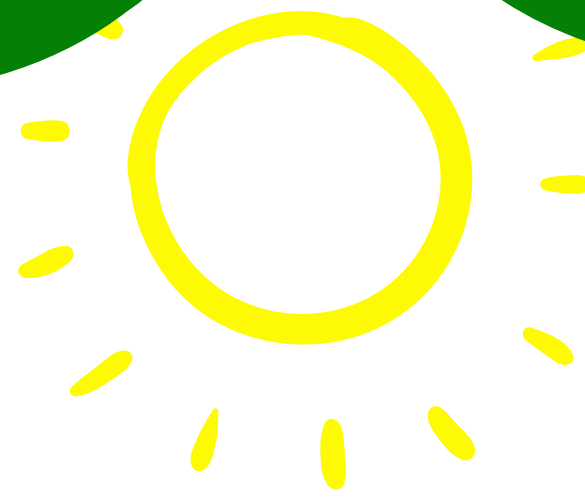


UniCompoST

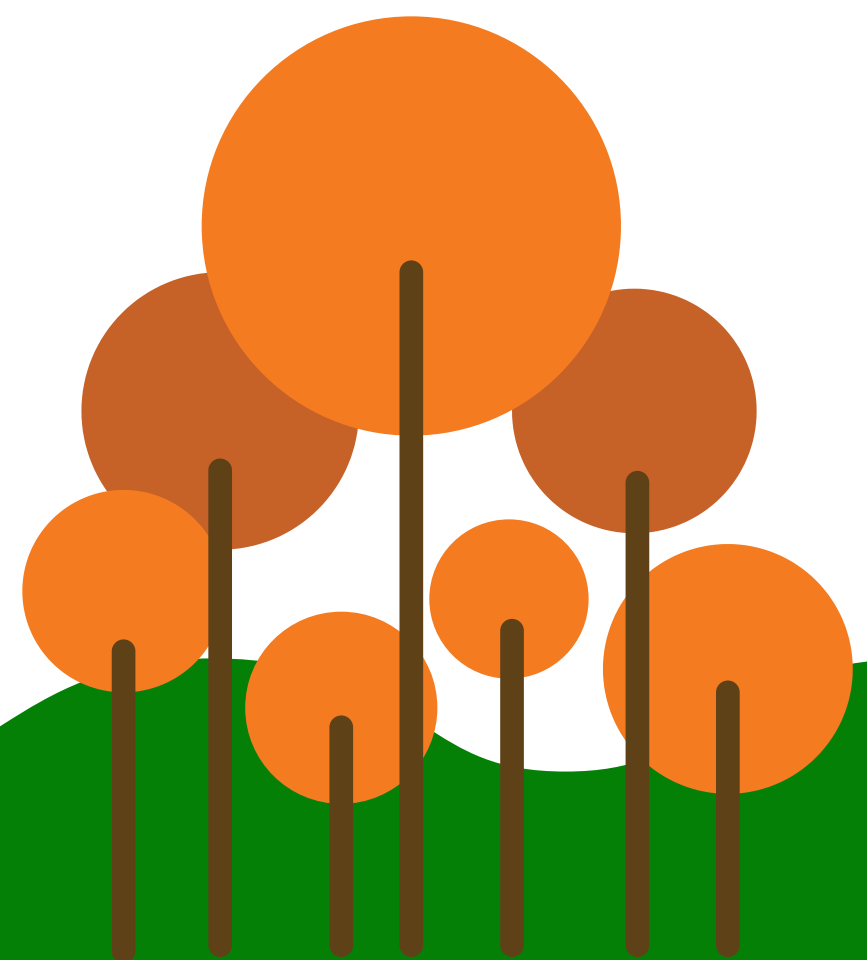
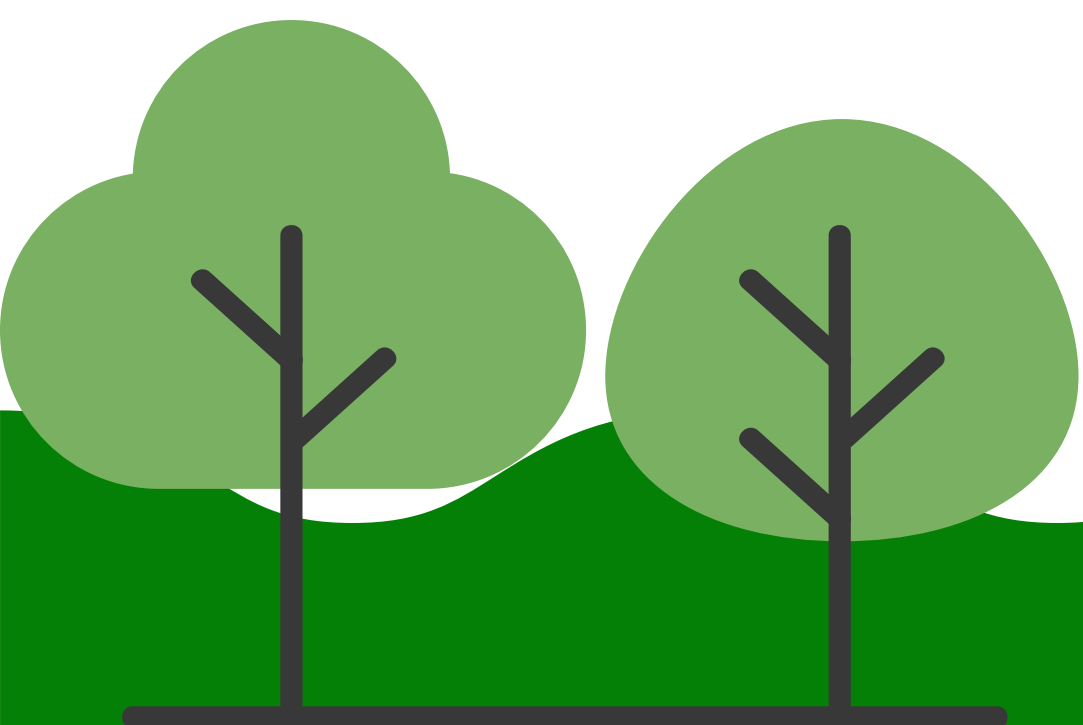
Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu

Udruga Sunce Split



## Kompostiranje

Tamo gdje otpad prestaje biti  
smeće



Split, 2020.

# IMPRESUM

## Glavni urednik

Zvonimir Jukić

## Urednici

Ante Čović-Stanić, Ella Danese, Antonija Zorić, Anica Pavlinović, Ena Dadić

## Dizajn i grafika

Zvonimir Jukić

## Lektura

Maja Golem, Dada Lerotić

Priručnik "Kompostiranje - tamo gdje otpad prestaje biti smeće" izrađen je u sklopu projektnih aktivnosti posljednje grupe studenata s Kemijsko-tehnološkog fakulteta u okviru dvogodišnjeg projekta Praktično-Aktivno-Zajedno-Interdisciplinarno! Program društveno korisnog učenja za okoliš i održivi razvoj započeo je 19. ožujka .2018. godine i provodi ga Udruga za prirodu, okoliš i održivi razvoj Sunce s partnerima.

Izdano: ožujak 2020., Split



FACULTY OF CHEMISTRY  
AND TECHNOLOGY

UDRUGA ZA PRIRODU, OKOLIŠ I ODRŽIVI RAZVOJ

**sunce**

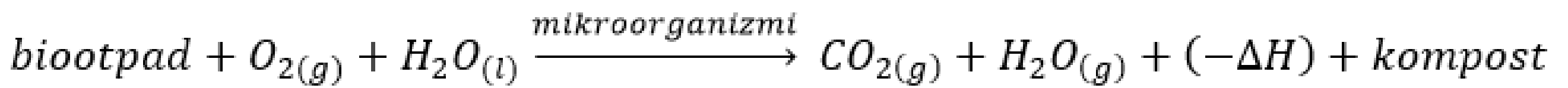
# SADRŽAJ

1. Uvod u proces kompostiranja.....	1
2. Zašto kompostirati?.....	5
3. Materijal za kompostiranje.....	7
4. Mikrobiologija kompostiranja.....	9
5. Procesni parametri i kontrola kvalitete.....	11
6. Faze i promjene u procesu kompostiranja.....	18
7. Sustavi za kompostiranje.....	22
8. Zrelost, primjena i prednosti komposta.....	26
9. Uloga komposta u tlu.....	31
10. Primjeri dobre prakse.....	33
11. Literatura.....	37



# 1. UVOD U PROCES KOMPOSTIRANJA

Kompostiranje\* je bioagrotehnički proces transformacije organske biomase iz otpada koja se, spontano ili kontrolirano, u prisustvu zraka, razlaže i pretvara u stabilno, ekološki najprihvatljivije organsko gnojivo s visokim sadržajem humusa.

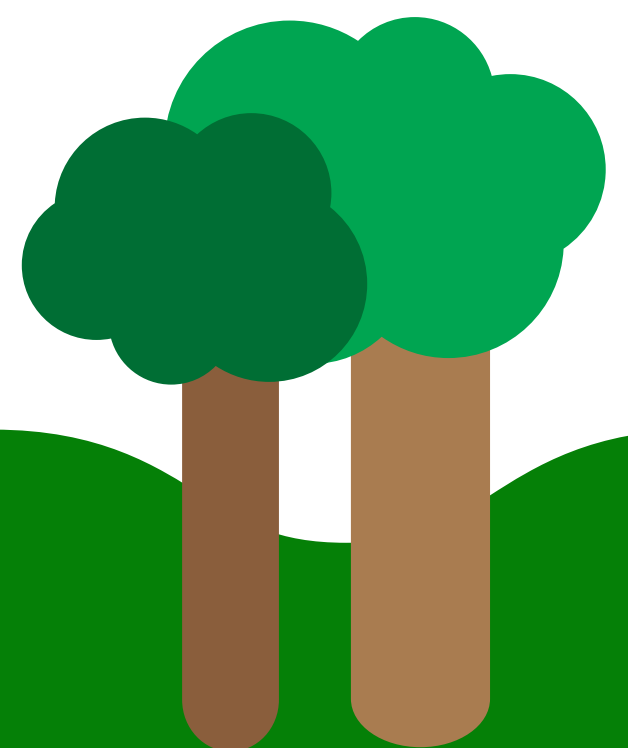


Organska masa identificirana u otpadu može biti biljnog ili životinjskog porijekla. U procesu kompostiranja važnu ulogu imaju mikroorganizmi koji prerađuju organski materijal i biološki aktiviraju tlo. Kompostiranje je prije svega prirodan proces i događa se svuda oko nas. Prikupljeni biootpad nije smeće, već je visokovrijedna sirovina koja je najčešće i besplatna, a koja se kompostiranjem prevodi u visokovrijedan proizvod. Kompostiranje se svakako nameće kao jedna od važnijih i neophodnih metoda gospodarenja organskim otpadom i može se direktno povezati sa svim komunalnim problemima. Kompostiranje kao odgovoran način upravljanja biootpadom, ovisno o samom pristupu procesu, zahtijeva gotovo minimalna ulaganja.

Kompostiranje je najstariji i najprikladniji način recikliranja otpada!

---

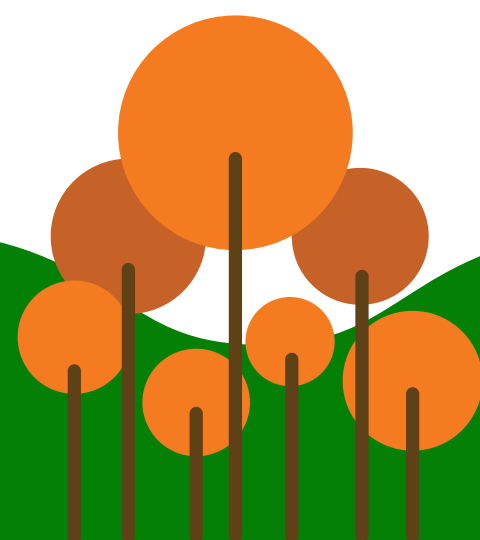
\*lat. *compostium*



**Biorazgradivi otpad** je vrsta otpada, biljnog ili animalnog podrijetla, razgradiva od strane mikroorganizama i drugih, viših organizama. U posljednje vrijeme naglasak se stavlja na iskorištenje biorazgradivog otpada kao sekundarne sirovine ili izvora energije. Službeno se biorazgradivi otpad definira kao otpad koji se razgrađuje tijekom dužeg vremena pomoću različitih aerobnih i anaerobnih mikroorganizama stvarajući procjedne vode i deponijske plinove. S obzirom na navedenu definiciju, Europska unija kroz **Direktivu o odlaganju otpada** kao cilj postavlja dugoročno smanjenje količine odloženog biootpada na odlagalištima. Biootpad je moguće, u kontroliranim uvjetima, obraditi biološki ili termički i time produljiti životni vijek odlagališta, a ujedno smanjiti emisiju tvari štetnih po okoliš.

**Biootpad** se definira kao biološko razgradiv otpad iz vrtova i parkova, te hrane, kuhinjski otpad iz kućanstva, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. Porijeklom može biti komunalni ili proizvodni. Ne uključuje ostatke iz šumarstva i poljoprivrede, uključujući gnoj i mulj iz pročišćavača otpadne vode.

**Proces kompostiranja** prepoznat je kao dio održivog i integralnog sustava gospodarenja otpadom i koristi se kao način stabilizacije organskog otpada. Proces se može odvijati na više načina i kroz više sustava, a zbog veće količine biootpada koji se može jednokratno obraditi te nižih investicijskih troškova, proces se uglavnom provodi u nereaktorskim sustavima.



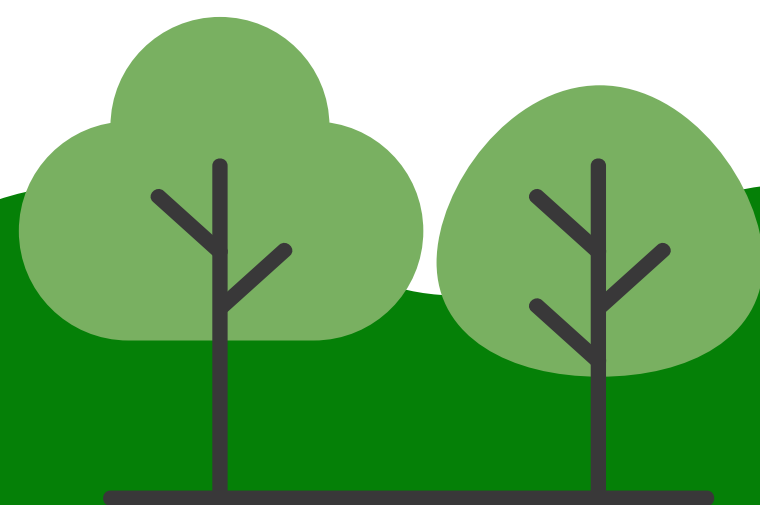
S obzirom na to da kompostiranje u nekontroliranim uvjetima i nekontroliranom okruženju negativno utječe na okoliš, sve više se istražuju reaktorski sustavi za kompostiranje, pri čemu se naglasak stavlja na ubrzavanje i učinkovitost procesa bez negativnog utjecaja na okoliš. Proces kompostiranja ispunjava nekoliko ciljeva gospodarenja otpadom: stabilizaciju, smanjenje volumena i sanitaciju patogenih mikroorganizama toplinskom inaktivacijom.

**Stabilizacija** predstavlja stvaranje produkata koji ne podliježu truljenju pri čemu ne dolazi do samozagrijavanja ili do potrošnje kisika te produkta koji ne oslobađa neugodne mirise i ne privlači štetočine.

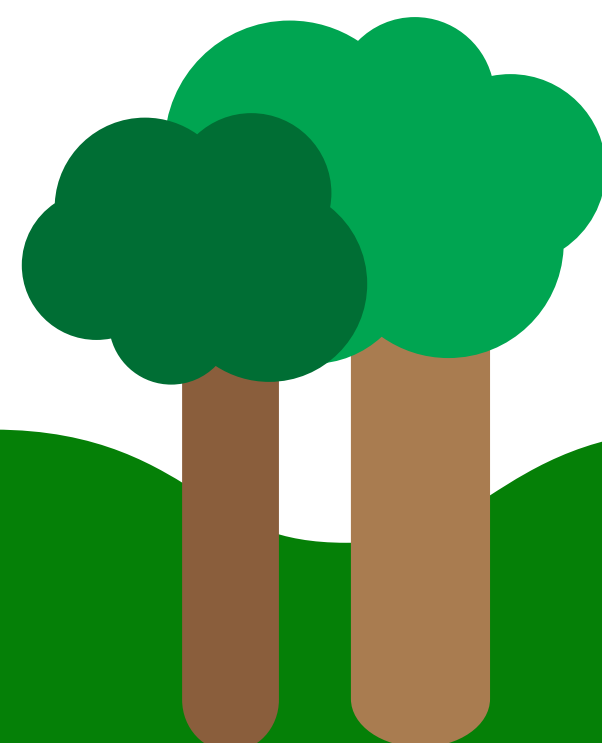
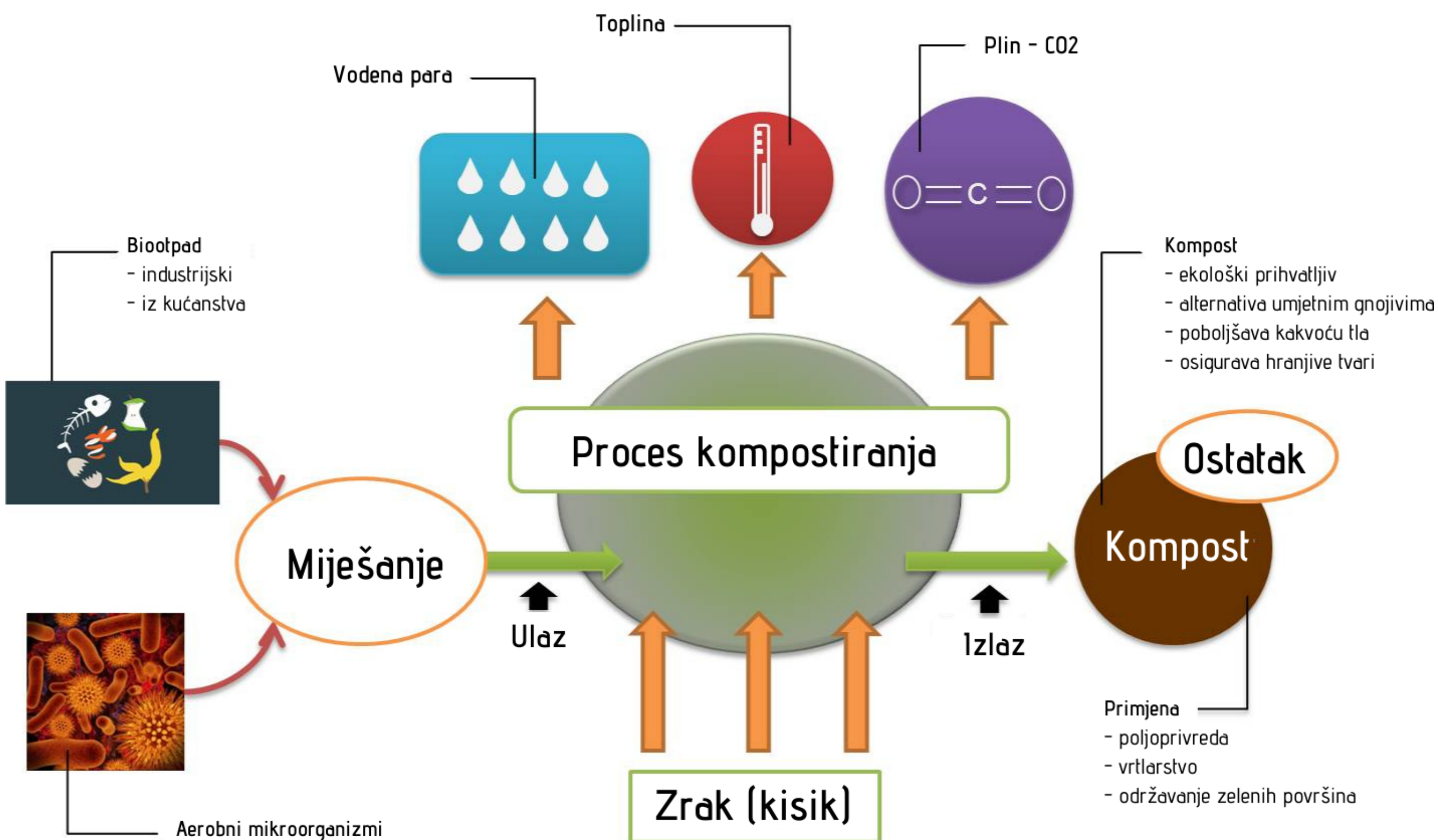
Tri su razloga zašto se vrši pretvorba organske tvari iz biorazgradivog otpada u kompost:

- izbjegavanje fitotoksičnosti (promjene različita karaktera (npr. oštećenje lišća, zaostajanje u rastu) na bilju nastale primjenom sredstava za zaštitu bilja, gnojiva i drugih kemijskih sredstava)
- uklanjanje/uništavanje patogenih mikroorganizama
- proizvodnja gnojiva ili sredstva za poboljšanje tla i/ili recikliranje organskog otpada i biomase

Iz aspekta zaštite okoliša, kompostiranje predstavlja mnogo prihvatljiviji način zbrinjavanja biorazgradivog otpada od odlaganja otpada na odlagališta neopasnog otpada ili na druga odlagališta. Biološka razgradnja otpada kojom se ne upravlja (truljenje biootpada) ne smatra se kompostiranjem.



Jednadžba reakcije kompostiranja može se prikazati i na sljedeći način:

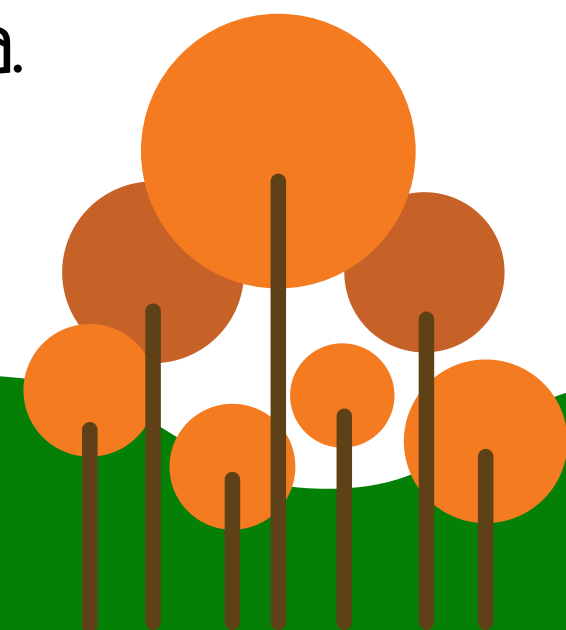


## 2. ZAŠTO KOMPOSTIRATI?

Odlaganje na legalnim ili divljim odlagalištima je najgori način zbrinjavanja otpada. Takvim načinom (ne)gospodarenja otpadom ugrožava se flora i fauna, tlo i voda a dolazi i do emisije velikih količina stakleničkih plinova u atmosferu. Organski otpad čini približno trećinu kućnog otpada a čine ga ostaci povrća i voća, trava, lišće, cvijeće ... Stoga se nameću dva glavna razloga za kompostiranje:

### 1) Eliminira se štetan utjecaj odbačenog biootpada na okoliš

U nekontroliranim uvjetima procesom truljenja biološkog otpada dolazi do stvaranja procjednih voda. Procjedne su vode tekućine koje prolazeći kroz odlagalište povlače brojne tvari, a među njima i onečišćivala iz odloženog otpada kao što su teški metali, štetni organski spojevi i slično. Prolaskom procjednih voda kroz tlo tvari tako mogu dospjeti i do površinskih i podzemnih voda ili se zadržati u tlu. Tlo ima filtracijsko djelovanje te djeluje kao pročištač voda, ali dugotrajnim izlaganjem onečišćenjima može doći do akumulacije štetnih tvari u tlu. Kako tlo ima određeni kapacitet vezivanja štetnih tvari, u slučaju preopterećenja dolazi do njihova naglog otpuštanja direktno u podzemne tokove što može dovesti i do zagađenja površinskih voda. U anaerobnim procesima truljenja unutar odlagališta razvija se staklenički plin metan ( $\text{CH}_4$ ) koji ima intenzivniji učinak na klimatske promjene nego iste količine  $\text{CO}_2$ . Zbog zapaljivosti metana na odlagalištima, događaju se spontani požari koji stvaraju postojeane organske onečišćujuće tvari kao što su dioksini i furani koji imaju štetna djelovanja na okoliš i na zdravlje čovjeka.

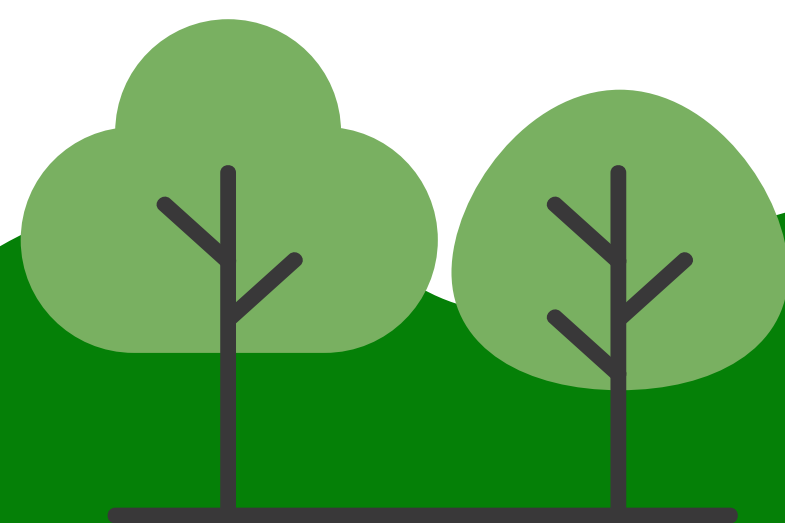




## 2) Kao proizvod dobije se vrijedan materijal koji povećava kakvoću okoliša i tla

Kompostiranjem zatvaramo prirodni ciklus kruženja tvari u prirodi: od biorazgradivog otpada nastaju vrijedne organske tvari. Dobiveni kompost koristi se u poljoprivrednoj proizvodnji, hortikulturi i održavanju javnih zelenih površina. Pozitivni učinci upotrebe komposta su: poboljšanje strukture tla, povećanje mikrobiološke aktivnosti u tlu, smanjenje potrebe za navodnjavanjem, unos potrebnih hranjivih tvari za rast i razvoj bilja (povećanje plodnosti i produktivnosti), stabilizacija pH vrijednosti tla. Od komposta se mogu praviti i različite vrste "čajeva" koji služe za prihranjivanje biljaka preko listova. Također upotreba komposta ima pozitivan utjecaj na bilje. Mikroorganizmi iz tla uz kompost pomažu pri smanjenju velikog broja biljnih bolesti te se tako smanjuje potreba za korištenjem pesticida i ostalih kemikalija koje mogu imati toksična djelovanja. Usjevi koji se gnoje kompostom redovno daju veće prinose, a samo zemljište je bolje strukture i manje iscrpljeno.

Osim navedena dva razloga, a to su ekološka i ekonomska korist, kompostiranjem se ostvaruje i društvena korist.



# 3. SUPSTRAT ZA KOMPOSTIRANJE

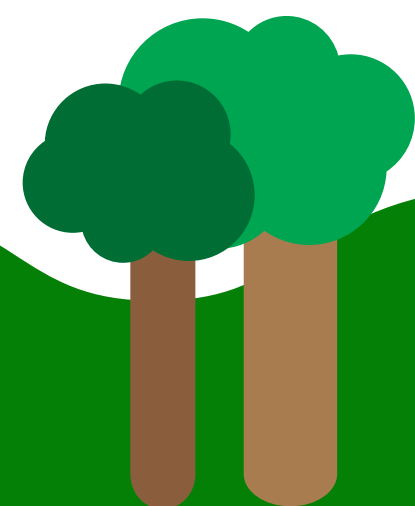
Materijal za kompostiranje mora sadržavati komponente smeđeg biotpada i komponente zelenog biotpada. Smeđi biotpad sadrži više ugljika i usporava procese truljenja, dok je zeleni biotpad bogat dušikom i potiče procese truljenja.

Veći intenzitet procesa osigurava se unošenjem materijala bogatog mikroorganizmima (vrtna zemlja, zemlja riječnog korita, aktivni mulj...). Komponente koje smo odlučili kompostirati potrebno je unijeti u komposter odjednom radi osiguravanja postizanja optimalne temperature. Stoga se većinom počinje s kompostiranjem tek kada skupimo dovoljnu količinu materijala.

U kompostnu hrpu preporučuje se dodavati i ljekovito bilje koje ubrzava razgradnju i sprječava nastanak patogenih organizama (kopriva, stolisnik i kamilica).

Kompostiranjem je moguće obraditi različite vrste čvrstog otpada među kojima su biorazgradivi dio komunalnog otpada (uključujući papir i otpad sa zelenih površina) te proizvodni otpad različitih industrija (proizvodnja i prerada voća i povrća, drvna industrija, šećerane, proizvodnja papira, tekstilna industrija...).

Pri pripremi materijala za kompostiranje potrebno je voditi računa o C:N odnosu - omjeru ukupnog organskog ugljika i ukupnog dušika. Metodologija pripreme materijala sastoji se od nekoliko postavki: uzorkovanje u fazi prikupljanja materijala, pripremi uzorka i analize sastava komponenti uzorka.



Uzorkovanje komponenti materijala vrši se na osnovi poznavanja C:N odnosa svake pojedine komponente. Na osnovu zadanog volumena biootpada kojeg želimo kompostirati i poznavanja C:N odnosa pojedine komponente, izračunavamo ulaznu masu svake komponente materijala i tako osiguravamo ciljani C:N odnos gotovog komposta. Nakon uzorkovanja komponenti materijala radimo pripremu, fizikalnu obradu materijala. Završni korak se odnosi na provjeru teoretskog C:N odnosa kemijskim analizama. Više o važnosti C:N odnosa možete pronaći na stranicama 16 i 17.

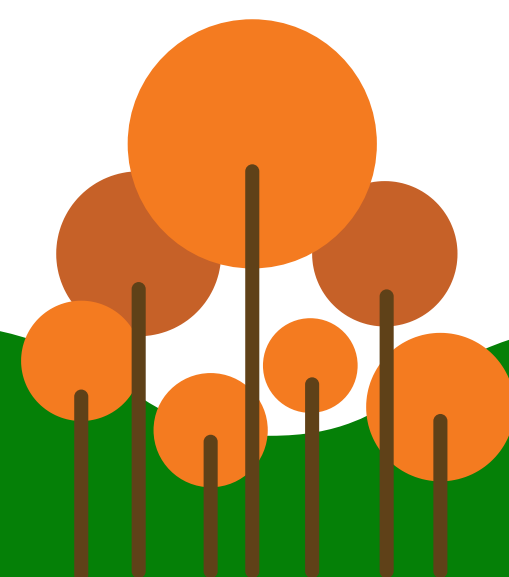
Idealni C:N omjer za kompostiranje je 30:1. Za kompostiranje su najvažniji ugljik i dušik jer ugljik predstavlja izvor energije i osnovnu građevnu jedinicu koja čini 50 % mase stanica mikroorganizama, dok je dušik važna komponenta proteina, nukleinskih kiselina, aminokiselina, enzima i koenzima, koji su stanici potrebni za rast i razvoj.

### Poželjne komponente

Pokošena trava, lišće, uvelo cvijeće, usitnjeno granje, pepeo drvenog ugljena ili drva, piljevina, ljuske jaja, sijeno, sirovi ostaci voća i povrća, kore agruma, talog kave i čaja, karton, papir, perje

### Nepoželjne komponente

Metal, plastika, staklo, odjeća, osjemenjeni korov, lišće oraha, bolesne biljke, otpaci kuhanog jela, meso, riba, kosti, tiskovine u boji, ostaci duhana i opušci, stari lijekovi, bojano drvo, biootpad u dodiru s organskim kemikalijama



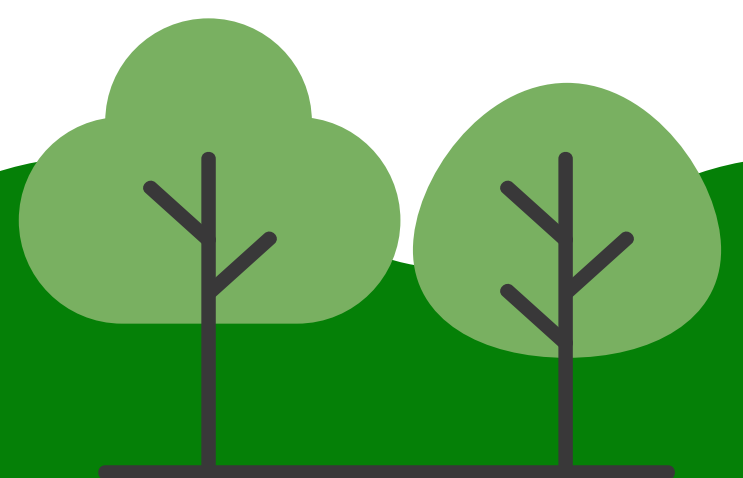
# 4. MIKROBIOLOGIJA KOMPOSTIRANJA

U procesu kompostiranja, razgradnju biorazgradive tvari provode aerobni mikroorganizmi i to uglavnom bakterije i fungi. Ostale grupe mikroorganizama nisu od velikog značaja za kompostiranje. Potrebni mikroorganizmi potječu iz okoliša. Prisutni su u materijalu za kompostiranje, u vodi, zraku, tlu te na kraju i u procesnoj opremi koja se koristi tijekom kompostiranja. Različiti izvori osiguravaju prisutnost različitih grupa mikroorganizama što održava aktivnost mikrobne populacije tijekom cijelog procesa, neovisno o promjenama kemijskih i fizikalnih svojstava materijala - promjena pH vrijednosti, temperature, vlažnosti i udjelu organske tvari.

## 1) Bakterije

Bakterije dominiraju tijekom cijelog procesa kompostiranja, ali najčešće se povezuju s razgradnjom lako razgradivih organskih spojeva u mezofilnoj fazi. Bakterijska populacija koja razgrađuje organsku tvar u procesima kompostiranja najviše ovisi o kemijskom sastavu otpada. Općenito su za razgradnju organske tvari u većini otpadnih materijala najzaslužnije one vrste bakterija koje pokazuju proteolitičku i celulolitičku aktivnost. Mnoge bakterije imaju mogućnost formiranja spora koje su otpornije prema visokim temperaturama, zračenju ili kemijskim agensima. Prisutnost sporogenih bakterija te otpornost spora prema visokim temperaturama određenih mezofilnih bakterija bitna je za završnu fazu kompostiranja.

Među bakterijskom populacijom u procesima kompostiranja najvažniju ulogu imaju aktinomiceti zbog mogućnosti razgradnje relativno složenih molekula. Ipak, u nekim slučajevima kao što je kompostiranje aktivnog mulja nastalog nakon obrade otpadnih voda, bakterije, posebno određene vrste iz roda *Bacillus*, imaju ključnu ulogu.

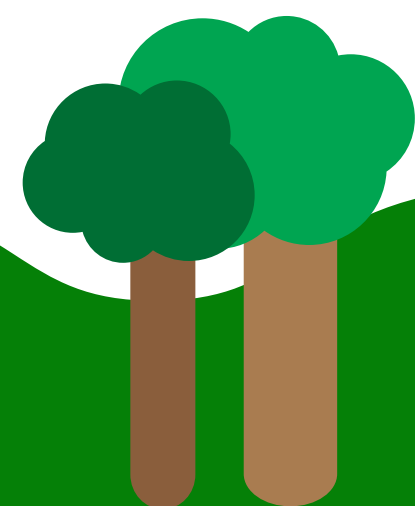


## 2) Arheobakterije

Većina arheobakterija termofilne su pa čak i hipertermofilne. Iako su rijetki slučajevi izolacije arheobakterija iz komposta, nedavno je otkrivena značajna emisija metana u kompostnim hrpama kao posljedica prisutnosti metanogenih arheobakterija. Razlog za malu zastupljenost arheobakterija u kompostnom materijalu vjerojatno je u tome što su to uglavnom oligotrofni mikroorganizmi te njihovo generacijsko vrijeme mnogo je duže nego kod bakterija.

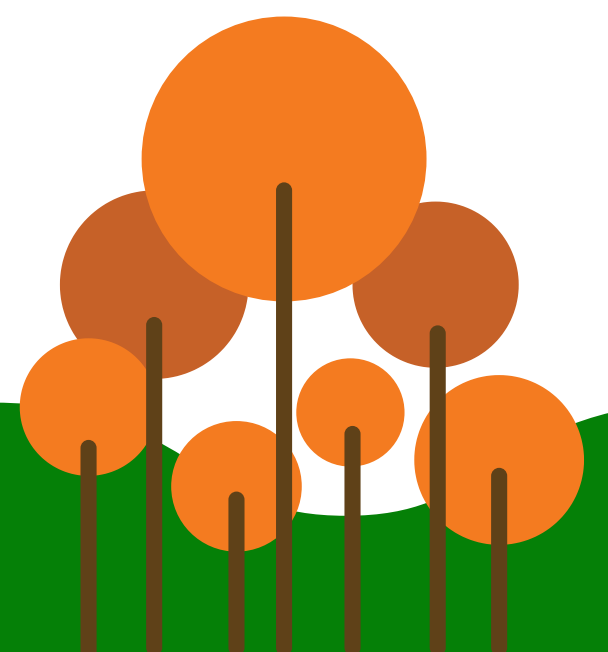
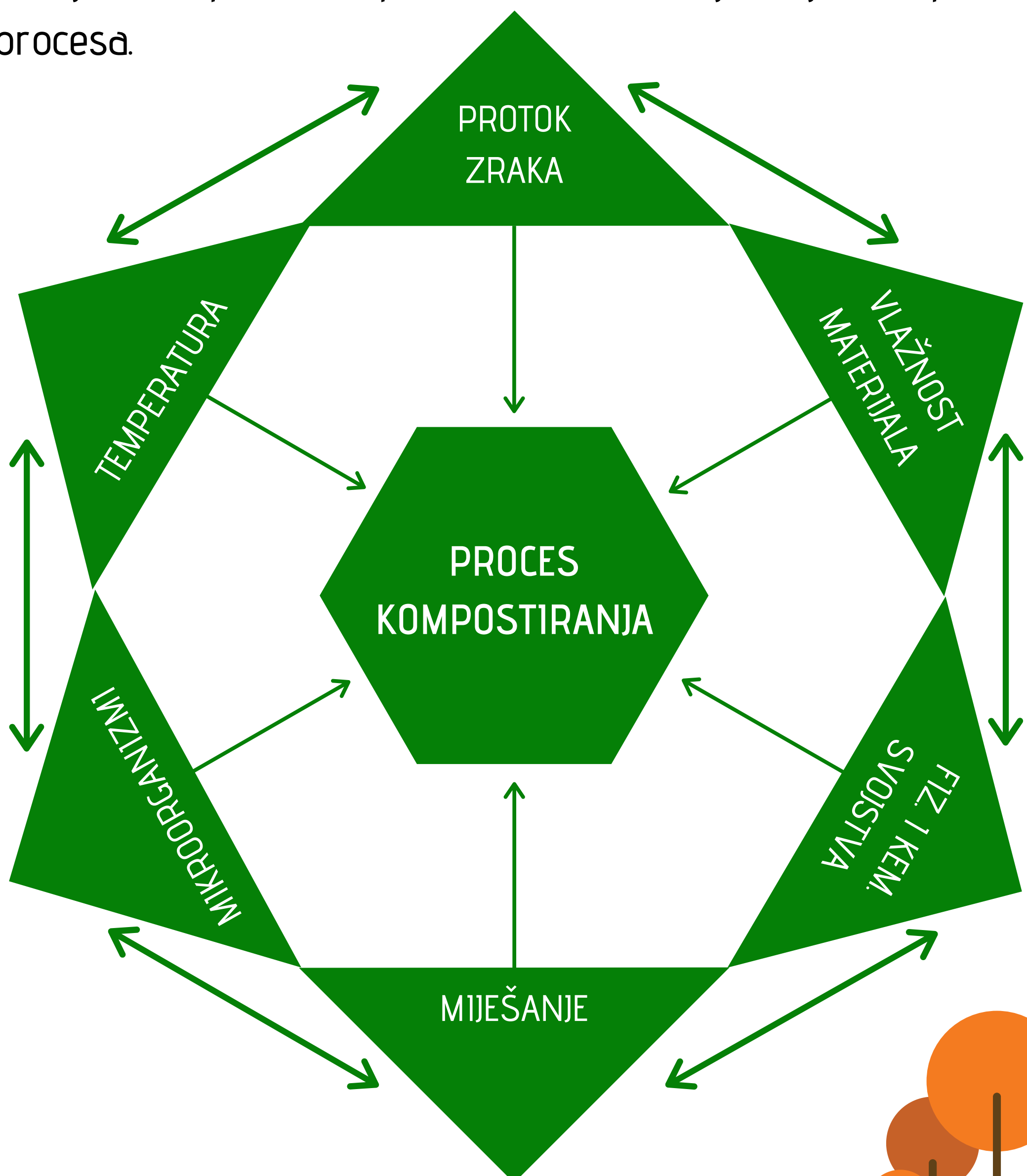
## 3) Fungi

U početnoj fazi procesa kompostiranja fungi se „natječu“ s bakterijama za lako razgradive komponente. Zbog veće maksimalne specifične brzine rasta bakterija u odnosu na funge, fungima se broj postepeno smanjuje. S druge strane dobra opskrba kisikom važnija je za fungi nego za bakterije. Privremeni ili lokalni anoksični uvjeti mogući su i kod prisilno aeriranih sustava. Zbog navedenog, kao i zbog male termotolerantnosti, fungi nemaju značajnu ulogu tijekom termofilne faze. Izuzetak su procesi kompostiranja materijala bogatih celulozom i ligninom kod kojih fungi imaju najznačajniju ulogu tijekom čitavog procesa.



# 5. PROCESNI PARAMETRI I KONTROLA KVALITETE

U kompostiranju ulaz, odnosno materijal koji se namjerava obraditi, predstavlja biorazgradivi čvrsti otpad. Kemijska i fizikalna svojstva navedenog supstrata stoga su ključan faktor uspješnosti procesa u smislu brzine i tijeka procesa. Koncentracija, omjer te dostupnost hranjivih tvari mikroorganizmima direktno utječu na provedbu procesa. Najvažnija fizikalna svojstva biotapada su: veličina čestica, vlažnost i pH vrijednost materijala. Od procesnih čimbenika najvažniji su usitnjavanje materijala za kompostiranje, temperatura, protok zraka te miješanje kompostne mase tijekom procesa.

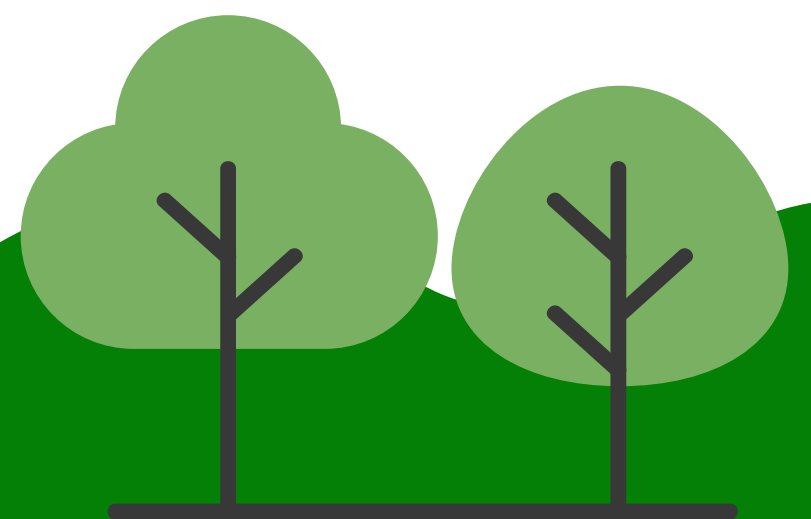


## 1) Usitnjavanje materijala

Pogodna veličina čestica koja se koristi u procesu kompostiranja kreće se u rasponu od 1 do 3 cm. Brzina razgradnje i sama aktivnost mikroorganizama ovisi o veličini čestica. Biorazgradnja supstrata manjih čestica odvija se većom brzinom jer je time povećana ukupna površina dostupna mikroorganizmima. Ako su čestice premale, zbog smanjenog prostora među njima, otežan je protok i difuzija kisika pa može doći do stvaranja anaerobnih uvjeta. Ako su čestice prevelike, proces se usporava. Otpadni materijal koji se kompostira potrebno je usitniti ako su čestice materijala prekrupne. Praškasti materijali miješaju se s drugim, krupnijim materijalima ili im se dodaju inertni materijali (komadi automobilskih guma, šljunak) kojima se osigurava prozračnost kompostne mase, a koji se na kraju izdvajaju iz produkta.

## 2) Vlažnost materijala

Voda je nužna tvar za sve žive organizme pa tako i za mikroorganizme koji provode biorazgradnju u procesu kompostiranja. Za mikroorganizme ne postoji gornja granica sadržaja vode u materijalu koji se kompostira, međutim prevelika količina vode smanjuje zračni prostor unutar matrice kompostnog materijala čime je otežan prolaz i prijenos kisika. U tom slučaju dolazi do anaerobnih uvjeta, odnosno do usporavanja procesa te nezadovoljavajuće kvalitete produkta. Ujedno je time onemogućeno zagrijavanje kompostne mase zbog velikog toplinskog kapaciteta vode. Ako je sadržaj vode u kompostnom materijalu prenizak, zaustavlja se biološki proces čime se dobiva fizički stabilan, ali biološki nestabilan produkt.



Svaka mikroba aktivnost zaustavlja se kada udio vode u biorazgradivom materijalu iznosi manje od 8-12% i u tom slučaju udio vode postaje limitirajući čimbenik. Većina provedenih istraživanja kao i praksa nalažu održavanje udjela vode iznad 40%. Optimalni sadržaj vode u materijalu iznosi oko 60%. Ipak, taj udio ovisi o otpadu koji se kompostira, o njegovim fizikalnim svojstvima, veličini čestica i o sustavu u kojem se proces provodi te tu veličinu potrebno je eksperimentalno odrediti. Optimalan udio vode u određenom materijalu moguće je odrediti poznavajući poroznost ( $\varepsilon$ ) i udio slobodnog zračnog prostora  $w(\text{FAS} = \text{Free Air Space})$ :

$$w(\text{H}_2\text{O}) = 1 - \frac{1}{\varepsilon} \cdot w(\text{FAS})$$

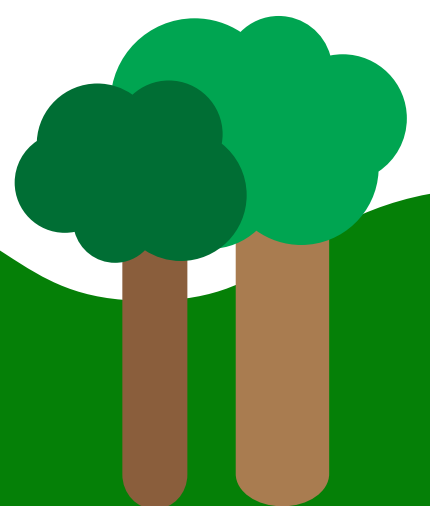
Veličina  $w(\text{FAS})$  svojstvena je procesima kompostiranja i predstavlja praznine, između vlažnih čestica materijala, koje su ispunjene zrakom. Optimalne vrijednosti te veličine kreću se u granicama 0,20 – 0,35. Poroznost u jednadžbi može se izračunati prema sljedećoj jednadžbi:

$$\varepsilon = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_t} \right) \text{ gdje je } \rho_s \text{ gustoća kompostne mase, a } \rho_t \text{ gustoća čestice,}$$

[kg/m<sup>3</sup>]. Gustoća kompostne mase ( $\rho_s$ ) ovisna je o udjelu vode te nije moguće izračunati optimalne vrijednosti  $w(\text{H}_2\text{O})$  za zadane optimalne vrijednosti  $w(\text{FAS})$ . Umjesto toga pretpostavlja se empirijski izraz ovisnosti tih dviju veličina:

$$w(\text{H}_2\text{O}) = a - b \cdot w(\text{FAS})$$

gdje su  $a$  i  $b$  parametri koje je potrebno procijeniti na temelju eksperimentalnih podataka.



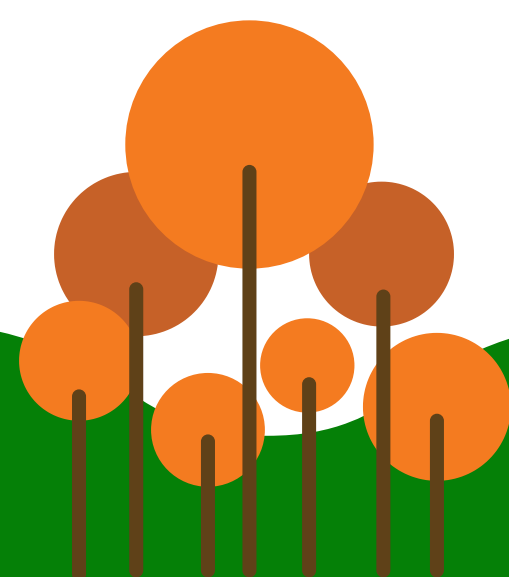


### 3) Protok zraka

Jedan od glavnih čimbenika kod procesa kompostiranja jest doprema kisika u kompostnu masu. Ujedno je to ključan čimbenik u razvoju tehnologije i projektiranju sustava za kompostiranje. Aerobni uvjeti unutar kompostne mase omogućavaju se prozračivanjem i to pozitivnim ili negativnim tlakovima ili kombinacijom istih. Osim što se osigurava doprema kisika do kompostne mase, prozračivanjem se omogućuje kontrola temperature i vlažnosti materijala. Tijekom kompostiranja zahtjevi za kisikom promjenjivi su s obzirom na kemijski sastav i strukturu kompostne mase. Općenito, tijekom procesa opada koncentracija kisika, a raste koncentracija ugljikovog dioksida. Ukupni volumni udio tih dvaju plinova unutar kompostne mase iznosi oko 20% ukupnog plina (zraka). Koncentracija kisika kreće se u vrijednostima između 15 i 20%, a ugljikovog dioksida između 0,5 i 5%. Ako koncentracija kisika padne ispod navedenih vrijednosti, dolazi do anaerobnih uvjeta. Zbog toga je aerobnim mikroorganizmima koji sudjeluju u procesima kompostiranja bitno osigurati konstantan dotok zraka.

### 4) Temperatura

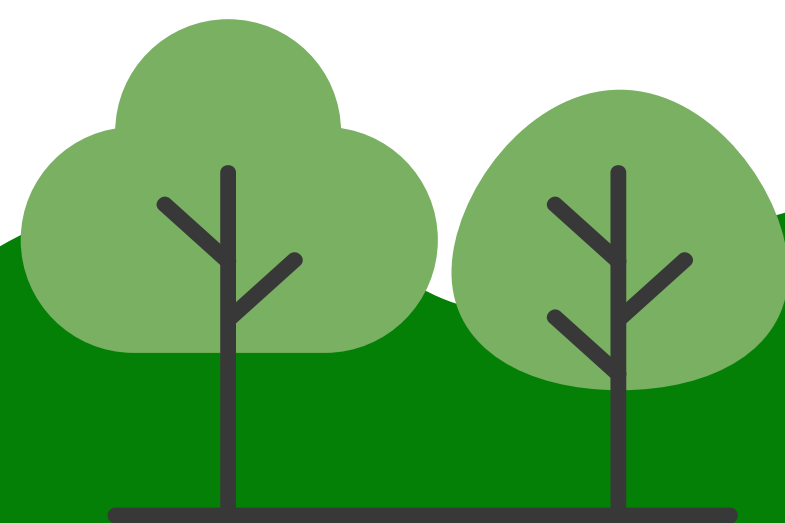
Aerobna biorazgradnja egzoterman je proces kojim nastaje relativno velika količina energije. Dio nastale energije (do 50%) koriste mikroorganizmi za sintezu adenozin trifosfata (ATP-a), a ostatak energije se oslobađa u obliku topline te dijelom zaostaje u kompostnoj masi (oslobađa se kondukcijom, radijacijom ili se odvodi zrakom koji prolazi kroz kompostnu masu).



Velika količina energije, oslobođena u obliku topline, uzrokuje porast temperature sve do vrijednosti od 70 do 80°C. Tako visoke vrijednosti temperature inhibiraju aktivnost većine mikroorganizama koji sudjeluju u kompostiranju. Vrijednost temperature pri kojoj se postiže maksimalna brzina biorazgradnje uvelike ovisi o tvari koja se razgrađuje. Kod kompostiranja materijala s većim udjelom jednostavnih organskih molekula najveća brzina biorazgradnje kao i mikrobna raznolikost ostvaruje se pri temperaturama između 30 i 45°C. Ipak, u procesima kompostiranja, temperaturne vrijednosti iznad 45°C bitne su zbog razgradnje složenijih organskih molekula te uništavanja patogenih mikroorganizama. Temperature pri kojima se postiže najveća brzina razgradnje složenijih molekula iznose od 45 do 65°C.

## 5) Vrijednost pH

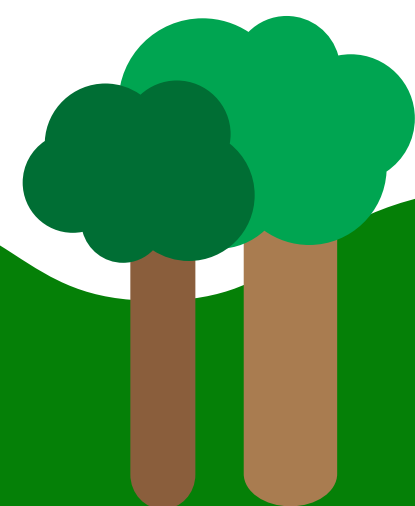
Optimalne vrijednosti pH materijala za kompostiranje kreću se u granicama od 5,5 do 8,5. Ipak, poželjno je da je vrijednost pH u granicama od 6,5 do 7,5. Preniske ili previsoke pH vrijednosti početnog materijala inhibiraju aktivnost mikroorganizama pa kompostiranje nije moguće provesti. Visoka pH vrijednost početnog supstrata s visokom temperaturom koja se oslobađa tijekom kompostiranja uglavnom dovodi do gubitka dušika hlapljenjem amonijaka. Nisku početnu pH vrijednost moguće je podesiti dodavanjem različitih anorganskih soli kao što su vapno, natrijev hidrogen-karbonat, natrijev acetat ili miješanjem kiselog materijala s neutralnim ili lužnatim materijalom u odgovarajućem omjeru. Tijekom kompostiranja pH vrijednost se mijenja zbog promjene kemijskog sastava kompostne mase. Općenito, u prvoj fazi procesa pH-vrijednost opada jer



bakterije razgrađuju jednostavne organske spojeve do međuprodukata u obliku organskih kiselina. Rijetki su slučajevi kada se pH-vrijednost spusti do vrijednosti koje inhibiraju aktivnost mikroorganizama i stoga nije potrebno tijekom kompostiranja kompostnoj masi dodavati lužnate tvari. Napredovanjem procesa nastaje amonijak čime pH-vrijednost raste i na kraju procesa iznosi 8,0 do 9,0.

## 6) Omjer C:N

U mikrobni metabolizam uključene su različite hranjive tvari koje sadrže osnovne elemente (C, N, P, K) te elemente u tragovima (Co, Mn, Mg, Cu i dr.). Ipak, najvažniji podatak o bilanci hranjivih tvari jest omjer masenog udjela ugljika i dušika, odnosno omjer C:N. Mikroorganizmi u svom metabolizmu koriste 30 jedinica ugljika na svaku jedinicu dušika. Tijekom kompostiranja kontinuirano se smanjuje omjer C:N zbog biološke mineralizacije organskih ugljikovih spojeva i oslobađanja CO<sub>2</sub>. Za procese kompostiranja optimalni omjer C:N biorazgradivog otpada u granicama je od 25 do 30 a prema nekim literaturnim podacima i do 35. Ako je omjer C:N biootpada viši od optimalnog, dolazi do smanjenja mikrobiološke aktivnosti čime se produljuje trajanje procesa kompostiranja. To je osobito izraženo kod biootpada u kojima ukupni organski ugljik prevladava u molekulama koje teško podliježu biorazgradnji (lignin, celuloza, određeni aromatski spojevi i drugo). Vrijednosti omjera C:N niže od 20 nisu ključne za samu brzinu reakcije biorazgradnje, međutim, u tom slučaju dolazi do gubitka dušika uslijed hlapljenja amonijaka. Osim što amonijak onečišćuje atmosferu te što je uzrok povećanju pH vrijednosti kompostnog materijala i pojavi neugodnih mirisa, gubitkom dušika smanjuje se i ograničava uporabna vrijednost konačnog produkta.

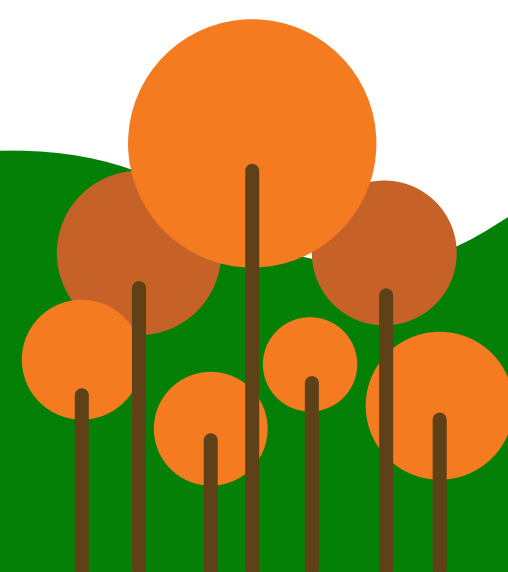



Tablica 1. Sadržaj dušika i omjer C:N pojedinih vrsta biorazgradivog otpada

<i>Materijal</i>	<i>w (N), %</i>	<i>Omjer C:N</i>
Aktivni mulj	5	6
Fekalije krava	1,7	18
Fekalije svinja	2,3	-
Fekalije peradi	6,3	15
Otkos trave	3-6	12-15
Plodna zemlja	5,5-6,5	6-10
Povrće (bez mahunarki)	2,5-4	11-12
Stabljika krumpira	1,5	25
Sirovi mulj iz obrade voda	4-7	11
Piljevina	0,1	200-500
Zobena slama	1,1	48
Pšenična slama	0,3-0,5	128-150
Mokaraća stajskih životinja	15-18	0,8

## 7) Miješanje supstrata

Miješanje je bitno u procesu kompostiranja jer tako se homogenizira kompostna hrpa, raspodjeljuju mikroorganizmi, obnavlja poroznost, prozračuje kompostna hrpa i omogućava isparavanje vode i plinova.





Posljednjih godina došlo je do napretka u tehnologiji kompostiranja unošenjem mikrobnih inokulata, što rezultira ubrzanjem i usmjeravanjem procesa kompostiranja. Mješanjem se, dakle, osigurava dovodjenje svježeg zraka i izmjena nastalih plinova. Isto tako, usljed promjene i pada pH vrijednosti tijekom kompostiranja dolazi do limitirane aktivnosti mikroorganizama. Situacija se može popraviti miješanjem kompostne hrpe, što će uzrokovati ponovnu aktivaciju mikroorganizama uslijed dotoka svježeg zraka. S druge strane povišenje vrijednosti pH događa se zbog oslobađanja amonijaka iz sirovina bogatih dušikom. U ovom slučaju mješanjem se ispušta nastali amonijak iz komposta.

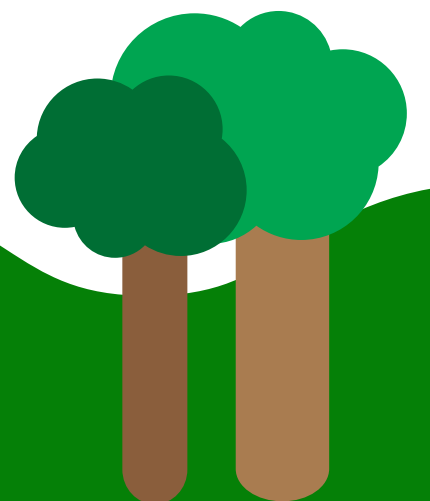
# 6. FAZE I PROMJENE U PROCESU KOMPOSTIRANJA

## 1) Mezofilna faza - 25 do 45 °C

U početnoj fazi lako razgradive molekule poput šećera i bjelančevina razgrađuju bakterije, aktinomiceti i fungi. U toj fazi broj mezofilnih mikroorganizama veći je od broja termofilnih za tri reda veličine i njihovom biokemijskom aktivnošću raste temperatura unutar kompostne mase.

## 2) Termofilna faza - 45 do 65 °C

Povišenjem temperature raste broj termofilnih mikroorganizama koji potpuno zamjenjuju mezofilne. Mezofilni mikroorganizmi odumiru i zajedno s preostalim lako razgradivim supstratom bivaju razgrađeni termofilnim mikroorganizmima. Brzina razgradnje u toj fazi raste do vrijednosti od oko 60°C. Iznad temperature od 55 °C opada aktivnost termofilnih funga dok termotolerantne i termofilne bakterije ostaju aktivne. Iako temperature iznad 65°C inaktiviraju većinu mikroorganizama, moguć je porast temperature sve do 80°C. Pretpostavka je da tako visoke vrijednosti temperatura nisu posljedica aktivnosti živih stanica, već egzotermnih reakcija u kojima sudjeluju temperaturno stabilni enzimi autoliziranih aktinomiceta. Termofilna faza ujedno je važna zbog sanitacije, odnosno higijenzacije sirovog komposta. Većina patogenih mikroorganizama te sjemenje korova i jajašca kukaca uništavaju se pri visokim temperaturama. Osim visoke temperature, do sanitacije dolazi i zbog prevladavanja aktinomiceta koji proizvode antibiotike. Nasuprot tome, nepoželjne su temperature iznad 70°C jer se uništava većina mezofilnih mikroorganizama te je otežano njihovo ponovno aktiviranje u fazi hlađenja.



### 3) Faza hlađenja

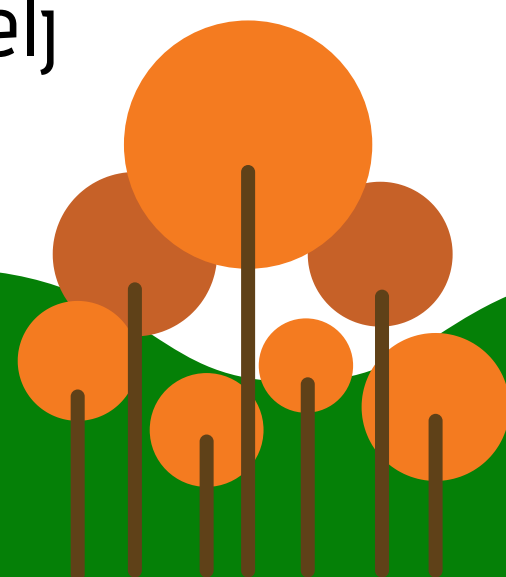
Temperatura unutar kompostne mase počinje opadati nakon što se u termofilnoj fazi iscrpi biorazgradivi materijal te se ponovno, iz preživjelih spora, aktiviraju mezofilni mikroorganizmi. Za razliku od početne mezofilne faze, u ovoj se fazi povećava broj mikroorganizama koji razgrađuju škrob i celulozu, a među njih spadaju bakterije i fungi.

### 4) Faza zrenja

U fazi zrenja dolazi do potpune izmjene mikrobne zajednice. U pravilu raste broj fungi dok broj bakterija opada. Tijekom zrenja nastaju i prevladavaju tvari koje nisu razgradive kao što su kompleksni spojevi lignin – humus.

### Promjena temperature

Temperatura kompostne mase počinje rasti čim se zadovolje uvjeti za kompostiranje, odnosno čim se otpad odgovarajućih svojstava postavi u sustav za kompostiranje. U samom početku procesa porast je temperature postepen (lag faza). Pri odgovarajućim uvjetima, temperatura zatim eksponencijalno raste do vrijednosti od 65 do 70°C. Ovisno o sustavu u kojem se provodi kompostiranje, te se vrijednosti temperature zadržavaju od jednog do tri tjedna, nakon čega temperatura postepeno opada do temperature okoliša. Ako uvjeti nisu optimalni, ta se faza može produljiti na više od tri tjedna pri čemu su i maksimalne vrijednosti temperatura nešto niže (55-60°C). Porast temperature posljedica je topline oslobođene mikrobnom aktivnošću, ali i toplinske izolacije sustava ili provođenja topline kroz kompostnu masu. Porast temperature pokazatelj



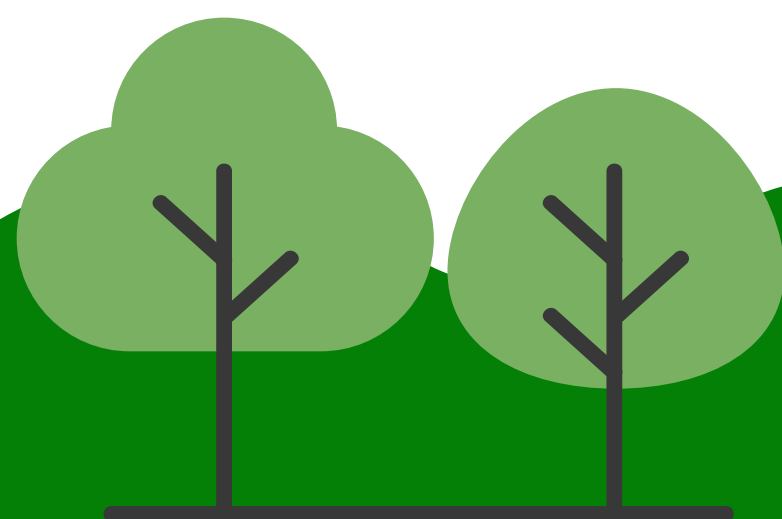
je mikrobne aktivnosti. Do eksponencijalnog porasta temperature dolazi zbog razgradnje/oksidacije lako razgradivih komponenti otpada (šećeri, škrob i jednostavne bjelančevine). Tijekom tog perioda eksponencijalno raste i mikrobna populacija. Nakon što se razgrade lako razgradive organske tvari i zaostanu složene molekule, bakterijska aktivnost opada, a s tim i temperatura.

### Promjena fizikalnih svojstava

Tijekom kompostiranja kompostna masa mijenja svoja kemijska i fizikalna svojstva, čime se mijenja boja, struktura te miris kompostne mase. Tijekom procesa kompostni materijal postepeno poprima tamnije nijanse, a na kraju procesa produkt je tamno sive ili tamno smeđe boje. Promjene u mirisu još jedan su pokazatelj napredovanja procesa. Ako je omjer masenih udjela ugljika i dušika (C:N) supstrata na početku procesa nizak, a pH vrijednost kompostne mase iznad 7,5 prevladavat će amonijak nad ostalim mirisima. Na kraju procesa produkt miriše poput plodnog tla. Zbog promjena u veličini čestica, što je rezultat razgradnje, struganja i djelovanja vode, mijenja se i tekstura kompostnog materijala. Vlakoviti materijali postaju lomljivi, a amorfni prelaze u granule.

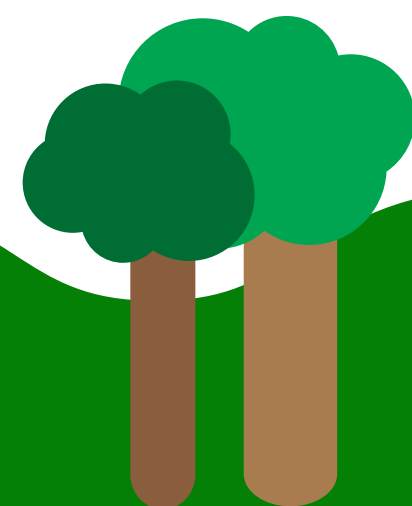
### Promjena kemijskog sastava

Kemijske promjene očituju se u smanjenju udjela organske tvari te u povećanju stabilnosti. Organska tvar često se naziva "hlapiva tvar" jer se njenom razgradnjom ugljik pretvara u ugljikov dioksid. Složene biorazgradive molekule prelaze u jednostavnije molekule, a molekule koje su djelomično ili potpuno nerazgradive ostaju nepromijenjene.





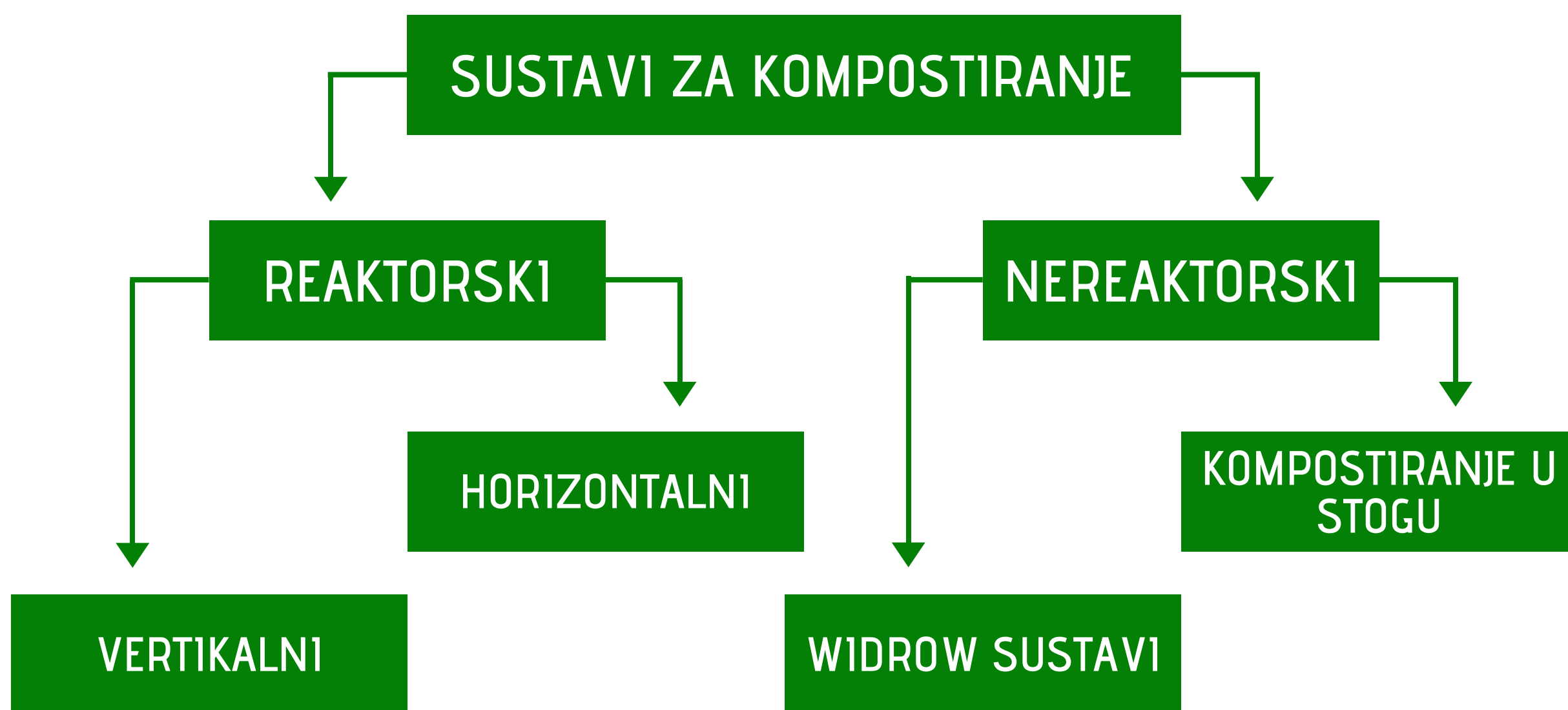
Cilj stabiliziranja otpada zapravo je pretvorba biorazgradive tvari do jednostavnijih molekula i oksidacija do ugljikovog dioksida, dok teško razgradivi spojevi ostaju nepromijenjeni.



# 7. SUSTAVI ZA KOMPOSTIRANJE

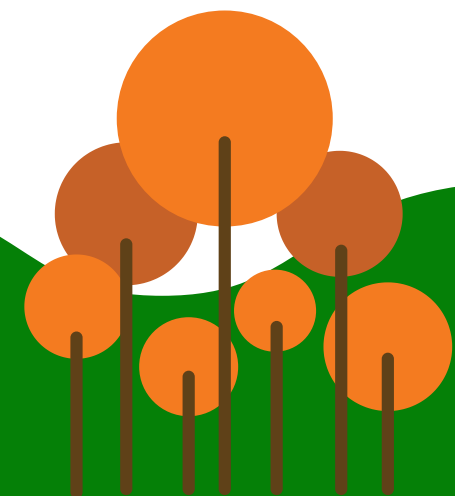
Kompostiranje se provodi u različitim sustavima ovisno, o vrsti otpada, raspoloživom prostoru, ekonomskoj isplativosti i zakonskim propisima. U literaturi se često sustavi za kompostiranje dijele na otvorene i zatvorene. Osim toga često se koriste izrazi kao kompostiranje "u posudi", "u tunelu" i slično. Sa stajališta kemijskog inženjerstva sustavi se dijele na nereaktorske i reaktorske. Obje vrste sustava mogu i ne moraju biti opremljene s mehaničkom opremom te mogu biti smještene na otvorenom prostoru ili unutar zatvorenog prostora.

Podjela sustava za kompostiranje:



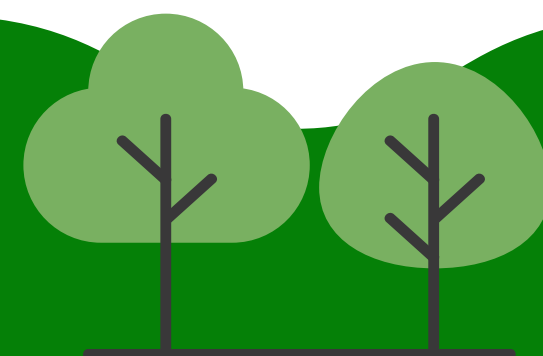
## 1) Nereaktorski sustavi

Nereaktorski sustavi često se primjenjuju zbog manjih financijskih troškova i jednostavnosti procesa. Nedostatak ovih sustava dugotrajnost je procesa (4-6 mjeseci), ovisnost o vremenskim uvjetima, nepotpuna kontrola procesa te emisija štetnih plinova i širenje neugodnih mirisa. Postoje dvije osnovne vrste nereaktorskih sustava i to „widrow” sustavi i sustavi kompostiranja u hrpi (stogu). Osnovna razlika među tim dvama sustavima jest u načinu prozračivanja kompostnog materijala.



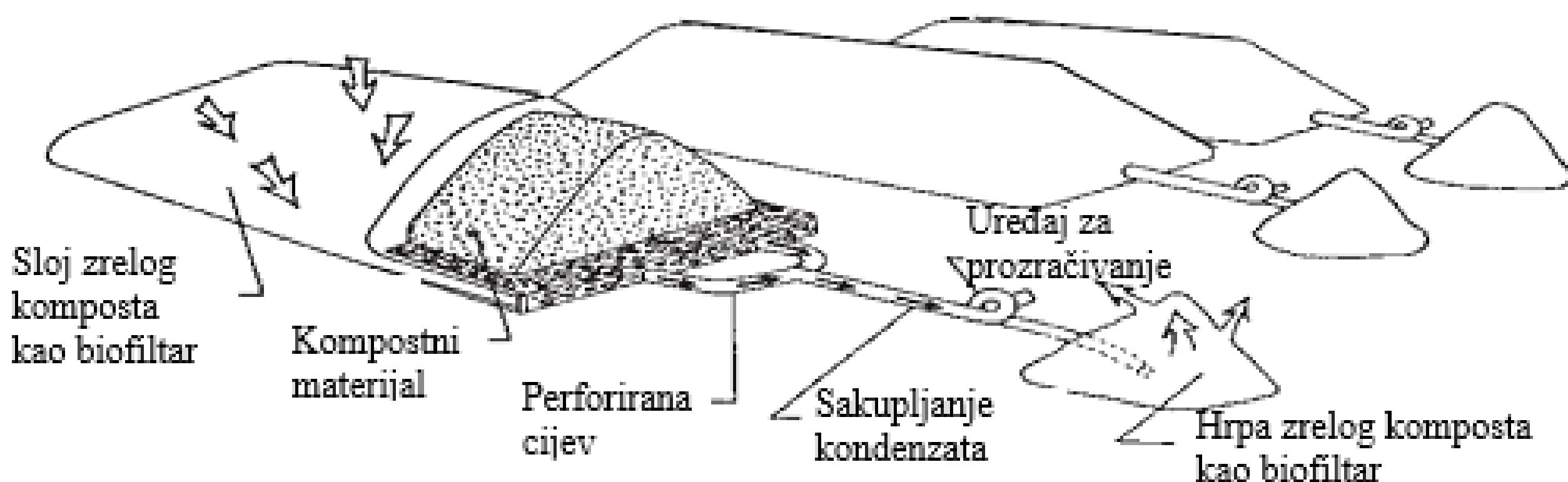
"*Widrow*" sustavi - Kod ovih sustava organski se otpad slaže u hrpe trapeznog ili polukružnog poprečnog presjeka. Hrpe se slažu u redove, a njihove dimenzije i broj ovise o količini otpada, raspoloživom prostoru, trajanju procesa te o mehaničkoj opremi. Osnovno obilježje ovih sustava jest prozračivanje mehaničkim prevrtanjem hrpe. Osim za prozračivanje, mehaničko obrtanje materijala osigurava homogenost materijala i jednolikost razgradnje u svim dijelovima kompostne mase. Prevrtanjem materijala ujedno dolazi do gubitka vode isparavanjem. Zbog toga je tijekom kompostiranja određenih vrsta otpada vodu potrebno dodavati, dok je kod otpadnih materijala s visokim udjelom vode isparavanje vode poželjno.

**Kompostiranje u hrpi (stogu)** - U sustavima kompostiranja u hrpi nema prevrtanja materijala, a prozračivanje se osigurava prirodnom ili prisilnom konvekcijom zraka kroz hrpu. U sustavima s prirodnom konvekcijom zraka prozračivanje kompostne hrpe se osigurava postavljanjem perforiranih cijevi unutar hrpe i/ili slaganjem slojeva krupnog i sitnog otpadnog materijala. Kod sustava s prisilnom aeracijom također se koriste sustavi perforiranih cijevi, ali su kod takvih sustava cijevi spojene na različite uređaje za prozračivanje. Uobičajeno je da se hrpe svježeg otpada prekrivaju slojem prethodno stabiliziranog otpada (komposta) koji ima ulogu biofiltra te je, za razliku od „windrow“ sustava, kod ovakvih sustava moguća bolja kontrola emisije štetnih plinova. Oblici hrpa mogu biti različiti, od oblika stoga do hrpa kakve se formiraju kod "widrow" sustava. Jedan od novijih sustava jest DAT-sustav (*Dome Aeration Technology*). To je sustav perforiranih, horizontalno i vertikalno postavljenih cijevi u hrpi nalik hrpama u "widrow" sustavima.



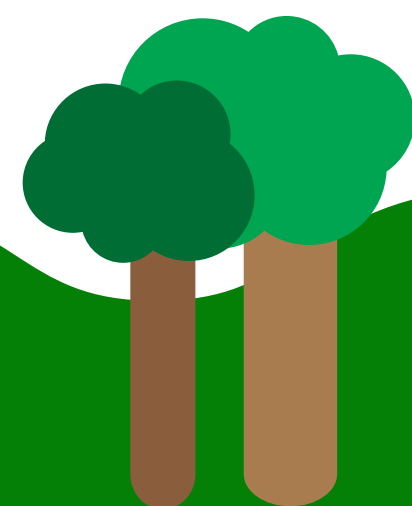
Inovativnost ovog sustava jest u visokim vertikalnim cijevima (poput dimnjaka) kojima se zbog razlike u tlakovima i temperaturi po visini osigurava stalan protok zraka kroz kompostni materijal.

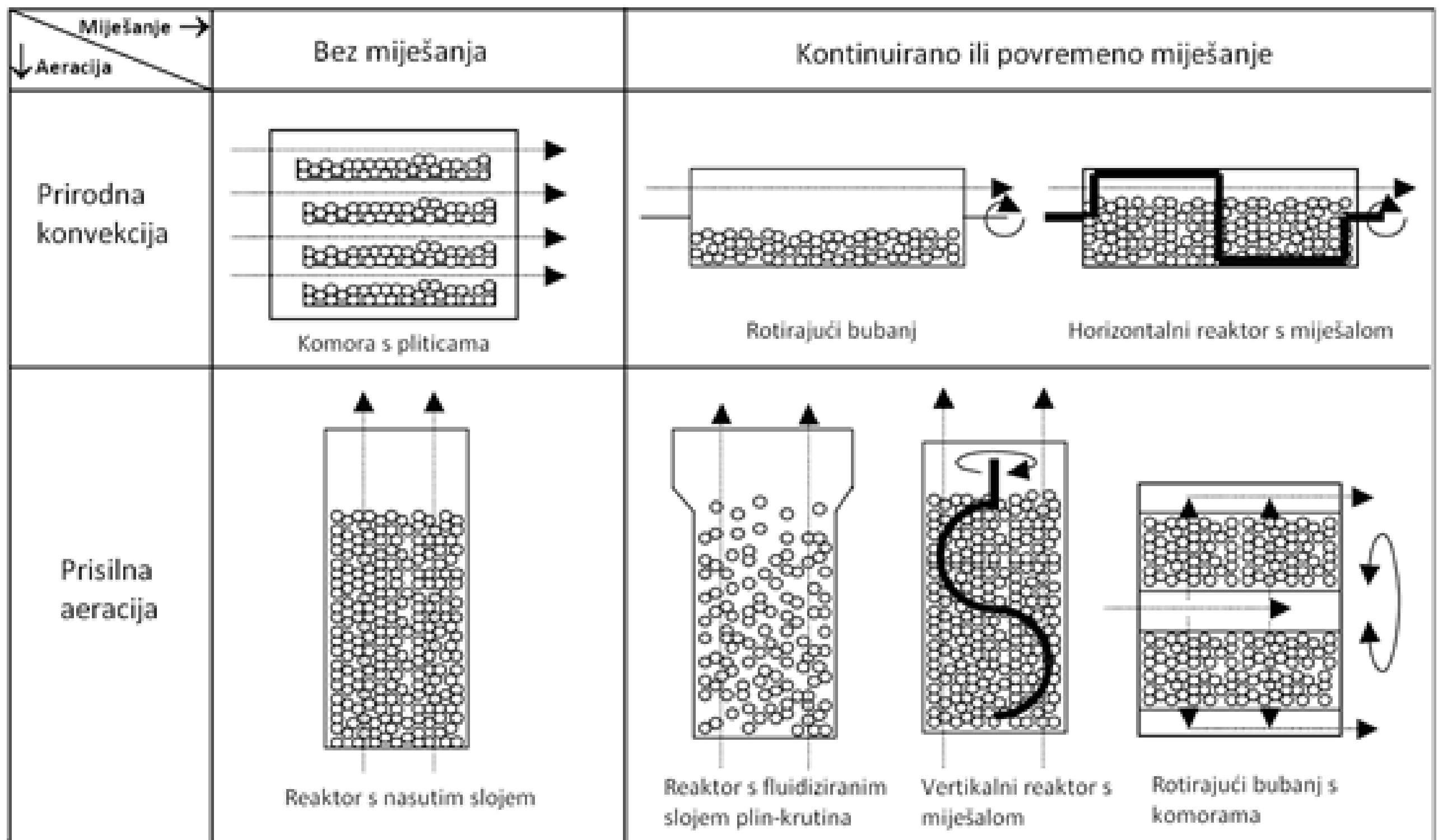
Shematski prikaz kompostiranja u hrpama s prisilnim prozračivanjem:



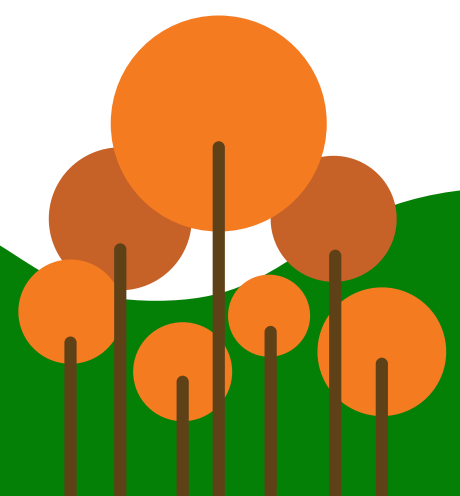
## 2) Reaktorski sustavi

U procesima kompostiranja koriste se različite izvedbe reaktora, a proces u njima može se odvijati šaržno ili kontinuirano. Reaktori za kompostiranje općenito se mogu podijeliti na vertikalne i horizontalne. Vertikalni reaktori mogu biti reaktori s nasutim slojem ili reaktori s miješalom. Horizontalni reaktori mogu biti reaktori s miješalom ili rotirajući reaktori. Osnovna podjela prikazana je na sljedećoj slici:





Zbog egzotermne reakcije koja se u njima odvija, reaktori su uglavnom toplinski izolirani, odnosno reakcija u njima odvija se adijabatski (nema izmjene topline između sustava i okoline). Moguće su i izvedbe reaktora koji rade u izotermnim uvjetima, ali se u praksi rijetko koriste zbog neisplativosti. Za razliku od nereaktorskih sustava, proces u reaktorskim sustavima ne ovisi o klimatskim uvjetima, proces traje kraće (15-30 dana) i moguće je vođenje procesa podešavanjem procesnih uvjeta (protok zraka, miješanje). Također, moguće je sakupljanje i obrada procjednih voda i izlaznih plinova. Osnovni nedostaci reaktorskih sustava su visoka cijena materijala za izradu reaktora i prateće mehaničke opreme te manja količina otpada koja se, jednokratno u šarži, može obraditi.



# 8. ZRELOST, PRIMJENA I PREDNOSTI KOMPOSTA

## Kada je kompost zreo?

Proces kompostiranja može trajati od par mjeseci do godinu dana. Zreli kompost ima sljedeće karakteristike: rahla i jednakomjerna struktura, boja je tamnosmeđa do crna te ima ugodan miris po šumi. Kompost koji još nije sazrio obično ima neugodan miris, svjetlije je boje i možemo razaznati ostatke koji se nisu razgradili.

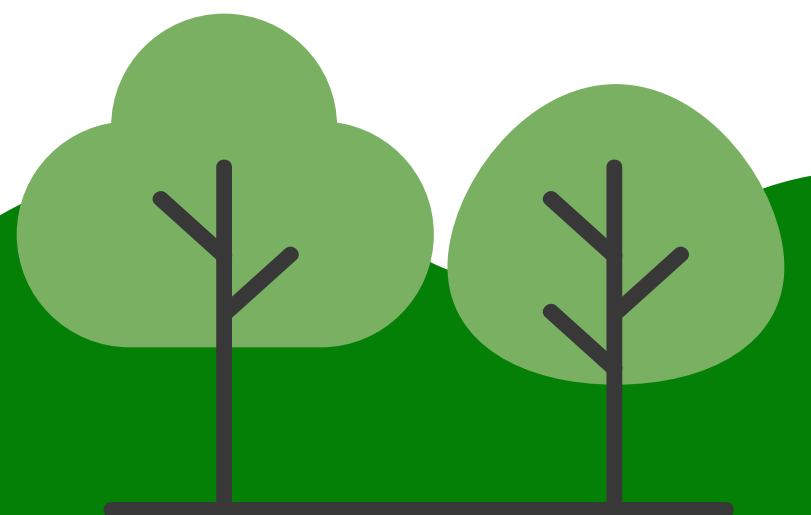
Test zrelosti komposta: najjednostavniji test kojim možemo ustanoviti je li kompost spreman za korištenje je tzv. *krese test*, koristeći sjeme salate. Postupak je sljedeći: plitka posuda napuni se kompostom u koji se posije brzoklijajuće sjeme kressalate. Sjeme se prekrije slojem komposta (2-3 mm) i navlaži vodom. Nicanje bi trebalo uslijediti nakon 2-3 dana. Nakon desetak dana biljčice bi trebale biti zelene, snažne i uspravne, a korijen bijele boje i dobro razvijen. Ako sjeme nije isključilo ili su biljke blijedozelene, žute ili smeđe, a korijen nerazvijen i smeđe boje, kompost nije dovoljno odležao i potrebno je još neko vrijeme da se završe biokemijski procesi.

## Svojstva zrelog komposta

Zreli kompost sadrži 70-80% organskih tvari, dušik, ugljik, fosfor, kalcij i kalij. Sadrži i humusne spojeve koji zemlju čine plodnijom. Razlog tomu je svojstvo humusa da apsorbira vlagu i otapa (zadržava) minerale potrebne za napredovanje i rast biljaka.

## Primjena zrelog komposta

*Svjezi kompost*, kompost star 2-6 mjeseci, sadrži još mnogo raspoloživih biljnih tvari i može ga se upotrebljavati kao kompletno gnojivo i pokrivač

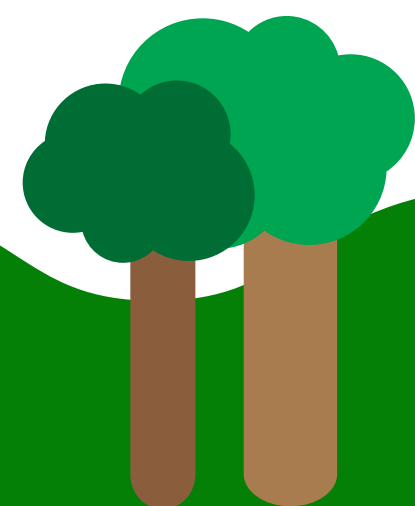


tla kod uzgoja zahtjevnijih biljaka kojima je za rast potrebna velika količina hranjivih sastojaka.

*Zreli kompost* – za potpuno sazrijevanje komposta potrebno je 6-12 mjeseci. Tada se može koristiti i za uzgoj osjetljivijih kultura: kao dugoročno gnojivo i sredstvo za poboljšanje kvalitete tla, prihranu sobnog cvijeća i pripremanje supstrata za uzgoj presadnica.

Kompost nikada ne treba duboko ukopavati u zemlju, već samo posipati i miješati s gornjim, površinskim slojem zemlje u raspadanju. Kompost otopljen u kišnici možemo, nanošenjem na list, koristiti kao preventivno zaštitno sredstvo u borbi protiv niza gljivičnih bolesti biljaka. Za sadnju cvijeća koristimo mješavinu od 1/3 zrelog komposta i 2/3 vrtne zemlje uz dodatak pijeska.

Potrošač	Količina
<i>Velika potrošnja</i> (kupus, cvjetača, rajčica, krastavci, celer, ...)	4-6 l na m <sup>2</sup>
<i>Srednja potrošnja</i> (špinat, koraba, salata, repa, mrkva, cikla, luk, ...)	2-4 l na m <sup>2</sup>
<i>Mala potrošnja</i> (grašak, grah, bob i ljekovito bilje, ...)	1-2 l na m <sup>2</sup>

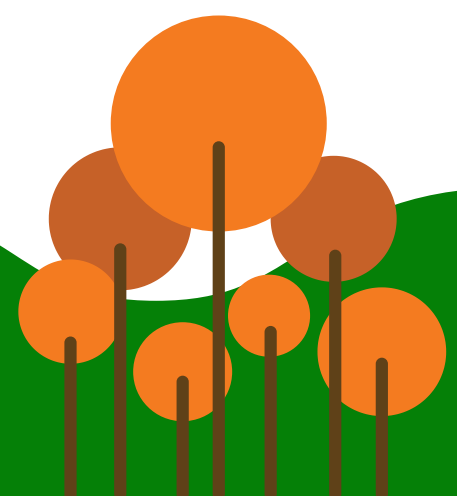


Klase komposta koje određuju područje primjene:

- 1) **Kompost klase 1** – namijenjen je korištenju u ekološkoj proizvodnji na način koji je propisan posebnim propisom i koji uređuje ekološku proizvodnju te korištenju u poljoprivredi na način koji je propisan posebnim propisom koji uređuje gnojivo i poboljšivače tla.
- 2) **Kompost klase 2** – namijenjen je korištenju u poljoprivredi na način koji je propisan posebnim propisom koji uređuje gnojivo i poboljšivače tla.
- 3) **Kompost klase 3** – namijenjen je korištenju na tlu koje se ne koristi za proizvodnju hrane te na šumskom odnosno parkovnom zemljištu, prema potrebama uređenja odnosno rekultivacije zemljišta i pri zradi završnog rekultivacijskog sloja odlagališta.

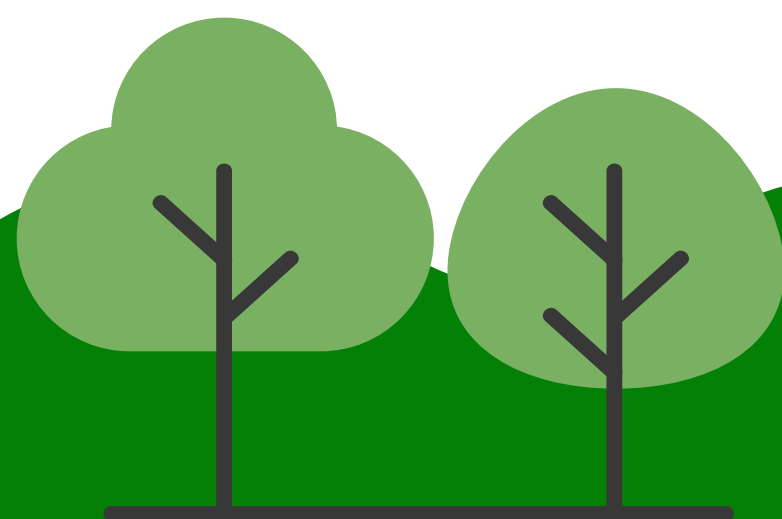
### **Prednosti komposta**

Prema brojnim autorima, komposti kao organska gnojiva imaju vrlo važnu ulogu u popravljajući strukturu tla, odnosa vode i zraka u tlu te toplinskih svojstava tla. Komposti značajno povećavaju vrijednost pH tla kao i koncentraciju dušika, pristupačnog fosfora i izmjenjivo vezanog kalija, kalcija i magnezija. Hranjiva iz komposta sporo se oslobađaju što smanjuje mogućnost prekomjerne koncentracije pojedinih hranjiva, odnosno nutritivnog stresa jer je za prelazak iz organskog u mineralni oblik nužna prisutnost mikroorganizama kako bi proveli proces mineralizacije. Kompostiranjem se potiče biološka raznolikost tla počevši od mikroorganizama, preko mikrofaune do mezofaune koji se hrane organskom tvari i utječu na bolju aeriranost i dreniranost.





Kompostiranjem i upotrebom komposta podjednako smanjujemo količinu otpada te težimo očuvanju okoliša. Kompost ima sposobnost vezivanja teških metala te tako smanjuje njihovu prisutnost i mogućnost usvajanja od strane biljke.



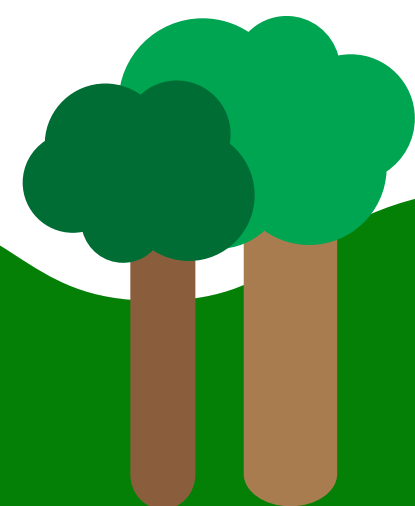
## 9. ULOGA KOMPOSTA U TLU

Uloga komposta u tlu očituje se njegovim utjecajem na kemijska, biološka i fizikalna svojstva. Općenito, primjenom komposta, unose se veće količine organske tvari, a time i veće količine ugljika. Ovim načinom značajno se doprinosi i skladištenju ugljika u tlu, kao i smanjenju svih negativnih posljedica intenzivne poljoprivredne proizvodnje kao što su: erozija, ispiranje čestica tla, smanjenje pH reakcije tla, povećano zbijanje tla, slaba infiltracija, smanjenje biološke raznolikosti u tlu, itd.

Dodavanje organske tvari tlu od iznimne je važnosti za održavanje kvalitete tla kao i za gospodarenje tlom, prvenstveno zbog uloge koju organska tvar ima u tlu a to je kao izvor biljnih hraniva, poboljšanje vodozračnih odnosa, povećanje kationskog izmjenjivačkog kapaciteta, povećanje temperature tla, lakša obradivost tala, poboljšanje strukture tla, smanjenje zbijenosti tla, smanjenje erozije, itd.

Primjena komposta općenito pozitivno utječe na strukturu tla smanjujući volumnu gustoću koja je indikator zbijenosti tla, zbog dodavanja organske tvari niske gustoće u čvrstu fazu tla. Ovaj pozitivan učinak obično je povezan s porastom poroznosti zbog interakcija između organskih i mineralnih frakcija.

Količina vode koja je biljci dostupna ovisit će o dva čimbenika: količini vode koja se može infiltrirati u tlo i količini vode koju tlo može zadržati. Na poljski vodni kapacitet i kapacitet tla za zadržavanje vode općenito utječu veličina, struktura i sadržaj organske tvari u tlu. Primjena komposta značajno utječe na infiltraciju vode.

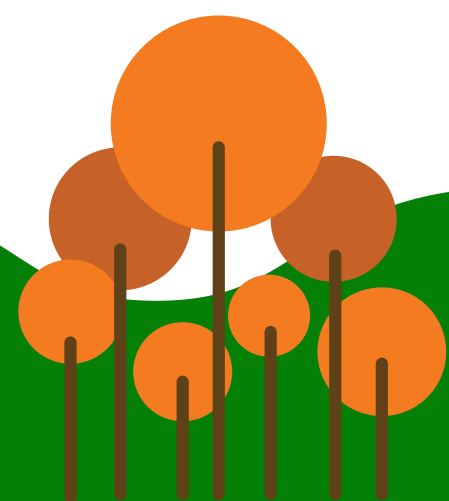


Kompost sadržava značajne količine za biljku neophodnih hranjiva kao što su: dušik, fosfor, sumpor, kalcij, kalij, magnezij te mikroelemente (Fe, Zn, Cu, Mo, B, itd) što ga definira kao organsko multielementarno gnojivo.

Sadržaj hranjivih tvari kao i druga važna kemijska svojstva kao što su C/N omjer, pH i električna vodljivost (EC) ovise o organskim materijalima koji su upotrebljavani u kompostu kao i o uvjetima njegove prerade. Odgovarajućom smjesom organskih ulaznih materijala, humusa i kompostnih materijala bogatih hranjivim tvarima mogu se zamjeniti komercijalna mineralna gnojiva u poljoprivrednoj proizvodnji. Međutim, ukupna hraniva iz komposta ne mogu se odmah iskoristiti u potpunosti zbog postojanja i različitog intenziteta različitih oblika vezanja unutar organske matrice, što rezultira djelomičnom imobilizacijom hranjiva.

Primjena komposta povećava pufernu sposobnost tla tako da sprječava nagle promjene u pH reakciji tla. Tla koja imaju veći sadržaj organske tvari imaju veći puferni kapacitet što sprječava štetno djelovanje kiselih kiša, toksičnih materijala i ostalih nepoželjnih štetnih tvari u tlu.

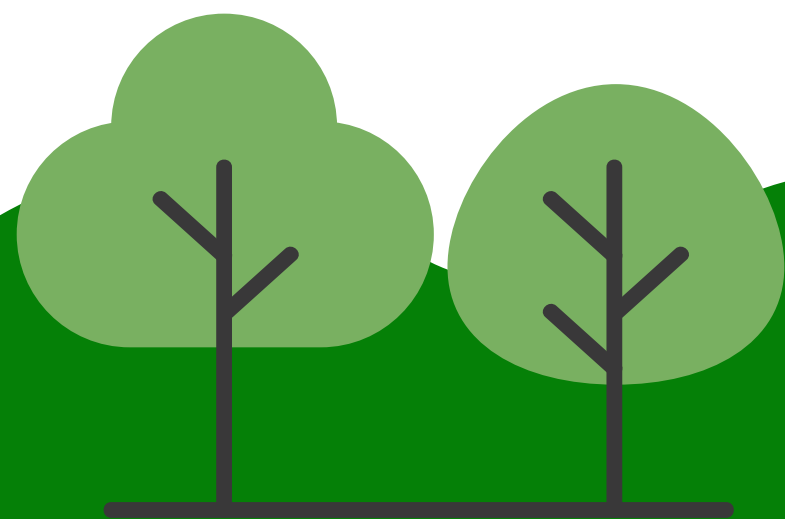
Kompostiranje ima nekoliko prednosti za tlo koje mineralna gnojiva nemaju. Prvo, uporabom komposta primjenjujemo i organsku tvar koja poboljšava način interakcije vode s tlom. U pjeskovitim tlima kompost djeluje kao spužva koja pomaže zadržati vodu u tlu koja bi zbog slabe vododrživosti vrlo brzo nestala iz područja rizosfere što bi značilo nedostatnu količinu vode za biljke posebice u sušnim uvjetima.



## 10. PRIMJERI DOBRE PRAKSE

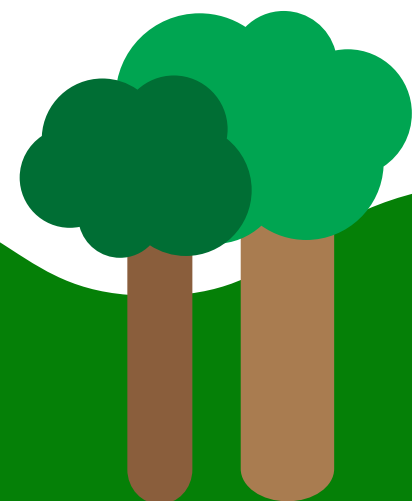
Prema Eurostatu (2013.) najveće količine otpada kompostiraju se u Austriji koja kompostira 40% svog otpada. Zatim slijedi Italija koja kompostira 32%, Nizozemska 28%, Španjolska i Belgija 24% itd.

Grad Beč jedan je od najboljih primjera kako gradovi mogu biti aktivni sudionici u zaštiti okoliša i klime. Od uvođenja kontejnera za biootpad 1991. godine kompostirano je preko 2,7 milijuna biogenog otpada čijom se preradom proizvelo milijun tona komposta. Sav kuhinjski i vrtni ili zeleni otpad iz bečkih kućanstava i vrtova odlaže se u jedan od 80.000 za to predviđenih kontejnera. Godišnje se tako skupi 100.000 tona biootpada koji se zatim odvozi u najveću europsku kompostanu na otvorenom u Lobau gdje se dalje prerađuje. Nakon prerade koja traje od 8 do 10 tjedana dobiva se između 45.000 i 50.000 tona komposta vrhunske kvalitete koji ne sadrži treset. Strojewe koji se koriste u procesu proizvodnje komposta pokreće ekološki prihvatljivo gorivo tj. biodizel za čiju se proizvodnju koriste ostaci starog ulja i masti koje građani zbrinjavaju na odlagalištima. O kvaliteti komposta svjedoči i činjenica kako je bečkoj kompostani 2015. godine dodijeljena europska oznaka kvalitete **ECN-QAS**, čime je Beč postao prvi europski glavni grad koji proizvodi kompost u skladu s ECN smjernicama i uzor je svim europskim postrojenjima ovog tipa. Kompost dobiven iz Lobaua koristi se dalje u bečkim vrtovima i poljoprivredi. Građani mogu na odlagalištima otpada potpuno besplatno preuzeti do pola kubičnog metra komposta za vlastite potrebe. Veće se količine mogu kupiti po pristupačnim cijenama. Kompost se koristi i u bečkim parkovima i na poljoprivrednim površinama. Korištenjem komposta kao gnojiva smanjuje se emisija stakleničkih plinova i poboljšava kvaliteta i struktura tla što posljedično stvara bolji okoliš za biljke.



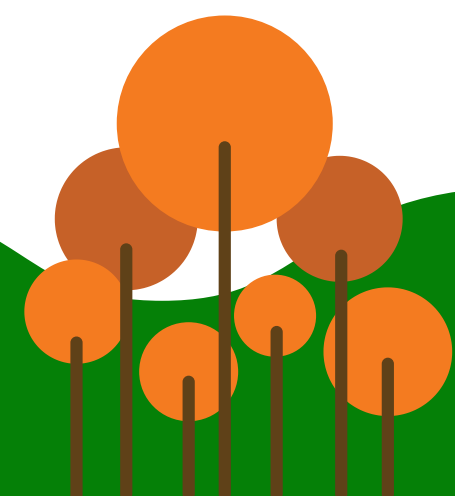
**Sadeco Cordoba, Španjolska.** Od 1993. godine, otpad se prikuplja u gradu Cordobi u različitim kantama. Sive su kante za otpad od hrane, plave za papir i karton, zelene za staklo i žute za ambalažu i inertni materijal. Učestalost prikupljanja je svaki dan u godini. Povijesna jezgra grada ima podzemne spremnike za odlaganje otpada. Također, grad ima eko-točke (ukupno njih šest) za odlaganje različitih vrsta otpada, uključujući i otpad iz hrane. Kante su smještene unutar, za ovu svrhu, specijalno konstruirane građevine, s instaliranim kompaktorima za otpad i sustavom čišćenja. Centar za okoliš Cordobe (CMC na španjolskom) ima reciklažno-kompostno postrojenje gdje SADECO obrađuje odvojeno prikupljen otpad: organski otpad (sive kante) i ambalažu i inertni materijal (žute kante). SADECO je također zadužen za proizvodnju komposta. Na površini za kompostiranje, otpad se obrađuje u aerobnim uvjetima. Jednom kad je proces fermentacije završen, sirov sirov proizvod rafinira kako bi se uklonile sve moguće nečistoće. Ove nečistoće uklanjaju se pomoću dva procesa: prvo prolaskom kroz sito, a drugo stolnim separatorom kako bi se dobio idealan proizvod za upotrebu u poljoprivredi, šumarstvu i vrtlarstvu. Proizvedeni kompost visoke je kvalitete i bez onečišćenja. Kompost je dobro prihvaćen među građanima pod zaštićenim imenom Compost - SADECO. Godišnja proizvodnja je oko 25.000 t.

**Grad Čakovec, Hrvatska.** Grad Čakovec dokaz je kako je održivo gospodarenje otpadom moguće implementirati i u općinama u Hrvatskoj. Iako se nacionalni plan za gospodarenje otpadom temelji na centraliziranim odlagalištima za više regija, bilo bi isplativije imati lokalne centre za okolne općine.

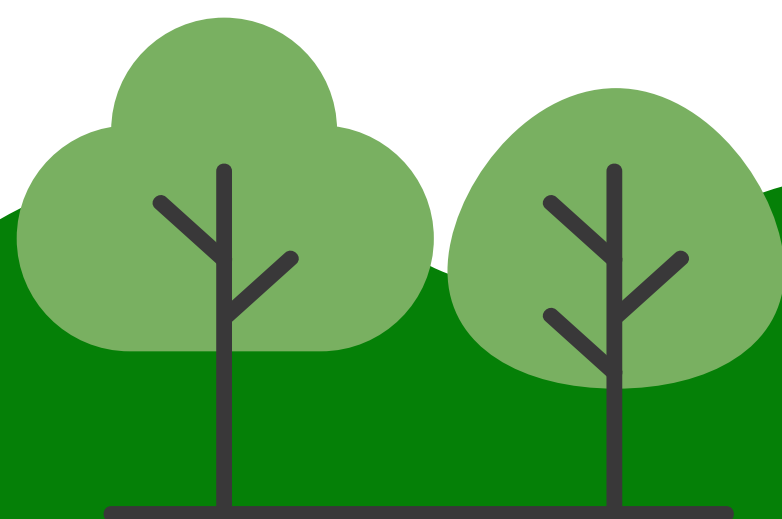


Kako bi se to omogućilo, potrebna je revizija trenutne Strategije za otpad i Plana gospodarenja otpadom za Republiku Hrvatsku. Komunalno poduzeće Čakom je primijenio u gradu Čakovcu sustav odvojenog prikupljanja otpada od vrata do vrata. Prikupljeni otpad obrađuje se u aerobnim uvjetima (kompostiranje) na otvorenom prostoru (*widrow* sustav). Prvi je korak otvaranje vreće i ručno sortiranje odloženog biootpada. Veći komadi, obično dijelovi drveta, šalju se na energetska oporabu. Godišnja proizvodnja komposta je 500 – 1.000 tona. Jednostavni period povrata investicije (JPP) za kompostanu je 7 – 10 godina.

**Amsa Milano, Italija.** Plan prikupljanja organskog otpada od vrata do vrata uveden je prvi put u studenom 2012. u četvrtini grada Milana a proširen je na cijeli grad u lipnju 2014. Biootpad se prikuplja dva puta tjedno standardnim vozilima za prikupljanje otpada, ili velikim kompaktorima od 20/23 m<sup>3</sup> ili manjim kamionima s otvorenim spremnikom. Sva su vozila opremljena sustavom za ukrcaj kanti. Na biootpad otpada 17.8 % urbanog otpada prikupljenog u 2014. Biootpad se šalje u sustave za anaerobnu digestiju za proizvodnju bioplina i visoko kvalitetnog komposta. Postrojenje s anaerobnom digestijom nalazi se u gradu Montello. Oko 285.000 t biootpada obradi se u ovom postrojenju svake godine. Proizveden bioplin koristi se u kogeneracijskoj jedinici (CHP – proizvodnja električne i toplinske energije). Instalirana snaga CHP-a je oko 9 MWel. Biootpad prvo prolazi predobradu u procesu uklanjanja kontaminata, usitnjavanje, potom se uklanjanja metal i plastika. Metal se šalje na recikliranje, a plastika na energetska oporabu. Postrojenje za anaerobnu digestiju sastoji se od šest reaktora s ukupnim volumenom od 27.000 m<sup>3</sup>

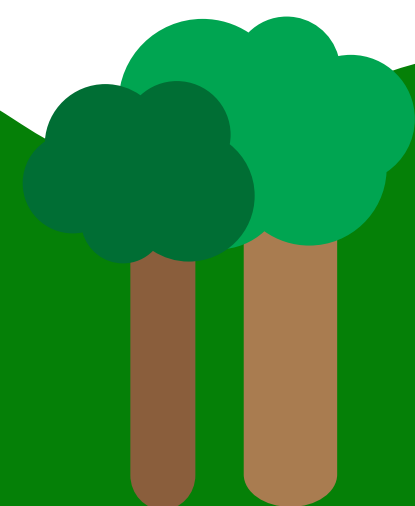


Tehnologija koja se koristi je reaktor s kontinuiranim protokom i miješanjem u spremniku, s termofilnim uvjetima. Proizvodnja bioplina je oko 45 milijuna m<sup>3</sup> godišnje. Digestat se pretvara u kompost kroz dinamično prozračene nakupine nakon odvajanja čvrste i tekuće komponente. Tekuća komponenta se šalje u postrojenje za obradu otpadnih voda. Čvrsta komponenta se miješa sa zelenim otpadom (50/50). Proces kompostiranja traje oko 30 dana. Primjer Milana pokazuje kako se odvojeno prikupljanje može uvesti u kratkom periodu na razini velikog grada sa zadovoljavajućim rezultatima. Također pokazuje kako prikupljanje biomase omogućuje postizanje visoke ukupne stope recikliranja. Odabrani sustav (prikupljanje od vrata do vrata) izgleda efikasnijim od sustava s osobnom dopremom u središte za prikupljanje otpada, a odabir kante ključan je za uspjeh sustava.



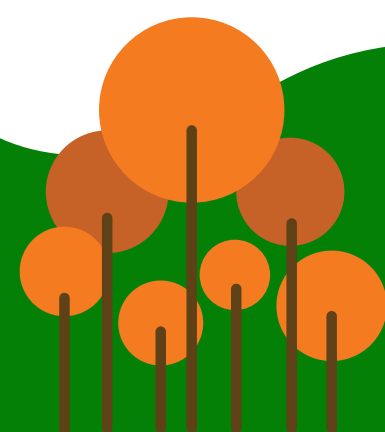
# 11. LITERATURA

- Agegnehu, G.; van Beek, C.; Bird, M.I. 2014. Influence of integrated soil fertility management in wheat and tef productivity and soil chemical properties in the highland tropical environment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 14/3. 532 – 545.
- Amlinger, F.; Peyr, S. i dr. 2007. *Beneficial effects of compost application on fertility and productivity of soils. Literature Study*. Federal Ministry for Agriculture and Forestry, Environment and Water Management. Entwicklung & Beratung. Perchtoldsdorf, Austria.
- Cekić, Bogdan. *Osnove i pravila kompostiranja*. Osijek. <https://www.agroklub.com/eko-proizvodnja/osnove-i-pravilakompostiranja/24548/> (pristupljeno 10. studenog 2019.)
- Chen, L.; Haro Marti, M. i dr. *The Composting Process, Diary Compost Production and use in Idaho*. CIS1179.
- Duraković, S. 1996. *Opća mikrobiologija*. Prehrambeno-tehnološki inženjering. Zagreb.
- Fuk, B. 2017. Posebne kategorije otpada (1. dio). *Sigurnost* 59 (1). 69 – 74.
- Gestel K, Van; Mergaert, J.; Swings, J.; Coosemans, J.; Ryckeboer, J. 2003. Bioremediation of diesel oil-contaminated soil by composting with biowaste. *Environmental Pollution*. 125. 361-368.
- Grad Komiža. Biorazgradivi otpad i kompostiranje. Komiža. <http://www.komiza.hr/wpcontent/uploads/2015/01/Biorazgradiviotpad-i-kompostiranje.pdf>
- *Metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada s Naputkom za naručivanje i provedbu određivanja prosječnog sastava komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada*. 2015. Ur. Krufrić, Jasna; Požgaj, Đurđica; Korica, Predrag; Kruljac, Antonija. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu. Zagreb.

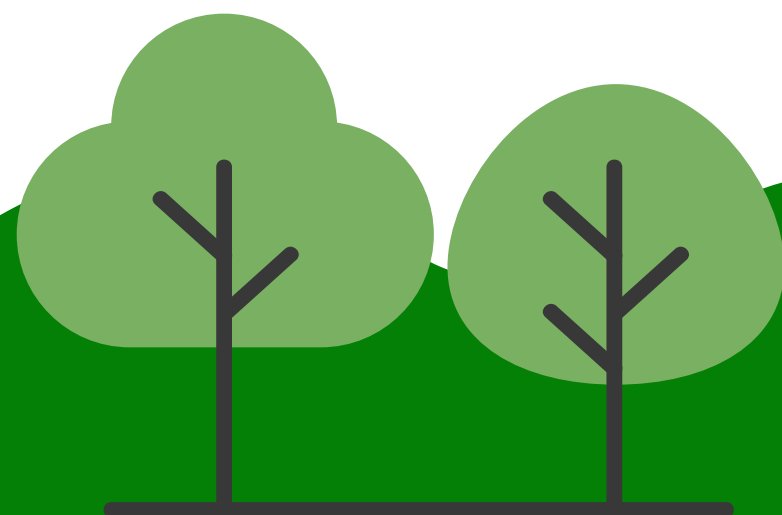


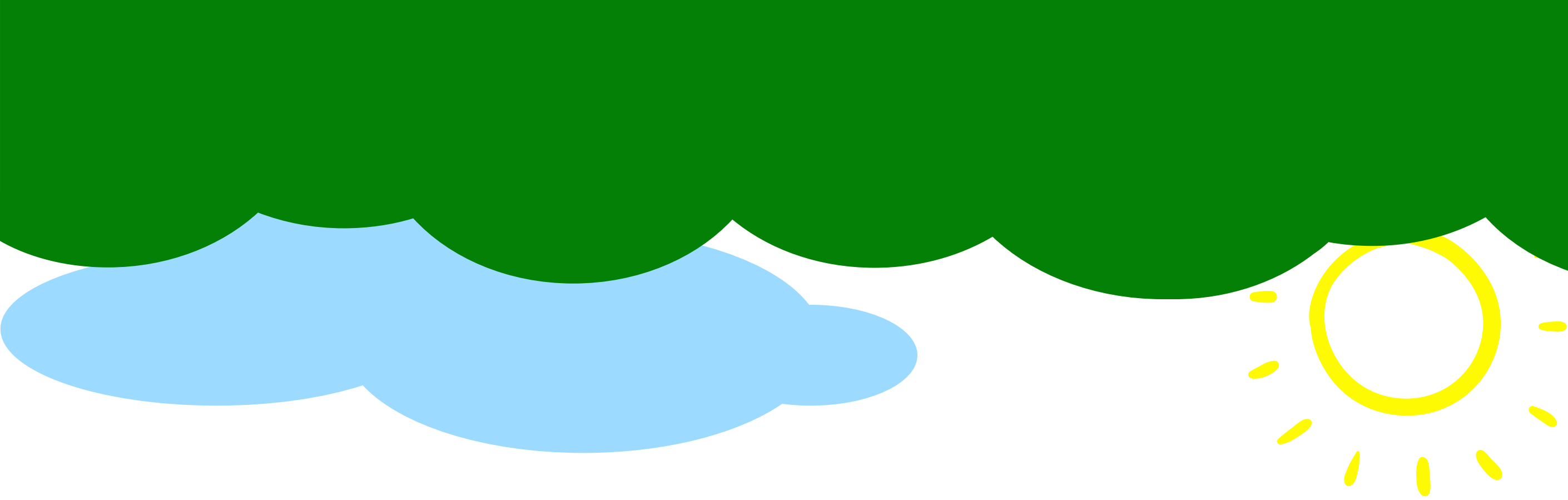


- Ministarstvo poljoprivrede. *Kompostiranje i biljna hrana*. Zagreb. <https://www.savjetodavna.hr/2017/09/14/kompostiranje-i-biljnahranjiva/> (pristupljeno 13. studenog 2019.)
- Morales, Ines; Doczekal, Christian i dr. 2015. Primjeri dobre prakse u odvojenom prikupljanju otpada od hrane. Bin2Grid. Zagreb.
- Kluge, R. 2006. Key benefits of compost use for the soilplant system. *Ecologically Sound Use of Biowaste in the EU*. Brussels.
- Kompost – sve male tajne pravilnog kompostiranja. Ljubljana. <https://homeogarden.com/hr/portfolio-posts/kompost-sve-maletajne-pravilnog-kompostiranja/> (pristupljeno 10. studenog 2019.)
- Kučić, Dajana; Kopčić, Nina; Briški, Felicita. 2012. Analiza izlaznih plinova (NH<sub>3</sub> i CO<sub>2</sub>) pri kompostiranju smjese otpadaka duhana i grožđa u reaktorskom sustavu. *IX. susret mladih kemijskih inženjera Nove tehnologije i transfer znanja: knjiga sažetaka*. Ur. Martinez, Sanja. Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa. Zagreb.
- Kučić Grgić, Dajana; Vuković Domanovac, Maja. 2018. Obrada otpadnih tokova nastalih tijekom proizvodnje maslinova ulja. *Kemija u industriji*. 67. 7 – 8. 289-295 38.
- Kučić Grgić, D.; Briški, F. i dr. 2019. Kompostiranje agroindustrijskog otpada, biootpada i biorazgradljivog komunalnog otpada u adijabatskom reaktoru. *Kemija u industriji*. 68. 9-10.
- Kvočić, Tonka. 2013. *Kompostiranje komunalnog otpada*. Završni rad. Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Periša, Josip. 2019. *Uloga i značaj kompostiranja u održivoj poljoprivredi*. Završni rad. Fakultet agrobiotehničkih znanosti Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Osijek.



- Pokos Nemeč, V. 2011. Kompostiranje i biljna gnojiva. *Glasnik zaštite bilja*. No 5.
- Prelec, Z. *Postupci obrade i zbrinjavanja otpada*. Inženjerstvo zaštite okoliša.
- Roghanian, S.; Hosseini, H. M. i dr. 2012. Effects of composted municipal waste and its leachate on some soil chemical properties and corn plant responses. *International Journal of Agriculture: Research and Review*. 2/6. 801 – 814.
- Stojnović, Miomir; Vukobratović, Marija. Neki tehničko-tehnološki aspekti kompostiranja organskog otpada poljoprivrednog podrijetla u kompostnoj hrpi i u zatvorenim kontejnerima. *Agriculture in nature and environment protection 3<sup>rd</sup> international scientific/professional conference, proceedings and abstracts*. Ur. Jug, Danijel; Sorić, Roberta.
- "The Case for Zero Waste" stvaranje društva bez otpada, Priručnik o kompostiranju. [http://www.cekor.org/documents/pages/560\\_1.pdf](http://www.cekor.org/documents/pages/560_1.pdf) (pristupljeno 13. veljače 2020.)
- *Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada*. 2005. Narodne novine. 50/05.
- Vukobratović, M.; Lončarić, Z. i dr. 2008. Promjene kemijskih svojstava stajskih gnojiva pri kompostiranju. *Poljoprivreda*. 14/2.
- Vuković, Marija; Kopčić, Nina; Gomzi, Zoran; Briški, Felicita. 2009. In-vessel composting of winery solid waste. *5th International Specialized Conference on Sustainable Viticulture: Winery Waste and Ecologic Impacts Management, Proceedings*. Ur. Cecchi, Franco; Greven, Marc; Minguéz, Santiago; Foladori, Paola; Bolzonella, David. Trento: Università degli Studi di Trento. Trento.





# UniCompoST

Projekt pratite i na društvenim mrežama:

