable manure: *Soil Science*, 47:83-114.

Willson George B. (1989.): *Combing raw materials for composting*. *BioCycle*, 82-85.

## 8. Sažetak

Kompostiranje je proces razgradnje organskih tvari pomoću mikroorganizama u stabilnu tvar, kao što je kompost. Kroz proces kompostiranja izmjenjuju se različite zajednice mezofilnih i termofilnih mikroorganizama. Cilj ovog istraživanja je utvrditi kvantitativan sastav fizioloških grupa mikroorganizama u suhom, zreloom miješanom i miješanom kompostu. Mikrobiološkom analizom određena je ukupna brojnost gljiva, aktinomiceta, mezofilnih aerobnih bakterija, aminoheterotofa i asimbiotskih fiksatora dušika. Rezultati su utvrdili najveću brojnost aminoheterotrofa u sva tri ispitana uzorka. Konačan proizvod odnosno kompost predstavlja visoko vrijedan materijal koji će daljnjom primjenom poboljšati plodnost tla kroz povećanje biogenosti tla, a to će dalje se rezultirati povećanjem kvalitete tla.

Ključne riječi: bakterije, gljive, aktinomicete, aminoheterotofi, asimbiotski fiksatori dušika, organski komunalni otpad

## **9. Summary**

Composting is the process of breaking down organic matter by microorganisms into a stable substance, such as compost. Different communities of mesophilic and thermophilic microorganisms alternate through the composting process. The aim of this study is to determine the quantitative composition of physiological groups of microorganisms in dry, mature mixed and mixed compost. Microbiological analysis determined the total number of fungi, actinomycetes, mesophilic aerobic bacteria, aminoheterotopes and asymbiotic nitrogen fixators. The results determined the highest number of aminoheterotrophs in all three examined samples. The final product or compost is a highly valuable material that will be further improved by improving soil fertility by increasing soil biogenicity, and this will further result in increased soil quality.

Keywords: microorganisms, bacteria, fungi, actinomycetes, aminoheterotrophs, non-symbiotic nitrogen fixators, compost

## 10. Popis tablica

Tablica 1 Čimbenici koji utječu na proces kompostiranja .....	9
Tablica 2. Izvori ugljika i dušika .....	10
Tablica 3 Ocjena stabilnosti komposta prema intezitetu disanja.....	19
Tablica 4 Rezultati ukupne brojnosti gljiva na 1g tla.....	25
Tablica 5 Rezultati ukupne brojnosti aktinomiceta na 1g tla .....	25
Tablica 6 Rezultati ukupne brojnosti aminoheterotrofa na 1g tla .....	26
Tablica 7 Reultati ukupne brojnosti aerobnih mezofilnih bakterija na 1g tla .....	26
Tablica 8 Rezultat postotka asimbiotskih fiksatora dušika i suhe tvari na 1g tla.....	26

## 11. Popis slika

Slika 1. Kompost .....	4
Slika 2. Prikaz glavnih faza tijekom procesa kompostiranja.....	8
Slika 3. Prikaz procesa kompostiranja.....	9
Slika 4. Materijali koji se koriste u procesu kompostiranja .....	14
Slika 5. Otvoreni sustav kompostiranja.....	16
Slika 6. Vertikalni i horizontalni reaktor .....	17
Slika 7. Bakterije .....	21
Slika 8. Aktinomicete .....	22
Slika 9. Gljive.....	22
Slika 10. Arheje .....	23
Slika 11. Uzorci komposta.....	24

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehnički znanosti Osijek  
Sveučilišni diplomski studij, smjer Ekološka poljoprivreda

Diplomski rad

Mikrobiološka analiza komposta

Gabrijela Martić

**Sažetak:** Kompostiranje je proces razgradnje organskih tvari pomoću mikroorganizama u stabilnu tvar, kao što je kompost. Kroz proces kompostiranja izmjenjuju se različite zajednice mezofilnih i termofilnih mikroorganizama. Cilj ovog istraživanja je utvrditi kvantitativan sastav fizioloških grupa mikroorganizama u suhom, zreлом miješanom i miješanom kompostu. Mikrobiološkom analizom određena je ukupna brojnost gljiva, aktinomiceta, mezofilnih aerobnih bakterija, aminoheterotofa i asimbiotskih fiksatora dušika. Rezultati su utvrdili najveću brojnost aminoheterotrofa u sva tri ispitana uzorka. Konačan proizvod odnosno kompost predstavlja visoko vrijedan materijal koji će daljnjom primjenom poboljšati plodnost tla kroz povećanje biogenosti tla, a to će dalje se rezultirati povećanjem kvalitete tla.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehnički znanosti Osijek

**Mentor:** Gabriella Kanižai Šarić

**Broj stranica:** 40

**Broj grafikona i slika:** 11

**Broj tablica:** 8

**Broj literaturnih navoda:** 90

**Broj priloga:** 0

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** mikroorganizmi, bakterije, gljive, aktinomicete, aminoheterotofi, asimbiotski fiksatori dušika, kompost

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Brigita Popović
2. prof. dr. sc. Gabriella Kanižai Šarić
3. prof. dr. sc. Irena Rapčan

**Rad je pohranjen u:** Knjižnici Fakulteta agrobiotehnički znanosti Osijek, Sveučilišta J. J. Strossmayera u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehnički znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1.



## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Josip Jurarj Storrsmayer University Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
University graduate study, Organic agriculture**

**Graduate thesis**

Microbiological analysis of compost

Gabrijela Martić

**Abstract:** Composting is the process of breaking down organic matter by microorganisms into a stable substance, such as compost. Different communities of mesophilic and thermophilic microorganisms alternate through the composting process. The aim of this study is to determine the quantitative composition of physiological groups of microorganisms in dry, mature mixed and mixed compost. Microbiological analysis determined the total number of fungi, actinomycetes, mesophilic aerobic bacteria, aminoheterotopes and asymbiotic nitrogen fixators. The results determined the highest number of aminoheterotrophs in all three examined samples. The final product or compost is a highly valuable material that will be further improved by improving soil fertility by increasing soil biogenicity, and this will further result in increased soil quality.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek

**Mentor:** Gabriella Kanižai Šarić

**Number of pages:**40

**Number of figures:** 11

**Number of tables:** 8

**Number of references:** 90

**Number of appendices:** 0

**Original in:** Croatian

**Key words:** microorganisms, bacteria, fungi, actinomycetes, amino heterotrophs, symbiotic nitrogen fixers, compost

**Thesis defended on date:**

**Reviewers:**

1. Brigita Popović, full professor
2. Gabriella Kanižai Šarić, full professor
3. Irena Rapčan, full professor

**Thesis deposited at:** Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical sciences Osijek, Vladimira Preloga 1.