

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vanes HUSIĆ

KOMPOSTIRANJE OLJČNIH TROPIN

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2013

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Vanes HUSIĆ

KOMPOSTIRANJE OLJČNIH TROPIN

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

COMPOSTING OF OLIVE MARC

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2013

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija agronomije. Opravljeno je bilo na Katedri za pedologijo in varstvo okolja Oddelka za agronomijo Biotehniške fakultete v Ljubljani. Poskus in raziskovalno delo je potekalo na Katedri za pedologijo in varstvo okolja.

Raziskava za diplomsko nalogo je bila delno izvedena in financirana v okviru mednarodnega Interreg projekta »Vzpostavitev čezmejnega sodelovanja pri kompostiranju stranskih produktov oljkarstva in postavitev novih tehnologij v vrtnarstvu« - TROPLO; Interreg IIIA Slovenija/ Italija 2000-2006.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomske naloge imenovala doc. dr. Roka Miheliča in za recenzenta prof. dr. Franca Lobnika.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Marijana Jakše
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: doc. dr. Rok Mihelič
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Član: prof. dr. Franc Lobnik
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Vanes Husić

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.879.4: 634.63: 665.117 (043.2)
KG	kmetijstvo/oljčne tropine/oljke/kompostiranje/kompost
KK	AGRIS F04
AV	HUSIĆ, Vanes
SA	MIHELIČ, Rok (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2012
IN	KOMPOSTIRANJE OLJČNIH TROPIN
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	IX, 40 str., 8 pregl., 12 sl., 15 vir.
IJ	sl
JI	sl / en
AI	Relativno vlažne oljčne tropine smo zmešali z zmletim vejevjem platan. Naredili smo dva kupa, v enega dodali 2 kg uree na 100 kg tropin, da bi zožili C/N razmerje na 30 in pospešili procese razgradnje ter tvorjenje toplote. Kompostni material smo dali v dva bioreaktorja ($V=1,96 \text{ m}^3$), s katerima smo simulirali razmere v kompostnem kupu realnih dimenzij v industrijski kompostarni. Temperaturo in zračenje smo uravnavali z vpihovanjem zraka z ventilatorji, ki so računalniško vodeni, da vzdržujejo temperaturo v zmernem termofilnem območju. V bioreaktorjih je bila temperatura dovolj visoka, da smo higienizirali kompost. Temperaturni potek je bil sledeč: prve tri tedne v zmernem termofilnem območju med 50 in 60 °C, tekom naslednjega meseca se je postopoma spustila v mezofilno območje med 30 in 40 °C, v katerem se je obdržala še mesec dni, nato pa se je kompost začel postopoma ohlajati. Volumen komposta se je zmanjšal za 24 %. Iz ene tone kompostne mase, ki vsebuje 500 kg s.s. dobimo 417 kg komposta s 60 % s.s. Količina s.s v končnem produktu je 250 kg. Razmerje hranil komposta (% v s.s.) je $N : P_2O_5 : K_2O = 1,3 : 0,2 : 1,2$. Vrednost pH je nevtralna. Dodatek uree nam je znižal C/N razmerje le na 44. Očitno dodana urea ni v celoti delovala ali pa se je del hitro izgubil, bodisi z izpiranjem, bodisi z izhlapevanjem. Vsebnost vlage je nizka, zato je kompost primeren za sejanje in pakiranje.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND Dn
 DC UDC 631.879.4: 634.63: 665.117 (043.2)
 CX agriculture/olive marc/olive/composting/compost
 CC AGRIS F04
 AU HUSIĆ, Vanes
 AA MIHELIČ, Rok (supervisor)
 PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
 PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Agronomy
 PY 2012
 TI COMPOSTING OF OLIVE MARC
 DT Graduation Thesis (University Studies)
 NO IX, 40 p., 8 tab., 12 fig., 15 ref.
 LA sl
 AL sl / en
 AB Relatively moist olive marc was mixed with ground branches of Platanus tree. We made two piles, in one we added 2 kg of urea per 100 kg DM of mixture to narrow C/N ratio to 30 in order to in order to accelerate the processes of degradation and to increase heat generation. Composting material was placed in two bioreactors ($V=1,96\text{ m}^3$) in which we simulated the situation in the pile of realistic dimensions in the industrial composting plant. Temperature and aeration were regulated by blowing air with fans that are computer-controlled to maintain the temperature in the moderate thermophilic range. Temperature history was as follows: first three weeks of a moderate thermophilic range between 50 and 60 °C, during following month it gradually dropped in the mesophilic range between 30 and 40 °C, which was maintained for one month, after that the compost gradually started to cool. Volume of the compost has decreased by 24 %. From one ton of compost mass containing 500 kg dry matter we obtained 520 l of compost with 60 % dry matter. Ratio of nutrients in compost (% DM) is $N : P_2O_5 : K_2O = 1,3 : 0,2 : 1,2$. pH is neutral. Added urea has lowered C/N ratio only to 44. Obviously added urea did not function entirely or part of it was lost either through leaching or volatilization. Relative moisture is low and compost is suitable for screening and packing.

KAZALO VSEBINE

Ključna dokumentacijska informacija	III
Key words documentation	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Slovarček	IX
1 UVOD	1
1.1 NAMEN RAZISKAVE	1
1.2 DELOVNI HIPOTEZI	2
1.3 CILJ RAZISKAVE	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 KOMPOSTIRANJE	3
2.1.1 Zgodovinski oris	3
2.1.2 Kompostni proces	5
2.1.2.1 Definicija kompostiranja (procesa) in komposta (produkta)	5
2.1.2.2 Substrati	6
2.1.2.3 Termodinamika kompostiranja	7
2.1.2.4 Mikroorganizmi v kompostu	9
2.1.2.5 Hranila	10
2.1.2.6 C/N razmerje	11
2.1.2.7 pH vrednost	12
2.1.2.8 Temperatura	13
2.1.2.9 Zračenje	14
2.1.2.10 Vlaga	14
2.1.2.11 Zrelost komposta	16
2.1.2.12 Fitotoksičnost	16
2.2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI OLJK	17
2.2.1 Klasifikacija	17
2.2.2 Tropine-sekundarni produkt predelave oljk	18

3 MATERIALI IN METODE	20
3.1 ZASNOVA IN POSTAVITEV POSKUSA	20
3.2 VHODNI MATERIALI	21
3.3 BIOREAKTOR	22
3.4 ANALITSKE METODE	24
3.4.1 Določanje suhe snovi	24
3.4.2 Merjenje vrednosti pH	24
3.4.3 Merjenje električne prevodnosti – EC	24
3.4.4 Določanje skupnega dušika	25
3.4.5 Določanje organske snovi	25
3.4.6 Določanje celokupnega fosforja in kalija	25
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	26
4.1 SPREMLJANJE POSKUSA	26
4.2 TEMPERATURA	29
4.3 KISLOST IN BAZIČNOST (pH) MED KOMPOSTIRANJEM	30
4.4 EC – ELEKTRIČNA PREVODNOST KOMPOSTA	31
4.5 VSEBNOST HRANIL	32
4.6 MASNA BILANCA IN SUŠENJE KOMPOSTA	35
5 SKLEPI	37
6 POVZETEK	38
7 VIRI	39
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Populacija mikroorganizmov tekom kompostiranja (Snape in sod., 1995)	9
Preglednica 2: Vsebnost dušika in C/N razmerje v različnih odpadkih (Golueke, 1977, cit. po Diaz in Savage, 2007)	12
Preglednica 3: Količina oljčnih tropin (t) v letih 2005, 2006, 2007 na območju Slovenske Istre (Bandelj Mavsar in sod., 2008)	19
Preglednica 4: Delež vlage (ut. %) in olja (ut. %) v oljčnih tropinah (Bandelj Mavsar in sod., 2008)	19
Preglednica 5: Kemijski parametri pri oljčnih tropinah in kompostiranju oljčnih tropin v bioreaktorjih (RU – z dodatkom uree, RB – brez dodatka uree)	28
Preglednica 6: Vrednost pH v bioreaktorjih (RU, RB) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	31
Preglednica 7: Električna prevodnost (EC) vodnih ekstraktov oljčnih tropin in komposta	32
Preglednica 8: Povprečje analitskih vrednosti oljčnih tropin in kompostiranih oljčnih tropin po štirih mesecih kompostiranja	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Tehnološka shema kompostiranja z vpihovanjem zraka v statične kupe (Compost ..., 2012)	21
Slika 2: Bioreaktorja za poskus kompostiranja oljčnih tropin	23
Slika 3: Mešanje kompostne mešanice iz bioreaktorja	26
Slika 4: Kompostni material iz bioreaktorja	27
Slika 5: Gobe lupinaste nožničarke (<i>Volvariella volvacea</i> B.) na kompostu na vrhu bioreaktorja	28
Slika 6: Temperaturni potek med kompostiranjem v bioreaktorju z dodatkom uree (RU) in brez uree (RB)	30
Slika 7: Vrednost pH v bioreaktorjih (RU, RB) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	31
Slika 8: Električna prevodnost (EC) vodnih ekstraktov oljčnih tropin in komposta	32
Slika 9: Spremljanje vsebnosti dušika (podano na suho snov) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	34
Slika 10: Razmerje med ogljikom in dušikom (C/N) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	34
Slika 11: Vsebnost ogljika (C %) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	35
Slika 12: Spremembe suhe snovi (% s.s.) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih	36

SLOVARČEK

AAS – atomska absorpcijska spektrometrija

EC – električna prevodnost (angl. electrical conductivity)

RB – bioreaktor brez dodane uree

RU – bioreaktor z dodatkom uree

s.s. – suha snov

DM – dry matter (suha snov)

1 UVOD

V Sloveniji je oljkarstvo že dobro stoletje tradicija na območju Vipavske doline, Goriških Brd in Slovenske Istre. Gojenje oljk je zelo zahtevno kar se tiče klimatskih in pedoloških zahtev. Oljka (*Olea europae* L.) je poznana po zdravilni moči njenih plodov in to se s pridom izrablja pri pridelavi oljčnega olja. Vendar pa pri procesu predelave oljk v oljčno olje pride do večje količine stranskih produktov, kot sta oljčne tropine in oljčne oz. kot rečejo »vegetacijske« vode. Ti ostanki predelave so lahko zelo obremenilni za okolje, ker so podobni odpadnim komunalnim vodam in lahko močno spremenijo kemično in mikrobiološko okolje, če se nekontrolirano odlagajo na površine, kjer oljke uspevajo, saj gre tu za zelo krhek habitat. Oljke uspevajo na apnenčasti podlagi s ponavadi majhno plastjo zemlje in bi odlaganje teh snovi močno vplivalo na lastnosti tal. Če pa so ti stranski produkti primerno obdelani, pa lahko predstavljajo zanimivo možnost za sonaravno gnojenje z ostanki predelave oljk. Ena izmed teh možnosti je predelava oljčnih tropin v sredstvo za izboljšanje tal po principu kompostiranja. Ta možnost po zgledu iz prakse vodilnih pridelovalk oljčnega olja (Grčija, Španija, Italija) predstavlja zelo ugodno možnost, posebej kar se tiče ekonomskih in okoljevarstvenih vidikov ravnanja z odpadki predelave oljk. S kompostiranjem oljčnih tropin dobimo stabilizirano organsko gnojilo, ki je primerno za vračanje v oljčnik ali kakšno drugo kmetijsko zemljišče. Na ta način vračamo mikro in makrohranila nazaj v zemljišče, kjer imamo oljčni nasad.

Kompostiranje je aeroben, mikrobiološki proces razgradnje organske snovi v stabilne, počasi topne in netopne huminske snovi (Diaz in de Bertoldi, 2007). Kompost poleg hranilnih snovi ob pravilnem vnašanju in dodajanju tlem izboljšuje tudi strukturo in poroznost tal ter s tem večja sprejemljivost za vodo, ki je na območju gojenja oljk pomemben faktor in izboljšuje kationsko izmenjevalno kapaciteto tal. Kompostiranje oljčnih tropin je naravni proces, ki je tehnološko relativno nezahteven, organizacijsko preprost ter ekonomsko sprejemljiv pristop k recikliranju stranskih produktov predelave oljk.

Pri kompostiranju poteka razgradnja organske snovi z aerobnimi organizmi, lahko tudi z ostalimi predstavniki talne mezo in makro favne. Dobri, kvalitetni in hitri razgradnji komposta pomaga kontrolirano vpihovanje zraka za boljšo aerobno razgradnjo.

1.1 NAMEN RAZISKAVE

Na območju slovenske Istre in tržaške pokrajine gojimo oljko na približno 1600 ha kmetijskih površin. Pri predelavi oljk v oljarnah se proizvajajo stranski produkti, ki zaradi vsebnosti olja, polifenolov in organskih spojin pomenijo obremenitev za okolje. Odpadki oljkarske industrije so sezonski, visoko koncentrirani in se hkrati proizvajajo v več manjših oljarnah (Bandelj Mavsar in sod., 2008). Ena od možnosti vračanja takih odpadkov v tla bi bila v obliki komposta, kar bi predstavljalo okoljsko ustrezen zaključen obtok. Pri kompostiranju uporabljamo vlažne oljčne tropine in odpadne kose lesa (zmleto vejevje, rozge trt,...), ki imajo zelo nizko tržno vrednost, proizvedeni kompost pa je lahko tržno zanimiv izdelek.

Z nalogo želimo ugotoviti ali se da iz oljčnih tropin, samih in z dodatki, pripraviti ustrezen kompost, ki bi se ga dalo koristno uporabiti v kmetijstvu.

1.2 DELOVNI HIPOTEZI

1. Oljčne tropine je možno uspešno predelati v kompost.
2. Dodatek dušika značilno pospeši proces kompostiranja; obenem pridobimo kompost z boljšo hranilno vrednostjo.

1.3 CILJ RAZISKAVE

Cilj raziskave je bil raziskati primernost oljčnih tropin za kompostiranje in raziskati dejavnike, ki vplivajo na hitrost in kakovost le-tega.

2 PREGLED OBJAV

2.1 KOMPOSTIRANJE

2.1.1 Zgodovinski oris

Avtorja Diaz in de Bertoldi (2007) sta ugotovila, da se zgodovina upravljanja s komunalnimi odpadki začne z začetki človeške civilizacije in urbanizacije. V neolitiku so ljudje začeli živeti v urbanih naseljih in spremenili svoje prehranjevalne navade iz lovcev nabiralcev v kmetovalce in rejce živali. Jame za shranjevanje organski odpadkov so našli v sumerskih mestih izpred 6000 let. Zgodnje civilizacije v južni Ameriki, Indiji, Kitajski, Japonski so prakticirale intenzivno kmetijstvo in so tudi znale uporabljati kmetijske, živalske in človeške organske odpadke kot gnojilo. Ti odpadki so bili shranjeni v luknjah ali pa v kupih, kjer so jih pustili, da gnijejo daljši čas.

Rim, kot glavno mesto antičnega imperija Rim, je na višku svoje moči imelo okoli milijon prebivalcev. Razvili so napreden sistem za urbane odpadke, ki je bil organiziran in podprt s strani državne administracije. Odpadki so bili zbirani periodično s strani pristojne službe, ki jih je odstranila iz mesta in pozneje primerno uporabila na kmetijskih površinah.

V predrenesančnih Firencah so vozovi zjutraj transportirali hrano v mesto, v večernih urah pa so odvažali odpadke iz mesta, za uporabo na kmetijah. Eden najbolj natančnih in tehnično opisanih primerov kompostiranja pa prihaja od vitezov Templjarjev iz trinajstega stoletja. Ti so se po križarskih vojnah naselili v Španiji in na jugu Francije ter posvečali večino časa kmetovanju. Oddajali so zemljo za kmetovanje in imeli natančne napotke, kako povrniti zemlji rodovitnost, kar so tudi natančno zapisali v Kodeks, ki ga še danes hranijo mnoge knjižnice. Opisi postopkov kompostiranja se začnejo s pripravo različnih odpadkov za kompostiranje in uporabo posameznih tipov kompostov za določene vrste rastlin. Velikost kosov vej in razmerje med njimi in količino živalskega gnoja ter vsebnost vlage so bili točno določeni glede na tip komposta. Zanimiva je natančnost zapisanega v dokumentih, kar se tiče gnojenja tal, glede na to, da sta bili kemija in mikrobiologija v tistem času neznani. Vendar je razvidno, da so Templjarji razumeli različne vidike geologije, biologije tal, umetnosti kompostiranja ter osnove kmetijstva v tistem času (Diaz in de Bertoldi, 2007).

V 20. stoletju eden izmed dokumentov, ki se nanaša na kompostiranje organskih odpadkov, izvira iz Indije, leta 1933. V tem času je Sir Albert Howard s sodelavci razvil večji napredek v modernem kompostiranju.

Metoda se imenuje Indore proces, pri katerem gre za zlaganje živalskega gnoja, organskih odpadkov, človeških iztrebkov in slame, listja, drugih komunalnih odpadkov na kup na tleh. Kup je bil sestavljen iz posameznih plasti. Visok je bil okoli 1,5 m ali pa je bila gmota zložena v 0,6 do 0,9 m globokih jamah. Proces je trajal okoli 6 mesecev in kup je bil večkrat v tem času premetan, da so se dogajali aerobni procesi. Metoda je bila uporabljana širom Indije (Diaz in de Bertoldi, 2007).

V letih 1950 do 1955 je Golueke in sod. (1953, cit. po Diaz in de Bertoldi, 2007) s kalifornijske univerze naredil osnovne raziskave kompostiranja komunalnih odpadkov, ostankov hrane in ostalih organskih odpadkov. Njihove raziskave so prikazale vplive in učinke različnih parametrov pri aerobnem kompostiranju, kot je temperatura, vlaga, zračenje z obračanjem ali drugimi metodami, C/N razmerje. Raziskave so prikazale podatke o organizmih v kompostu, tehnike za določanje stanja komposta, zadrževanje toplote v kompostu in različne druge vidike kompostirnega procesa (Diaz in de Bertoldi, 2007).

Eden najbolj razširjenih patentov je razvil Beccari iz Firenc, Italije in je tudi poimenovan po njem. Pri tem patentu je kompostni material spravljen v zaprti celici z namenom zadrževanja neprijetnih vonjev, ki so povezani z razpadanjem organske snovi. Proces uporablja na začetku anaerobno fermentacijo, kateri na koncu sledi še aerobni del. Naprava je imela loputo na zgornji strani za vnos kompostnega materiala ter na spodnji za odstranitev materiala ob koncu kompostiranja, in ventilatorje, ki so bili namenjeni omogočanju aerobnih procesov. Vendar pa ta način ni bil primeren za uporabo v večji meri, kot je pokazala tovarna v Scarsdal, New York, ki so jo zaprli, ker so anaerobni procesi proizvedli premočne vonje in so imeli tudi težave z odvajanjem škodljivih snovi (Diaz in de Bertoldi, 2007).

Tekom 40.-ih in 50.-ih let 20. stoletja je več ameriških univerz razvilo svoje patente, ki so funkcionirali na podoben način. Šlo je za silos, v katerega je bil dovajan zrak, da so se dogajali aerobni procesi. To so zaprti digesterji, pri katerih je proces mehaniziran. Eden izmed teh je bil Frazerjev proces, patentiran v ZDA. Uporabljal je zaprt digester, v katerem je kompostna masa potovala od enega predelka k drugemu. Kompostni material je bil nadzorovan, ko je zapustil digester in bil po potrebi vrnjen v digester. Digesterji so bili v tistem času uporabljeni za reševanje problema komunalnih odpadkov z veliko vsebnostjo organske snovi. Veliko je bilo vloženega v problematiko mehanskega mešanja in dovajanja zraka kompostni masi. Dizajn digesterjev je bil tudi v smer doseganja termofilnih temperatur z namenom hitrejšje degradacije snovi (Diaz in de Bertoldi, 2007).

Proces, ki je bil uporabljen v veliko državah, se je imenoval Dano proces. Razvit je bil na Danskem in je šlo za kompostirni proces, navzlic temu, da je bil začetno mišljen kot proces zmanjševanja velikosti odpadne snovi. Odpadne snovi so bile vnesene v počasi rotirajoči cilindar, ki je imel os nagnjeno rahlo pod. Naprava, imenovana Egsetor melje in homogenizira material. Kapaciteta naprave je okoli 100 t materiala. Dodajanje vode je možno med procesom. Zračenje je z uporabo vpihovanja z obeh strani cilindra. Zmanjšanje velikosti odpadkov je doseženo s trenjem in biološkimi procesi. Temperatura je vzdrževana v območju termofilnih procesov ves čas. Kovinski in ostali neorganski materiali so bili odstranjeni ročno in z uporabo magnetov, ko so šli skozi. Material je potreboval 4 do 6 ur, da je prišel čez Egsetor. Dejansko kompostiranje se je dogajalo v kupih na tleh, višine 1,5 do 1,8 m. Korporacija Dano je pozneje razvila digester v obliki silosa.

Ovisno od tipa odpadne snovi je material v digesterju 3 do 4 dni. Po potrebi se material lahko da v kompostne kupe, če ga je še potrebno dodatno stabilizirati (Diaz in de Bertoldi, 2007). Stovroff in njegovi sodelavci iz Ameriške kompostirne korporacije so leta 1954 izvedli projekt kompostiranja komunalnih in industrijskih odpadkov.

Zanimala jih je finančna plat. Uporabili so moderne prijeme za delo s komunalnimi odpadki in ugotovili, da je pridelan kompost cenejši kot hlevski gnoj. Obrat, ki so ga zgradili v ta namen v Oaklandu, Kaliforniji, je predelal 300 t mešanih odpadkov v 8 urni izmeni oziroma 600 t na dan. Uporabljali so aerobni način s kompostnimi kupi (Diaz in de Bertoldi, 2007).

Mnogi projekti so izvajani in so bili izvajani s strani Evropske Unije v zvezi s kompostiranjem in na splošno ukvarjanjem z odpadki, komunalnimi, industrijskimi in kmetijskimi, ki so posledica urbane civilizacije.

2.1.2 Kompostni proces

2.1.2.1 Definicija kompostiranja (procesa) in komposta (produkta)

Avtorja Insam in de Bertoldi (2007) pravita, da je mešanje organskih substratov pomembna faza kompostiranja. Bolj specifično, glede na njegov etimološki pomen (iz latinske besede *compositum*, ki pomeni *mešanico*), se nanaša na biološko razgradnjo mešanice substratov, ki jo povzročijo mikroorganizmi v aerobnih razmerah in v trdnem stanju. Eksotermičen proces proizvaja energijo v obliki toplote, ki ima za posledico povečanje temperature v kompostni masi. Gre za spontan mikrobiološki proces, ki v osrednji fazi kompostiranja povzroči termofilne temperature, pred njo in po njej pa so temperature v mezofilnem območju. Tekom kompostiranja pride do začasne tvorbe fitotoksinov, ki so snovi, ki strupene rastlinam. Na koncu procesa je fitotoksičnost presežena in končni produkt je koristen za rast rastlin. Proces kompostiranja vodi k proizvodnji ogljikovega dioksida, vode, mineralov in stabilizirane organske mase (komposta). Proces se začne z oksidacijo lažje razgradljive organske mase; prva faza se imenuje razgradnja. Druga faza, stabilizacija, ne vključuje le mineralizacije počasi razgradljivih molekul, temveč tudi bolj kompleksne procese, kot je humifikacija kompleksa lignin-celuloze.

S tehničnega in praktičnega vidika je proces kompostiranja zaustavljen v fazi, ko je organska masa še vedno prisotna v veliki količini (več kot 50 % začetne količine); drugače bi se proces v ugodnih razmerah nadaljeval, dokler ne bi bila večina organske snovi mineralizirana.

Glavni produkt se imenuje kompost, ki je lahko definiran kot stabiliziran in higieniziran produkt kompostiranja, kompatibilen in koristen za rast rastlin. V procesu kompostiranja se preseže: fitotoksičnost nestabilizirane organske snovi; zmanjšana prisotnost patogenih organizmov (virusi, bakterije, glive, paraziti), ki so škodljivi človeku, živali, rastlinam, na nivo pri katerem ne predstavljajo več nevarnosti za zdravje; z recikliranjem organskih odpadkov se proizvede organsko gnojilo.

2.1.2.2 Substrati

Insam in de Bertoldi (2007) pravita, da je biokemijska razgradnja kompostnega materiala enaka kot pri drugih biokemijskih procesih. Običajno so substrati biogeni, kar pomeni, da so vsi substrati rastlinskega, živalskega ali mikrobiološkega izvora.

Rastlinske snovi so prisotne v največji količini, medtem ko snovi živalskega in mikrobiološkega izvora predstavljajo manjšo frakcijo vsake mešanice, ampak so navadno najbolj bogate frakcije s hranili.

LIGNIN

Lignin je glavna strukturna komponenta rastlin in tista, ki se najpočasneje razgrajuje. V lesu je količina lignina med 18 in 30 %. Število monomernih enot ni veliko, vendar zaradi izredne raznolikosti vezi med monomeri (derivati fenilpropana) je njegova razgradnja kompleksna. Lignin primarno razgrajujejo glive, ki so ponavadi patogeni, ki živijo na rastlini. Poznani taki glivi sta glivi bele trohnobe: pisana ploskocevka (*Trametes versicolor* L.) in dlakava slojevka (*Stereum hirsutum* W.). Nekatere glive, kot je bukov ostrigar (*Pleurotus ostreatus* J.), pa razgrajujejo celulozo in lignin istočasno.

CELULOZA

Celuloza je najbolj zastopana komponenta rastlin. Najdemo jo v skoraj vsakem organskem odpadku. Največ jo je v odpadku iz lesarske industrije, kmetijskih odpadkih in domačih odpadkih. Pri aerobnih razmerah so v razgradnjo celuloze vpletene mnoge glive, bakterije in sluzavke. Glive so bolj pomembne pri razgradnji celuloze kot bakterije, sploh če je celuloza z vdelanim ligninom, kot je to pri slami ali lesu. Celuloza je bogata z ogljikom, vendar ne vsebuje dušika ali drugih esencialnih elementov. Naštevamo nekaj rodov pomembnih gliv nitastih zaprtotrošnic: *Chaetomium*, *Fusarium*, *Aspergillus*. Med bakterijami so najpomembnejši rodovi: *Cytophaga*, *Polyangium*, *Sorangium*. Pri anaerobnih razmerah celulozo največ razgrajujejo mezofilne in termofilne glive iz rodu *Clostridia*.

HEMICELULOZA

Ksilan je med hemicelulozami zelo pomemben in ga najdemo v slami, sladkornem trsu (do 30 %) in lesu (2 do 25 %). Ksilan je sestavljen iz pentoz (ksiloza, arabinoza) ali heksoz (glukoza, manoza, galaktoza). Glavni encim za razgradnjo je ksilanaza, ki ga tvorijo mnoge bakterije in glive. Pektin je strukturni heteropolisaharid v katerem se izmenjujejo odseki galakturonske kisline z ramnozo. Glavni encim za razgradnjo je pektinaza, ki ga tvorijo mnoge bakterije in glive. Škrob je sestavljen iz amiloze (20 %) in amilopektina. Za razgradnjo sta pomembna encima fosforilaza in α -amilaza.

MUREIN

Murein je peptidoglikan. To je najbolj rigidni del celične stene in daje celicam odpornost. Osnovni gradbeni element je glikotetrapeptid, kateri je sestavljen iz N-acetilglukozamina in N-acetilmuronske kisline. Murein je glavna komponenta celične stene večine bakterij.

HITIN

Hitin je glede na količino manj pomemben od glukoze. Kemijsko gledano sta si zelo podobna. Pri celulozi je monomer glukoza, pri hitinu pa N-acetilglukozamin. Glavna razlika za razgrajevalce je velika koncentracija dušika v hitinu (okoli 7 %, C/N razmerje okoli 5). Veliko gliv in bakterij lahko uporabi hitin kot izvor dušika in ogljika. Hitin se razgrajuje z encimi v N-acetilglukozamin, ki je nato transformiran v fruktozo-6-P in s tem inkorporiran v metabolizem ogljikovih hidratov.

2.1.2.3 Termodinamika kompostiranja

Insam in de Bertoldi (2007) trdita, da sedanji nivo razumevanja mikrobiotskih procesov, ki so vključeni v proces kompostiranja, sloni na študijah narejenih s tradicionalnimi metodami, to je z izolacijo in identifikacijo bakterij in gliv. Kompostiranje povzroči visoke metabolične aktivnosti mikroorganizmov pri velikih gostotah (do 10^{12} celic na g). Konstantne spremembe (temperatura, pH, zračenje, vlaga, dostopnost substrata) rezultirajo v stadijih eksponentne rasti in stacionarnih fazah različnih organizmov. Celotni mikrobni konzorciji prisotni v kateri koli točki v času se lahko zamenjajo v zelo kratkih intervalih. Navzlic njihovi vitalnosti se lahko kultivira le manjši del mikrobov. Kontinuiran proces kompostiranja lahko obravnavamo kot sekvence kultur, vsako s svojimi fizikalnimi (npr. temperatura), kemičnimi (npr. dostopen substrat) in biološkimi (npr. mikrobiološka sestava) lastnostmi in učinki. Te spremembe, ki spremljajo proces, naredijo simulacijo le-tega v laboratoriju nemogočo, saj so temperatura, vlaga, zračenje, idr., povezani z razmerjem površina/volumen. Temu navkljub pa je splošno sprejeto, da je ta proces sestavljen iz štirih faz, ki so opisane v nadaljevanju.

MEZOFILNA FAZA (25–40 °C)

V tej prvi fazi (imenovani tudi začetni fazi), so energijsko bogate, lahko razgradljive komponente kot so sladkorji in proteini, v veliki količini in jih razgrajujejo bakterije, aktinobakterije, glive, katerim v splošnem pravimo primarni razgrajevalci. Če so mehanski vplivi (kot premetavanje kupa) majhni, potem se razvije lahko tudi mezofavna (deževniki, idr.), ki pa v glavnem deluje kot katalizator. Glede na metodo kompostiranja je lahko vpliv teh živali zanemarljiv ali pa v primeru vermikompostiranja, zelo velik.

Dokazali so, da je število mezofilnih organizmov v substratu za tri velikostne razrede večje od števila termofilnih organizmov. Aktivnost primarnih razgrajevalcev povzroča višanje temperature (Insam in de Bertoldi, 2007).

TERMOFILNA FAZA (35–65 °C)

Organizmi, prilagojeni višjim temperaturam dobijo tekmovalno prednost in na koncu, skoraj v celoti zamenjajo mezofilno floro. Prej razcveteni mezofilni organizmi odmrejo in jih razgradijo termofilni organizmi, skupaj s preostalim, lahko razgradljivim substratom. Razgradnja hitro napreduje in pospešuje, vse dokler temperatura ne doseže 62 °C. Termofilne glive imajo uspešno rast med 35 in 55 °C, dočim višje temperature zavirajo njihovo rast. Termotolerantne in termofilne bakterije in aktinobakterije so aktivne tudi pri višjih temperaturah. Navzlic uničenju večine mikroorganizmov nad 65 °C, temperatura lahko raste in prekorači 80 °C. Verjetno je, da to končno višanje temperature ni posledica mikrobne aktivnosti, temveč efekt abiotičnih eksotermnih reakcij pri katerih so prisotni temperaturno stabilni encimi aktinobakterij. Enake temperature niso dosežene v vseh conah, delih kompostnega kupa. Zato je pomembno, da se z rednim mešanjem in premetavanjem kupa vse dele substrata premešča proti sredini, kjer je najvišja temperatura. Z mikrobiološkega zornega kota lahko ločimo štiri cone v kompostnem kupu. Zunanja cona je najhladnejša in najbolj preskrbljena s kisikom; je plast, ki pokriva kup. Notranja cona je najmanj preskrbljena s kisikom; je v centru kupa. Spodnja cona je vroča in dobro preskrbljena s kisikom; je na spodnjem delu kupa. Zgornja cona je najbolj vroča, dobro preskrbljena s kisikom; je na vrhu kupa. Termofilna faza je pomembna za higienizacijo. Človeški, živalski in rastlinski patogeni so uničeni, prav tako semena plevelov in ličinke insektov. Ne le visoka temperatura, temveč tudi prisotnost specifične flore, v kateri prednjačijo aktinobakterije, so pomembne za higienizacijo s proizvodnjo antibiotikov. Negativna stran temperatur, višjih od 70 °C je v tem, da je večina mezofilov uničenih. Lahko se jih po znižanju temperature s primernimi prijemi ponovno naseli v favno kompostnega kupa (Insam in de Bertoldi, 2007).

FAZA HLAJENJA (DRUGA MEZOFILNA FAZA)

Ko aktivnosti termofilnih organizmov prenehajo zaradi izčrpanja substrata, se temperatura začne nižati. Mezofilni organizmi rekolonizirajo substrat, kot zunanja inokulacija, iz preživelih spor ali pa kot razširitev iz zaščitene mikroniš. Lastnost te faze je povečano število organizmov, ki razgrajujejo škrob ali celulozo. Med njimi so tako glive kot bakterije.

FAZA ZORENJA

Med fazo zorenja se kakovost substrata zmanjša. V več zaporednih korakih se mikrobiološka sestava popolnoma spremeni. Ponavadi se delež gliv poveča, bakterij pa zmanjša. Komponente, ki niso razgradljive, kot na primer ligninsko-humusni kompleks, se formirajo in postanejo prevladujoče.

2.1.2.4 Mikroorganizmi v kompostu

Kompostirni material razgrajujejo različni mikroorganizmi: glive, bakterije, aktinobakterije, protozoa. Število in vrste organizmov so odvisne od kompostnega materiala.

V preglednici 1 so prikazani organizmi tekom različnih faz kompostiranja.

Preglednica 1: Populacija mikroorganizmov tekom kompostiranja (Snape in sod., 1995)

Mikrobi	Število na gram komposta			Število vrst
	Mezofilna faza temperature do 40 °C	Termofilna faza temp. 40-70 °C	Mezofilna faza temp. od 70 °C do ohladiitve	
Bakterije- mezofilne	10^8	10^6	10^{11}	6
Bakterije- termofilne	10^4	10^9	10^7	1
Aktinomicete- termofilne	10^4	10^8	10^5	14
Glive-mezofilne	10^6	10^3	10^5	18
Glive-termofilne	10^3	10^7	10^6	16

BAKTERIJE

Avtorja Insam in de Bertoldi (2007) ugotavljata, da je bila pomembnost bakterij brez micelija v procesu kompostiranja dolgo zapostavljena, najverjetneje zaradi boljše vidnosti gliv in aktinobakterij. Pri določenih kompostirnih procesih, kot je kompostiranje komunalnih odpadkov, so na začetku bakterije pomembnejše od gliv. Če je temperatura pod 60 °C se več kot 40 % trdne snovi razgradi v prvih sedmih dneh, skorajda vse z aktivnostjo bakterij. Temperatura med 50 in 65 °C daje selektivno prednost bakterijam. Ko temperature presežejo 65 °C je dominantna *Bacillus stearothermophilus*, skoraj kot čista kultura.

AKTINOBAKTERIJE

Avtorja Insam in de Bertoldi (2007) ugotavljata da imajo aktinobakterije rade nevtralen ali rahlo bazičen pH in so sposobne razgrajevati kompleksne substrate. Določene so termotolerantne, nekatere tudi termofilne, s temperaturnim razponom med 50 in 60 °C. Večina aktinobakterij najbolje uspeva v vlažnem substratu z dobrim pretokom kisika. Do takih razmer pride, ko so lahko razgradljivi substrati porabljeni s strani bakterij in se temperature dvignejo nad 45 °C. Poseben primer je kompostiranje substrata za kultiviranje gob. V tem primeru je rast aktinobakterij posebej močna tekom druge faze. Aktinobakterije so vidne s prostim očesom v obliki debelih preprog, ko je proces pri temperaturi okoli 45 °C z relativno nizko vlago. Za gojenje gob iz rodu *Agaricus* sp. (šampinjoni) je ta faza pomembna za uspeh. Potrebno je vzdrževati temperaturo 48 °C z reguliranjem zračenja in vlage. Glaven namen je vezava dušika.

Če se kompost pregreje (nad 70 °C) lahko pride do sprememb v kompostnem materialu in bi se dušik izgubil.

BAKTERIJE DEBLA *DEINOCOCCUS THERMUS*

Po ugotovitvah avtorjev Insam in de Bertoldi (2007), bakterije iz debla *Deinococcus thermus* uspevajo na organskih substratih pri temperaturah med 40 in 80 °C, z optimalno rastjo pri 65 do 75 °C. Njihovo število v kompostu z biološkimi odpadki je med 10^7 in 10^{10} g⁻¹. Te bakterije so bil prej poznane z geotermalnih območij, sedaj pa so se verjetno prilagodile na sistem vročega komposta in imajo veliko vlogo v fazi z visoko temperaturo. Energijo pridobivajo z oksidacijo vodika ali žvepla in tvorijo organsko snov s CO₂.

ARHEJE

Insam in de Bertoldi (2007) pravita, da je mnogo arhej termofilnih ali celo hipertermofilnih. Večinoma so bile izolirane v termalnih izvirih. V nekaj redkih primerih so bile tudi izolirane iz komposta. Glede na to, da so raziskave potrdile metanogenezo v kompostnem kupu je verjetno, da se tam najdejo tudi arheje. Razlog za manjše število arhej je v tem, da so ponavadi oligotropne in tudi njihovi regeneracijski časi so veliko večji v primerjavi z bakterijami. Zato zanje niso primerne hitro spreminjajoče se razmere.

GLIVE

Po avtorjih Insam in de Bertoldi (2007) glive tekom prve faze kompostiranja tekmujejo z bakterijami za lahko dostopne substrate. Ker je maksimalna specifična rast bakterij večja od gliv, so glive kmalu v manjšini. Za glive je tudi zelo pomembno dobro prezračevanje in dobava kisika. In tudi v dobro prezračenih sistemih lahko pride do anoksičnih razmer. Zaradi teh razlogov in tudi zaradi manjše termotolerance, glive igrajo zanemarljivo vlogo tekom termofilne faze. Ena izjema so substrati z visoko vsebnostjo lignina in celuloze. V takem primeru so glive dominantne tekom celega procesa. V kasnejših fazah kompostiranja se vodni potencial zmanjša, kar je prednost za glive.

2.1.2.5 Hranila

Po podatkih avtorjev Diaz in sod., (2007) so makrohranila za mikroorganizme ogljik (C), dušik (N), fosfor (P) in kalij (K). Med mikroelementi so kobalt (Co), mangan (Mn), magnezij (Mg), baker (Cu) in število drugih elementov. Kalcij (Ca) spada nekako med makro- in makrohranila. Njegova glavna vloga je kot pufer, da zmanjšuje spremembe pH-ja. Četudi so hranila prisotna v substratu v zadostnih količinah, niso na voljo mikroorganizmom, če niso v primerni obliki. Tu je pomembna tudi encimatska sposobnost posameznih mikroorganizmov za razgrajevanje posameznih substratov. Določene skupine mikroorganizmov lahko razgrajujejo organsko snov iz svežih odpadkov, medtem ko drugi lahko le uporabljajo produkte razgradnje (intermediarne produkte). Razgradnja snovi je kompleksen proces, pri katerem pogosto ena skupina mikroorganizmov pripravi pot za druge mikroorganizme.

Pomemben vidik dostopnosti hranil v procesu kompostiranja je tudi velika odpornost organskih molekul, ki so neodzivne na napad mikroorganizmov, tudi takih, ki imajo pravi encim. Posledica tega je počasna razgradnja takih materialov, čeprav so vsi ostali pogoji optimizirani.

Primeri takih materialov sta lignin (les) in hitin (perje, školjke).

Celuloza je tudi nedostopna večini mikrobov, četudi je dostopna določenim glivam. Dušik je lahko dostopen, ko je v proteinski, peptidni, aminokislinski obliki. Sladkorji in škrobi so lahko razgradljivi, prav tako maščobe.

2.1.2.6 C/N razmerje

Eden najpomembnejših vidikov ravnovesja hranil je razmerje med organskim ogljikom in celotnim dušikom (C/N). Optimalno razmerje C/N v začetnem materialu je okoli 25-30 za večino vrst odpadkov. Živi mikroorganizmi s svojim metabolizmom izkoristijo 30 delov ogljika za en del dušika. Okoli 20 delov ogljika se oksidira v CO₂ (ATP), 10 delov se izkoristi za sintezo protoplazm. Dejansko je C/N razmerje pri veliko bakterijah okoli 9-10. Če je količina ogljika veliko večja od količine dušika (visoko C/N razmerje), se biološka aktivnost močno zmanjša. Tekom kompostiranja bi bil v takem primeru potreben zelo dolg čas, da bi se C/N razmerje znižalo na primeren nivo. Optimalno razmerje C/N je do določene mere funkcionalnost narave odpadkov, posebno komponent z visoko vsebnostjo ogljika. Če je ogljik, vezan v komponentah, zelo odporen na mikrobiološke napade, potem je le počasi dostopen mikroorganizmom. Take komponente so lignin, nekateri aromati in določene oblike celuloze. Edina vidna kazen za razmerje C/N pod 20 je izguba dušika s hlapenjem amoniaka. Izgube amoniaka se pospešijo ob visokih temperaturah in pH okoli 8-9. Do največjih izgub pride na začetku procesa tekom termofilne faze, ko se material prevrača, premetava v kompostnem kupu ali reaktorju. Zunanja plast komposta ponavadi preprečuje izgubo dušika. Izguba dušika v obliki amoniaka onesnažuje atmosfero, daje neprijeten vonj in zmanjšuje vsebnost dušika v končnem produktu, kar pa zmanjša vrednost končnega produkta - gnojila.

Pri dobrem poteku procesa se C/N razmerje konstantno zmanjšuje. To pa zaradi procesa mineralizacije ogljikovih komponent in izgube v obliki CO₂. Če ima kompost visoko C/N razmerje in hitro razpade v tleh, potem lahko oropa tla dušika, potrebnega za razvoj rastlin. Če pa je razmerje C/N nizko, potem pa lahko sproščeni amoniak deluje fitotoksično na rastlinske korenine.

Preglednica 2: Vsebnost dušika in C/N razmerje v različnih odpadkih (Golueke, 1977, cit. po Diaz in Savage, 2007)

Material	Dušik (% suhe teže)	C/N razmerje
Aktivirana gošča komunalnih čistilnih naprav	5	6
Klavni ostanki	-	4,1
Kri	10-14	3,0
Kravji gnoj	1,7	18
Presnovljeni komunalni odpadki	2-4	-
Košena mlada trava	3-6	12-15
Konjski gnoj	2,3	25
Mešana trava	2,4	19
Fekalijske	5,5-6,5	6-10
Neleguminozni rastlinski ostanki (mlade rastline)	2,5-4	11-12
Prašičji gnoj	3,8	12-14
Krompirjevka	1,5	25
Kurji gnoj	6,3	15
Žaganje	0,1	200-500
Ovčji gnoj	3,8	-
Ovsena slama	1,1	48
Pšenična slama	0,3-0,5	100-150
Urin	15-18	0,8

Glede na potrebe mikroorganizmov po hranilih, aktivnih v kompostu, je razmerje C/N v odpadkih, ki se bodo kompostirali, najpomembnejši faktor. Izkušnje kažejo, da je večina hranil v kompostu prisotna v zadostnih količinah in razmerjih.

Potrebe v zvezi z razmerjem C/N so funkcije relativnih razlik v količini teh dveh elementov, ki ju uporabljajo mikroorganizmi za pridobivanje energije in sinteze novih celičnih materialov. Če je razmerje C/N previsoko, ga lahko znižamo z dodajanjem dušičnih odpadkov. In obratno, če je razmerje C/N prenizko, ga lahko zvišamo z dodajanjem organskih odpadkov, z večjo vsebnostjo ogljika. Vsebnost dušika in različna C/N razmerja so opisana v preglednici 2 (Diaz in Savage, 2007).

2.1.2.7 pH vrednost

Avtorja Diaz in Savage (2007) pravita, da načeloma lahko kompostiramo organsko snov z velikim razponom pH 3 do 11. Najbolj optimalen razpon pH je med 5,5 in 8,0. Bakterije bolje uspevajo v nevtralnem pH, dočim imajo glive raje bolj kislo okolje. V praksi je nivo pH v kompostni masi težko spremeniti. V splošnem začne pH padati na začetku procesa (do 5,0), kot posledica delovanja bakterij, ki razkrajajo kompleksne ogljikove materiale v organske kisline kot intermediat. Ko se ta acidifikacijska faza konča in so intermedii popolnoma mineralizirani, se pH zvišuje in je pri koncu procesa med 8 in 8,5. Visoke vrednosti pH v začetnem materialu imajo lahko skupaj z visoko temperaturo za posledico izgubo dušika s hlapenjem v obliki amoniaka. V primeru anaerobne razgradnje kritični nivo pH ponavadi pokriva nizek razpon (6,5-7,5).

Ker je malo verjetno da bo pH padel na nivo, kjer bi deloval kot inhibitor, ni nobene potrebe po tem, da bi uporabljali pufre, kot je gašeno apno (kalcijev hidroksid). Dodajanju apna se je potrebno izogniti tudi zato, ker lahko vodi v izgubo amonijskega dušika v kasnejših fazah kompostiranja. Izjema je pri kompostiranju odpadkov sadja. Pri takih odpadkih lahko pH pade na 4,5. Pri relativno povišanih temperaturah in nivojih pH, ki se normalno spreminjajo tekom kompostirnega procesa, amonijev ion hlapi in posledično se amoniak kot plin izgublja tekom prezračevanja komposta. Čeprav je izguba amoniaka vedno prisotna pri aerobnem kompostiranju, pa se lahko izgube povečajo z dodajanjem apna, ne pa ob dodatku apnenca. Apnenec lahko celo veže prosti amonij, tako da se tvori amonijev karbonat. Za vezavo je delno učinkovita tudi sadra – kalcijev fosfat dihidrat (Mihelič in Pucer, 2010). Apno pa po drugi strani izboljša fizično stanje kompostnih odpadkov, ker verjetno deluje kot vezalec vlage.

2.1.2.8 Temperatura

Po Diaz in Savage (2007) je kompostiranje biooksidativen, mikrobiološki proces razgradnje mešane organske snovi. Le 40 do 50 % te energije lahko uporabijo mikroorganizmi za sintezo ATP. Ostala energija se izgubi v obliki toplote. Ta velika količina toplote lahko povzroči povišanje temperature in doseže višine 70 do 90 °C. Visoke temperature zaustavijo rast mikroorganizmov in s tem upočasnijo razgradnjo organske snovi. Le nekaj vrst termofilnih bakterij kaže metabolne aktivnosti pri temperaturah nad 70 °C. Za višjo stopnjo biorazgradnje in maksimalno mikrobiološko diverziteto bi temperaturo morali vzdrževati med 35 in 45 °C.

V kompostnem procesu pa termofilna faza ne sme biti odstranjena, zmanjšana, saj je najpomembnejša faza za zmanjšanje patogenov. Še več, termofilna faza mora biti vzdrževana na začetku procesa, ko so na voljo lahko razgradljive molekule, ki dovoljujejo temperaturno rast do 70 °C.

V prisilno zračenih sistemih je glavni mehanizem odstranjevanja toplote evaporativno hlajenje (uparjanje vode), ki je zaslužno za odstranitev 80-90 % toplote. Del toplote, ki se tvori tekom kompostiranja v zaprtem reaktorju, lahko zadržimo in uporabimo za toplotno črpalko, ki proizvaja toplo vodo za domačo in industrijsko uporabo. Temperatura kompostnega materiala začne rasti kmalu po vzpostavitvi kompostnih pogojev, to je po spravljaju materiala v reaktor ali kompostni kup.

Takoj za tem, če so razmere ugodne, se temperatura dvigne skoraj eksponentno s časom dokler ne doseže nivoja okoli 65 do 70 °C. Odvisno od uporabljenega sistema in vrste odpadkov traja časovna perioda visokih temperatur 1 do 3 tedne in nato začne postopno padati, dokler ne doseže ambientalne temperature. Ob neprimernih razmerah lahko nivo visoke temperature traja dlje kot 3 tedne, čeprav so temperature nižje, okoli 54 do 60 °C.

Vzroka za dvig temperature sta dva: toplota nastala z aktivnostjo mikrobne populacije in z izolativnostjo kompostne mase proti izgubi toplote. Zadnje namiguje na to, da so razen pri kritični masi, izgube toplote tako velike, kot se jo proizvede in posledično kompostni material ostane na ambientalni temperaturi. Pod klimatskimi razmerami, ki so podobne sredozemskim, je kritičen volumen 1 m³. Kritični volumen je večji v hladnejših podnebjih, posebej območjih z močnimi zimami.

Toplota, ki jo ustvarijo mikroorganizmi, je večinoma iz njihovih respiracijskih aktivnosti. Mikroorganizmi niso popolnoma učinkoviti pri pretvorbi in izkoriščanju kemijske energije vezane v substratu. Neuporabljena energija se pretvori v toplotno energijo. Zatorej, višanje temperature postane indikator mikrobne aktivnosti, ker večja kot je populacija mikroorganizmov, več toplote se ustvari.

Eksponentna rast temperature se zgodi zaradi lahko razgradljivih komponent (sladkor, škrob, enostavni proteini). Tekom te faze mikrobna populacija eksponentno raste.

Ko je lahko razgradljiv material kompostiran in ostane le težje razgradljiv, se zmanjša aktivnost bakterij in s tem tudi pade temperatura. Lahko predvidevamo da, ko se temperatura spusti na ambientalno raven ali nekaj stopinj nad njo, so stabilizirane biološko nestabilne komponente. Tak material je dovolj kompostiran za shranjevanje oziroma nadaljnjo uporabo.

2.1.2.9 Zračenje

Diaz in Savage (2007) pravita, da na zračenje pri kompostiranju lahko najbolj vplivamo s tehnologijo dizajna sistema, ki zagotavlja dovolj kisika kompostni masi. Zrak, ki je ujet v prostorih znotraj kompostne mase, variira v sestavi. Vsebnost ogljikovega dioksida narašča in kisika pada. Povprečna skupna vsebnost CO₂ in O₂ znotraj mase je okoli 20 %.

Koncentracije kisika variirajo med 15 in 20 % ter ogljikovega dioksida od 0,5 do 5 %. Ko kisik pade pod ta nivo, začne število anaerobnih mikroorganizmov presegati aerobne mikroorganizme in prevladujejo procesi anaerobnega dihanja. Zato je pomembno, da imajo mikroorganizmi konstanten dotok kisika. Po nekaj urah kompostiranja nivo kisika pade in ga je potrebno dovesti z zračenjem, ventilacijo. Periodično mešanje kompostnega kupa, brez zračenja, ne more zagotavljati konstantnega nivoja kisika znotraj kompostne mase.

Ventilacija ima poleg dovajanja kisika tudi pomembno funkcijo kontroliranja temperature in vlage. V kompostnem kupu pri 60 °C je količina zraka, potrebnega za kontrolo temperature proti potrebi za dovajanje porabljenega kisika, v razmerju 9:1. Pri nizkih temperaturah se to razmerje poveča. Zato bi proces ventilacije moral biti zmožen tako dovajati svež kisik, kot tudi odvajati toploto. Priporočeno začetno razmerje bi bilo 0,15 m³ zraka na tono mase na minuto. Teoretično je količina potrebnega kisika določena s količino ogljika, ki mora biti oksidiran. Praktično pa je potrebno v termofilni fazi dovajati tudi do 30-krat več zraka, kot so stehiometrične potrebe za oksidacijo, saj v termofilni fazi zrak prvenstveno rabimo za hlajenje kompostne gmote.

2.1.2.10 Vlaga

Po Diaz in sod. (2007) je voda esencialnega pomena za vso mikrobno aktivnost in mora biti prisotna v primernih količinah skozi ves proces kompostiranja. Optimalna vlaga se v začetnem materialu razlikuje in je odvisna od fizičnega stanja in velikosti delcev ter sistema kompostiranja. Navadno je 60 % vlage v začetnem materialu zadovoljivo. Ker imajo različni materiali različne zmožnosti zadrževanja vode, ne moremo v splošnem določiti začetnih in nadaljevalnih optimalnih nivojev vlage v kompostu.

Premalo vlage pomeni zgodnjo dehidracijo komposta, ki je fizično stabilen a biološko nestabilen produkt. Prevelika količina vode pa zamaši pore in vpliva na izmenjavo plinov. Zato je pomembno ravnovesje med vodo in plini. Prevelika vlaga v začetnem materialu bi pomenila anaerobne procese in s tem počasen proces in nekakovosten končni produkt.

Pri modernih sistemih kompostiranja je možno dodajati vodo tekom kompostirnega procesa. V obratu, zasnovanem za delovanje z visokimi stopnjami proizvedene toplote, evaporativni hladilni sistem odstrani velike količine vodne pare. To izsušuje material, zato je potrebno periodično dodajanje vode za vzdrževanje visoke mikrobne aktivnosti. To je možno le z mehanskim obračanjem. Pogosto uravnavanje vlage ni primerno, saj ima dodajanje vode tekom procesa kompostiranja vpliv na mnoge ostale faktorje. Na koncu kompostnega procesa naj bi bila vsebnost vode kar nizka (okoli 30 %) z namenom preprečitve biološke aktivnosti v že biološko stabiliziranem materialu.

Kot že prej omenjeno, sta optimalna vsebnost vlage in dostopnost kisika močno povezani.

Če je difuzija zraka iz ambientalnega okolja prenizka, mora biti zrak v porah materiala glaven izvor kisika. Posledično, če je vsebnost vlage previsoka in s tem izriva zrak iz por, so posledica anaerobni procesi. Maksimalna dovoljena vlaga mora biti v skladu s primernim dovajanjem zraka, saj drugače kisik postane limitirajoči faktor. Dovoljena vlaga je maksimalni nivo vlage pri kateri proces kompostiranja poteka nemoteno.

Maksimalna dovoljena vlaga je funkcija strukturne moči delcev kompostnega materiala. Je povezana s stopnjo odpornosti posameznih delcev na pritisk od teže delcev iz gmote nad njimi. Večja kot je strukturna moč, večja je maksimalna dovoljena vlaga. Primeri takega materiala so lesni sekanci, slama, koruzni storži.

Dovoljena vsebnost vlage v takih materialih je zelo visoka, okoli 75 do 80 %. Če so delci strukturno šibki, potem se deformirajo pod pritiskom in se s tem tudi zmanjšajo pore med delci. Posledično je manj prostora za zrak in vodo ter je s tem dovoljena vsebnost vlage manjša. Papir je dober primer takega materiala. Ko se papir zmoči, razpade. Mešanice s papirjem, kjer je papir v večini, imajo zgornjo dovoljeno stopnjo vlage le med 55 in 60 %. Takšen material ima za kompostiranje malo ali nič strukturne moči. Takim odpadkom pravimo amorfnim odpadki, so odpadki, pri katerih delci nimajo definirane oblike. Primeri takih odpadkov so tudi sadni odpadki, odpadki iz konzerv, gošča in živalski gnoj brez nastilja. Pri takih materialih je potrebno dodati sredstva za povečanje prostornine. Ta sredstva zagotavljajo strukturo pri mešanju z amorfnimi odpadki. Lahko imajo tudi sposobnost zadrževanja vlage.

Vsak material z veliko strukturno močjo je primeren kot sredstvo za povečanje prostornine. Pri odsotnosti sredstva za povečanje prostornine, lahko amorfen material predhodno pripravimo na način, da pridobi strukturno moč. Primer je kokošji gnoj; če ga posušimo pridobi granularno teksturo. Takšen gnoj ohrani strukturo, ko ga zmešamo s svežim gnojem. V praksi del takega komposta pri koncu damo na stran in uporabimo znova. Pri uporabi posušenega ali kompostiranega amorfnega materiala je pomembno vedeti, da skupna vlaga s svežim materialom ne sme presegati 60 %. Kritična vloga vlage pa ni le pri kompostiranju v kompostnih kupih. Je pomembna tudi pri mehaniziranem kompostiranju, pri katerem je material konstantno v gibanju.

Če je v kompostnem materialu v reaktorju vsebnost vlage visoka, potem lahko pride do tvorjenja grud, zlepljanja v skupke. Vsebnost vlage, pri kateri se začno kazati problemi, je primerljiva z vsebnostjo dovoljene vlage pri kompostiranju v kompostnih kupih.

Pomembni so tudi nizki nivoji vlage, pri katerih postane vlaga limitirajoči faktor. Vsa mikrobna aktivnost preneha pri 8 do 12 % vlage. Posledično vlaga postaja vedno bolj limitirajoči faktor, ko se bližamo tem nizkim nivojem. V praksi je dobro vzdrževati nivoje vlage nad 40 %.

2.1.2.11 Zrelost komposta

Avtorja Diaz in Savage (2007) pravita, da ni lahko določiti stabilnosti in zrelosti vzorca komposta vizualno ali z enim analitičnim parametrom. Pridobitev temne barve ali zemeljskih vonjev ni pokazatelj, ker se te lastnosti komposta lahko pridobi pred njegovo stabilizacijo. Doseganje razmerja C/N nižjega kot 20/1 tudi ni pokazatelj. Za primer, razmerje C/N pri svežem gnoju je lahko nižje kot 20/1. Suhost ne sme biti zamenjana s stabilnostjo. Res je, da je mikrobna aktivnost pri vsebnosti vlage nižji od 15-20 % minimalna in ima produkt zunanji izgled stabilnosti.

Mnogi predlagani testi imajo določene pomanjkljivosti, ki resno zmanjšujejo njihovo uporabnost. Določanje vsebnosti organskih (hlapnih) trdnih snovi je tak primer. Normalno bi predvidevali, da bodo vse snovi s primerljivimi koncentracijami organskih snovi, enako biološke stabilne. Ta predpostavka pa ni nujno prava, saj je snov, ki vsebuje nerazgrajene organske snovi, manj stabilna, kot tista, ki vsebuje enako koncentracijo organske snovi, ampak so njene komponente že razgrajene.

Nekatere metode za določanje stabilnosti komposta so sledeče: končen padec temperature (Golueke in McGauhey, 1953, cit. po Diaz in Savage, 2007), zmožnost samoogrevanja (Niese, 1963, cit. po Diaz in Savage, 2007), količina razgradljive in nerazgradljive organske snovi v materialu (Rolle in Orsanic, 1964, cit. po Diaz in Savage, 2007), višanje redoks potenciala (Moller, 1968, cit. po Diaz in Savage, 2007), poraba kisika (Schulze, 1964, cit. po Diaz in Savage, 2007), rast gob *Chaetomium gracilis* (Obrist, 1965, cit. po Diaz in Savage, 2007), škrobni test (Lossin, 1970, cit. po Diaz in Savage, 2007).

2.1.2.12 Fitotoksičnost

Pri rabi tal se je potrebno izogniti toksičnim učinkom na okolje, posebno če uporabljamo goščo, kompostirane organske odpadke, izboljševalce tal, substrate za gojenje rastlin. Organizmi, ki so takoj in najbolj vidno na udaru toksinov, so višje rastline. Zato je fitotoksičen vpliv določenih materialov lahko uporabljen kot indikator, če ni drugih vidnih vzrokov za propad rastlin. Fitotoksičnost je definirana kot zamik kalitve semena, inhibitor rasti rastlin ali kakršenkoli učinek na rastline, povzročen zaradi specifičnih substanc (fitotoksinov) ali rastnih razmer.

Če je ugotovljena fitotoksičnost določenega materiala, potem je potrebno opraviti dodatne raziskave za določitev vzroka. Obstaja veliko različnih metod za določanje fitotoksičnosti. Ključni parametri za določanje (uporabljene rastline, snovi za določanje,...), postopki in testni parametri se močno razlikujejo med posameznimi primeri (večinoma so odvisni od raziskovanega materiala) (Baumgarten in Spiegel, 2004).

Manios in sod. (1989) so raziskovali fitotoksičnosti koncentracije organskih kislin pri kompostiranju oljčnih listov v kompostnih. Primerjali so fitotoksičnost ekstraktov organskih komponent iz vzorcev kompostiranih oljčnih listov s čistimi organskimi kislinami in sterilno vodo. Spremljali so inhibitoren učinek na kalitev semena solate. Ugotovili so, da se je v prvih dveh tednih fitotoksičnost povečala, nato pa začela naglo padati.

Prav tako je ostala koncentracija organskih kislin iz vzorcev višja kot pri kontroli samih organskih kislin. Te ugotovitve kažejo, da je fitotoksičnost organskih kislin iz vzorcev drugačna kot tista iz kontrole.

Po raziskavi kompostiranja oljčnih tropin z visoko vsebnostjo vlage, se fitotoksičnost s potekom procesa kompostiranja zmanjša. Na začetku poskusa je bila fitotoksičnost materiala zelo visoka, se pa je stabilizirala tekom kompostiranja in padla na primerno raven. Poskus fitotoksičnosti je potekal s poskusom kalitve semena. Ugotovili so, da je začetna visoka fitotoksičnost v povezavi z začetno nižjo EC in višjo vsebnostjo fenolov (Gigliotti in sod., 2012).

2.2 SPLOŠNE ZNAČILNOSTI OLJK

2.2.1 Klasifikacija

Oljka uvrščamo v družino oljkovk, prav tako pa njen plod imenujemo oljka. Ta družina obsega okoli 20 rodov in več kot 400 vrst, razširjenih po celem svetu. Rod *Olea* obsega okoli 40 vrst vedno zelenih rastlin grmaste in drevesne oblike, ki rastejo spontano v sredozemskih deželah, severozahodnem himalajskem pogorju, južni Afriki, Avstraliji, Novi Zelandiji. Razširitev oljke na zahodno Sredozemlje je bila posledica velikega pridelovanja v antični Grčiji. Pri nas uspevata obe vrsti oljk, tako navadna oljka, ki jo predvsem gojijo, čeprav raste tudi v naravi, kot tudi divja, ki predvsem dobro uspeva v Istri. Oleastrovi plodovi so majhni in gospodarsko nepomembni, v primerjavi s plodovi navadne oljke. Vendar pa so uporabni kot podlaga za žlahtne sorte (Toplak Galle, 2002).

Kraljestvo:	Plantae (rastline)
Deblo:	Magnoliophyta (semenke)
Razred:	Magnoliopsida (dvokaličnice)
Red:	Lamiales (ustnatičevci)
Družina:	Oleaceae (oljkovke)
Rod:	<i>Olea</i> (oljka)
Vrsta:	<i>Olea europea oleaster</i> (oleaster, divja oljka, divji sejanec oljke) <i>Olea europea sativa</i> (navadna oljka)

2.2.2 Tropine - sekundarni produkt predelave oljk

Oljke v oljarnah predelujejo na različne načine: tradicionalna metoda; dvofazna, trifazna, dvoinpolfazna dekantacija oljk. Nastanejo produkti kot olje, rastlinska voda in tropine. Oljčne tropine so iz zmletih koščic, mesa ali pulpe in kože plodov. Tropine ne vsebujejo koščic pri uporabi tehnologije, ki oljke pred mletjem in mesenjem, razkoščiči. Oljke na začetku očistijo in odstranijo listje, vejice in ostale primesi. Navadno jih tudi oprerejo z vodo, da odstranijo prah, umazanijo, fitofarmacevtska sredstva itd. Naslednji korak je mletje oljk v oljčno drozgo, da se sprostijo olje iz celic. Nadalje je mesenje oljčne drozge z namenom, da se kapljice olja združujejo skupaj v večje. Tukaj se lahko dodaja voda ali pa dovaja toplota, čeprav to ponavadi poslabša kakovost olja. Postopek traja 20 do 45 minut. Najbolj običajen je horizontalni mešalec s spiralnimi mešalnimi rezili. Daljši mešalni čas povečuje količino olja, vendar je zmes izpostavljena večji oksidaciji, kar vpliva na kakovost olja.

Tradicionalna metoda obstaja že iz antičnih časov. Deluje na način pritiska na oljčno drozgo z namenom ločevanja olja in vode iz oljk. Najprej so oljke zdrobili v drozgo z uporabo mlinskih kamnov. To traja 30 do 40 minut z namenom dobrega mletja oljk, večanja in združevanja oljčnih kapljic in delovanja encimov, ki naredijo določen vonj in okus olja. Nato so oljke razporejene na diske iz vlaken, ki so danes iz umetnih materialov, včasih pa so bili iz konoplje ali vlaken kokosa. Diske položijo ene vrh drugega in stisnejo v preši. S pritiskom izvlečejo iz trdnega dela oljk tekočino: vodo in olje. Tekočini se loči z dekantacijo ali centrifugacijo.

Moderne metode pridobivanja olja iz oljk uporabljajo industrijski dekanter za ločevanje vseh faz s centrifugacijo. Pri tej metodi najprej oljke zdrobijo v fino drozgo z uporabo različnih drobilcev, ki uporabljajo kladiva, diske in različna rezila.

Z mesenjem, ki poteka 30 do 60 minut poskrbijo, da se manjše kapljice olja združijo v večje. Arome prav tako nastanejo tekom teh dveh korakov.

Nato drozgo prenesejo v industrijski dekanter v katerem pride do ločevanja faz med sabo. Dekanter je horizontalna centrifuga z veliko kapaciteto, ki se vrti približno 3000 obratov na minuto. Ustvarjena centrifugalna sila nato loči faze med sabo glede na njihovo gostoto (trdni delci – vegetacijska voda – olje). Znotraj dekanterjevega rotirajočega stožčastega bobna je tuljava, ki se vrti z nižjimi obrati, ki trde delce odstranjuje iz sistema.

Ločena olje in vegetacijska voda sta nato speljana v vertikalno centrifugo, ki se vrti s 6000 obrati na minuto, ki poskrbi za ločevanje olja in preostale vegetacijske vode. Pri uporabi trifaznih dekanterjev se del oljnih polifenolov izpere zaradi večje količine dodane vode in s tem pride tudi do povečanja količine vegetacijske vode.

Z namenom reševanja tega problema je bil tudi razvit dvofazni dekanterjski sistem. S tem sistemom ekstrahiramo manjšo količino olja, a tudi porabimo manj vode in s tem zmanjšamo izpiranje fenolov. Olivna drozga je razdeljena na dve fazi, olje in vlažne tropine. Ta dekanter ima dva izhoda namesto treh (olje, voda, trde snovi). Voda je izločena v dekanterju preko tuljave skupaj s tropinami. Ostale vlažne tropine se lahko nadalje segrevajo na 45 °C in s prilagojenimi dvofaznimi dekanterji se lahko pridobi dodatna 2 litra olja iz 100 kg vlažnih tropin. Vlažne tropine lahko tudi sušijo in uporabljajo kot kurjavo.

Vendar pa je sušenje energijsko zelo potraten proces, prav tako pa pri izgorevanju suhih tropin nastajajo toplogredni plini, kar pa ni z ekološkega vidika problematično, ker gre za obnovljiv vir energije in ni neto toplogrednega učinka.

Vlažne oljčne tropine lahko s primerno kmetijsko mehanizacijo vdelajo v tla. V nasprotju z njimi pa so velike količine vegetacijske vode lahko zelo problematične, kar se varstva okolja tiče.

Dvoipol fazni dekanterji predstavljajo kompromis med trifaznim in dvofaznim dekanterjem. Ti ločujejo oljčno drozgo v tri faze, a imajo manjšo porabo vode in tudi količina izhodne vegetacijske vode je manjša. Posledično imajo vlažne tropine podobno vlažnost kot pri trifaznem dekantiranju, pa tudi količina vegetacijske vode je manjša.

Na območju Slovenske Istre je poleg enajstih registriranih oljarn še približno dvajset neregistriranih, v katerih pridelajo od deset do petnajst odstotkov celotne količine oljk v Slovenski Istri. V Slovenski Istri imajo tri oljarne preše, tri dvofazni sistem in pet oljarn dvoipolfazni sistem predelave oljk. Največ oljčnih tropin nastane v oljarnah z dvoipolfaznim sistemom predelave oljk. Analiza stanja o količinah in vrstah tropin, ki nastajajo pri predelavi oljk v Slovenski Istri temelji na podatkih, ki so jih posredovali oljarji na podlagi anketiranja in na oceni količine oljk, ki izhaja iz poznavanja terenskih zmogljivosti (preglednica 3) (Bandelj Mavsar in sod., 2008).

Preglednica 3: Količina oljčnih tropin (t) v letih 2005, 2006, 2007 na območju Slovenske Istre (Bandelj Mavsar in sod., 2008)

Leto	2005	2006	2007
Postopek predelave oljk	Količina oljčnih tropin (t)	Količina oljčnih tropin (t)	Količina oljčnih tropin (t)
Preša	103,6	95	100,5
Dvofazni	174	205	147
Dvoipol-/trifazni	440	515	491
Skupaj(t)	717,6	815	738,5

Oljka je sestavljena iz mesa ali pulpe (75 do 85 % mase), koščice (13 do 23 % mase) in semena (2 do 3 % mase). Tropine iz tradicionalnih oljarn s prešami vsebujejo manjši delež vlage in večji delež olja v primerjavi s tropinami iz oljarn z dvo-, tri- in dvoipol faznim sistemom.

Prikazani rezultati (preglednica 4) so povprečja meritev deleža vlage in olja v oljčnih tropinah glede na sistem predelave oljk v dvanajstih oljarnah (enajstih slovenskih in eni italijanski) na čezmejnem območju predelovalnih sezon v letih 2005 in 2006 (Bandelj Mavsar in sod., 2008).

Preglednica 4: Delež vlage (ut. %) in olja (ut. %) v oljčnih tropinah (Bandelj Mavsar in sod., 2008)

Sistem predelave oljk	Delež vlage (%)	Delež olja (%)
Tradicionalni	27,29	10,52
Dvofazni sistem	65,03	5,03
Dvoipolfazni sistem	55,40	5,72

3 MATERIALI IN METODE

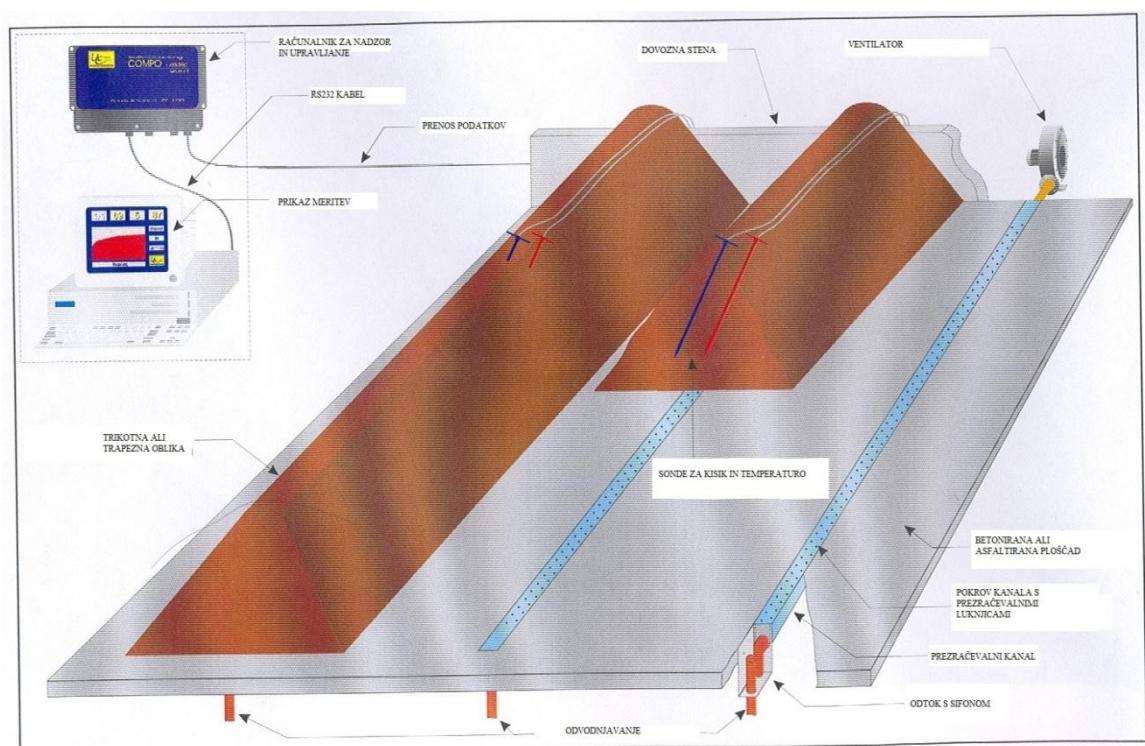
3.1 ZASNOVA IN POSTAVITEV POSKUSA

V začetku februarja 2007 smo na lokaciji Biotehniške fakultete v Ljubljani zasnovali poskus kompostiranja oljčnih tropin skupaj z zmletim vejevjem platan v posebnih bioreaktorjih s sistemom vpihovanja zraka. Pri tej metodi dovajamo zrak preko ventilatorjev z namenom zračenja, ohlajanja in sušenja kompostne mešanice. Ventilator je preko računalnika povezan s tipali, ki merijo temperaturo v kompostnem materialu. Ta sistem omogoča uravnavanje temperature, da se material ne segreje preko mejne vrednosti. Namen je bil narediti stabilen material, ki se lahko uporablja kot kompost za gnojenje tal. Kompostiranje je potekalo 5 mesecev, od 5. februarja do začetka julija 2007. Pri poskusu smo uporabili dva bioreaktorja; v prvem je bila mešanica relativno vlažnih oljčnih tropin in zmleto vejevje platan (RB), v drugem pa mešanica relativno vlažnih oljčnih tropin in zmleto vejevje platan z dodatkom uree (RU). Oba reaktorja sta imela prezračevanje preko ventilatorja, ki sta skrbela za primerno temperaturo v zmernem termofilnem območju in zadostno dovajanje kisika kompostni mešanici. Krmiljena sta bila preko računalnika, ki je določal prezračevanje glede na temperaturo, ki so mu jo posredovale posebne temperaturne sonde. Na vsakem izmed bioreaktorjev je bilo skozi posebne odprtine nameščenih osem sond. Iz bioreaktorjev smo tekom procesa kompostiranja jemali vzorce za fizikalno kemijsko analizo iz odprtih za temperaturne sonde na bioreaktorjih.

Vzorce smo skozi odprtine jemali s kovinskim tulcem (sondo) za jemanje vzorcev. Orodje je bilo primerne dolžine, da smo zajeli vzorec od zunanje stene pa do sredine kompostne mešanice.

Med poskusom smo spremljali temperaturo, vlago in kemijske parametre.

Poskus kompostiranja z vpihovanjem zraka je simulacija na sliki 1 predstavljene tehnologije, ki uspešno deluje v praksi. Gre za tehnično preprosto a tehnološko optimiziran postopek.



Slika 1: Tehnološka shema kompostiranja z vpihovanjem zraka v statične kupe (Compost ..., 2012)

3.2 VHODNI MATERIALI

Kompostiranje je proces aerobne razgradnje organske snovi pri katerem je potrebno poskrbeti za zračnost kompostnega materiala. Kompostna mešanica potrebuje primerno strukturo z zadostno vsebnostjo in velikostjo por za zrak in vlago. Pri poskusu kompostiranja oljčnih tropin smo se odločili, da združimo relativno mokre oljčne tropine z zmletim vejevjem platan z javnih mestnih površin.

Zmleto vejevje platan je bilo pridobljeno z obrezovanjem dreves z javnih površin, ki ga je priskrbelo komunalno podjetje iz Izole. Zmlet les je bil droben, delci premera okoli 2 cm. Zmleti les smo zamešali med tropine v razmerju en del lesa (25 odstotkov volumsko) in trije deli tropin. Zmleto vejevje je dober strukturni material, saj ima nizek odstotek vlage (okoli 30 %), dobro vpija vlago in ohranja dobro razmerje med zrakom in vlago.

Sveže tropine so bile relativno mokre (vlaga 53 %), saj so bile pridobljene iz procesa dvojnopolfaznega dekantiranja. Sveže tropine imajo nasipno maso (volumsko gostoto) okoli 820 kg/m^3 . Pri taki masi in gostoti lahko pride do zlepljanja in tvorjenja grud, kar bi onemogočalo aerobne procese. Iz tega razloga smo dodali zmleto vejevje platan.

Pred začetkom kompostiranja v bioreaktorjih smo vzorčili tropine 23. 11. 2006. Po analizi tropine vsebujejo okoli 50 % C in 0,9 % N v sušini, kar nam da razmerje C/N okoli 55. Optimalno C/N razmerje za mikroorganizme v procesu kompostiranja je okoli 30.

Da bi pospešili proces kompostiranja in povečali proizvodnjo toplote, smo v primerjalni reaktor poleg oljčnih tropin in zmletga vejevja platan dodali dušik v obliki uree v količini 2 kg uree/100 kg ($= 0,92 \text{ kg N/100 kg}$), da bi zožili razmerje C/N na optimalnih 30.

3.3 BIOREAKTOR

Pri poskusu kompostiranja oljčnih tropin smo se odločili kompostirati po sistemu statičnih kupov s prepihovanjem. S tem namenom smo uporabili kompostne bioreaktorje, ki jih je zasnoval doc.dr. Rok Mihelič z Biotehniške fakultete v Ljubljani. Bioreaktor je izolirana ovalna posoda v obliki pokončnega valja, s katero simuliramo dogajanje na sredini običajnega kompostnega kupa.

Reaktor je v obliki valja, sestavljen iz posameznih kosov. Premer valja je en meter, višina posameznih delov je pa pol metra in se lahko sestavi do višine 2,5 metra. Stene reaktorjev so iz armiranega poliestra, ki je odporen proti kislinam (organske kisline so prisotne pri procesu kompostiranja organskega materiala). S specialnimi elektronskimi sondami se kontinuirano meri temperatura kompostnega materiala znotraj bioreaktorja. Zrak je vpihovan s posebnimi ventilatorji, ki so odporni proti vlagi in kislinam. Ventilatorje krmili računalnik glede na programske nastavitve, predvsem na podlagi temperature, ki jo beležijo sonde. Če je temperatura presegla določeno mejno vrednost, so se ventilatorji zagnali in ohladili mešanico. Pomembno je bilo tudi dovajanje kisika v kompostno mešanico zaradi aerobnih procesov. Regulacijo smo nastavili tako, da bi dosegli temperaturo kompostiranja v zmernem termofilnem območju (od 50 do 65 °C), katera zagotavlja najbolj učinkovit proces razgradnje.

Reaktorje smo napolnili z mešanico vlažnih oljčnih tropin in zmletga vejevja platan, po 1700 litrov kompostne mešanice do višine 2,2 metra. To je realna višina kot v industrijskih kompostarnah. Z večjo višino zmanjšamo potrebo po površini ploščadi za kompostiranje in razmeroma zmanjšamo delež zunanjih, hladnejših delov kompostnega kupa in s tem zagotovimo enakomerne razmere v večjem delu komposta. Pri veliki višini je lahko oviran pretok zraka in odvajanje toplote. Zato je pri kompostni mešanici pomembna njena struktura, ki zagotavlja dovolj velike pore in s tem pretok in izmenjavo plinov ter prenos toplote iz kompostne mešanice. Pomembna je tudi pravilno postavljena ventilacija, ki zagotavlja pretok zraka in dovod kisika za aerobne procese.

Uporabili smo dva bioreaktorja; v enem mešanico oljčnih tropin z zmletim vejevjem platan (RB) in v enem še dodatek uree (RU).

Na sliki 2 sta bioreaktorja. Na reaktorju v ospredju so vidne sonde za merjenje temperature kompostne mešanice, ki so vtaknjene skozi posebej za to pripravljene odprtine. Vidijo se posamezni segmenti, iz katerih je sestavljen reaktor do maksimalne višine (2,5 m). Ob spodnjem levem delu reaktorja se vidi sistem za vpihovanje zraka, ki je tako kot sonde, povezan z računalnikom, ki krmili sistem po vnaprej določenih parametrih.



Slika 2: Biorektorja za poskus kompostiranja oljčnih tropin

3.4 ANALITSKE METODE

Suho snov v vzorcih, vrednosti pH, električno prevodnost ter celokupni fosfor (P) in kalij (K) smo izmerili v pedološkem laboratoriju Biotehniške fakultete, pri tem pa smo upoštevali mednarodna standarda ÖNORM S 202 in SIST ISO 11465.

3.4.1 Določanje suhe snovi

Vzorec za analizo je bil svež, presejan skozi sito < 11,2 mm.

Suho snov določamo gravimetrično tako, da svež vzorec sušimo pri temperaturi 105 °C do konstantne mase. V primerno posodo (najbolje 300-milimetrsko izparilnico) natehtamo 100 gramov vzorca (na 0,1 gram natančno) in ga razporedimo tako, da plast vzorca ni debelejša od treh centimetrov. Nato vzorec sušimo pri temperaturi 105 °C ± 3 °C do konstantne mase.

Najbolje je, da vzorec najprej sušimo pri nižji temperaturi v sušilniku z močno ventilacijo (do stopnje zračno suhega vzorca) in nato dosušimo pri predpisani temperaturi.

Rezultat podamo v relativni skali (delež suhe snovi v svežem vzorcu) in zaokrožimo na celo številko. Za vsak vzorec izvedemo dve ponovitvi, pri čemer je največje dopustno odstopanje od povprečja ± 2,5 odstotka.

3.4.2 Merjenje vrednosti pH

Vzorec za analizo je bil zračno suh, presejan skozi sito < 0,63 mm.

Meritev pH opravimo potenciometrično v suspenziji vzorca in raztopine CaCl₂ (0,01 mol/L). V primerno posodo natehtamo 10 gramov vzorca (na 0,01 grama natančno) in prelijemo s 100 mililitri raztopine CaCl₂ koncentracije 0,01 mol/L. Nato premešamo, da se vzorec dobro omoči in pustimo stati čez noč. V tako pripravljeni suspenziji naslednji dan izmerimo vrednost pH.

Rezultate podamo na eno decimalno mesto natančno. Za vsak vzorec izvedemo dve ponovitvi, pri čemer je največje dopustno odstopanje od povprečja ±2,5 odstotka.

3.4.3 Merjenje električne prevodnosti – EC

Vzorec za analizo je bil zračno suh, presejan skozi sito < 0,63 mm.

Vzorec ekstrahiramo z destilirano vodo in v ekstrakcijski raztopini merimo električno prevodnost s konduktometrom.

V primerno ekstrakcijsko posodo natehtamo 10 gramov vzorca (na 0,01 grama natančno) in prelijemo z vodo v razmerju 1:10 (100 mL H₂O). Največja dopustna EC uporabljene H₂O je 0,2 mS/m. dobro premešamo, da se ves vzorec omoči in tri ure stresamo na stresalniku. Nato filtriramo (Schleicher & Schuell 589(3) - modri trak) in v tako pripravljeni ekstrakcijski raztopini merimo EC.

Pripravimo tudi slepi vzorec, katerega EC ne sme presegati 1 mS/m.

Meritve opravimo s konduktometrom ISKRA MA 5966. Kot standardne raztopine pri meritvah uporabimo raztopine ISKRA 1: 1291,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ISKRA 2: 1,413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in ISKRA 3: 12,89 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25 °C). Katero raztopino bomo uporabili je odvisno od območja, v katerem merimo vzorce. Postopek meritev je opisan v navodilih za uporabo konduktometra MA 5966. Rezultate podamo mS/cm (20 °C) na eno decimalno mesto. Za vsak vzorec opravimo tri ekstrakcije, pri čemer je največje dopustno odstopanje od povprečja ± 5 odstotkov.

3.4.4 Določanje skupnega dušika

Glede na pričakovano vrednost dušika natehtamo 0,2 g (vsebnost $N \approx 0,1\%$) do 1 g (vsebnost $N \approx 0,5\%$) zračno suhega vzorca v bučko za razklop. Dodamo 4 ml salicil-žveplove kisline in premešamo, da se kislina dobro zmeša s talnim vzorcem. Mešanico pustimo stati vsaj nekaj ur (ali čez noč). Skozi suh lijak z dolgim odtokom, ki sega v bučko za razklop, dodamo 0,5 grama natrijevega tiosulfata in previdno segrevamo, dokler penjenje ne preneha.

Po ohladitvi dodamo 1,1 g mešanice katalizatorja in segrevamo, dokler raztopina ne postane bistra. To segrevanje lahko poteka tudi do pet ur, in sicer tako, da je kondenzacijsko območje žveplove kisline v spodnji tretjini vratu posodice in temperatura raztopine ne preseže 400 °C. Običajno je čas kuhanja dve uri. Po končanem razklopu bučke ohladimo in ob rahlem tresenju previdno in počasi dodamo približno 20 ml vode. Bučko premešamo, da pride ves neraztopljeni del v suspenzijo, vsebino prenesemo v destilacijsko bučko in trikrat izperemo z vodo. V sto mililitrsko erlenmajerico damo 5 ml borove kisline in podstavimo erlenmajerico pod destilacijski aparat tako, da je cev hladilnika potopljena v raztopino borove kisline. 20 ml natrijevega hidroksida nalijemo v lijak destilacijskega aparata in ga počasi dodajamo v bučko destilacijskega aparata, kjer je suspenzija po razklopu. Predestiliramo približno 40 ml kondenzata, speremo cev hladilnika, destilatu dodamo nekaj kapljic indikatorske mešanice in s kislino titriramo do preskoka v vijoličasto barvo.

3.4.5 Določanje organske snovi

Za določanje organske snovi zatehtamo določeno količino komposta v primerno posodo in ga damo v peč. Izvedemo suhi sežig pri 550 °C. Po sežigu ponovno stehtamo in dobljena masa je anorganska snov, saj je organska pri procesu sežiga izgorela. Izračun organske snovi: celotna masa vzorca komposta – anorganska snov = organska snov.

3.4.6 Določanje celokupnega fosforja in kalija

Kompost (zračno suh vzorec, presejan skozi sito $\leq 0,63$ mm) ekstrahiramo z zlatotopko (raztopina koncentrirane HCl in koncentrirane HNO_3).

Fosfor določamo spektrofotometrično po vanadat-molibdatni metodi, K pa na AAS.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 SPREMLJANJE POSKUSA

Proces kompostiranja je trajal dobrih pet mesecev, od 5.2.2007 do sredine julija 2007. V tem času smo bioreaktorja razdrli in kompostno mešanico premešali in dodali določeno količino vode. Kompostno mešanico smo premešali po tridesetih in šestdesetih dneh kompostnega procesa. Iz slike je razvidno tvorjenje skupkov v kompostni masi pa tudi primeren rahlejši material v sredini kupa (slika 3).



Slika 3: Mešanje kompostne mešanice iz bioreaktorja

Na sliki 4 se lepo vidi del kompostnega materiala v enem večjem kupu. Vidi se delovanje gliv in aktinobakterij, ki so del kompostnega procesa, njihovega razraščanja micelija po kompostnem materialu. Iz slik 3 in 4 je razvidna potreba po mešanju kompostnega materiala, saj smo na ta način izboljšali strukturo komposta z mešanjem in razvijanjem večjih agregatnih delcev.



Slika 4: Kompostni material iz bioreaktorja

V preglednici 5 so predstavljeni kemijski parametri poskusa kompostiranja oljčnih tropin v bioreaktorjih (RU – z dodatkom uree, RB – brez dodatka uree) in oljčnih tropin (pred začetkom kompostiranja).

Preglednica 5: Kemijski parametri pri oljčnih tropinah in kompostiranju oljčnih tropin v bioreaktorjih (RU – z dodatkom uree, RB – brez dodatka uree)

DATUM	OZNAKA	% S.S.	pH	EC (mS/cm)	% N	% C	C/N	P (mg/kg)	K (mg/kg)
24.11.2006	Tropine	47,9	4,33	1,15	0,90	52,1	56,0	731	7682
5.2.2007	RU	48,9	6,20	0,78	1,11	49,4	44,4	787	8125
	RB	52,0	5,97	1,03	0,85	48,3	56,5	987	9750
16.2.2007	RU	46,4	6,37	0,75					
	RB	49,1	6,28	0,81					
23.2.2007	RU	45,9	6,20	0,77					
	RB	48,9	6,21	0,82					
9.3.2007	RU	47,5	6,35	0,81	1,11	51,2	46,4		
	RB	48,6	6,12	0,85	1,14	51,9	45,4		
6.4.2007	RU	48,7	6,51	0,71	1,27	48,6	38,5		
	RB	51,5	6,63	0,89	1,28	49,9	40,4		
25.5.2007	RU	52,4	6,93	0,76	1,13	48,6	43,2	904	10164
	RB	54,9	6,95	0,84	1,30	49,9	38,3	817	9999
21.6.2007	RU	56,7	7,12	0,75					
18.7.2007	RB	72,0	7,26	1,17	1,41	48,4	34,3		

Iz slike 5 so razvidne gobe, ki so zrastle na kompostni mešanici ob koncu kompostiranja. Gobe na sliki so lupinaste nožničarke (*Volvariella volvacea* B.). So značilne saprofitske glive, uspevajo na kompostu, v rastlinjakih in toplih gredah. So užitne, gojijo jih v Aziji (Kaiser, 2012).



Slika 5: Gobe lupinaste nožničarke (*Volvariella volvacea* B.) na kompostu na vrhu bioreaktorja

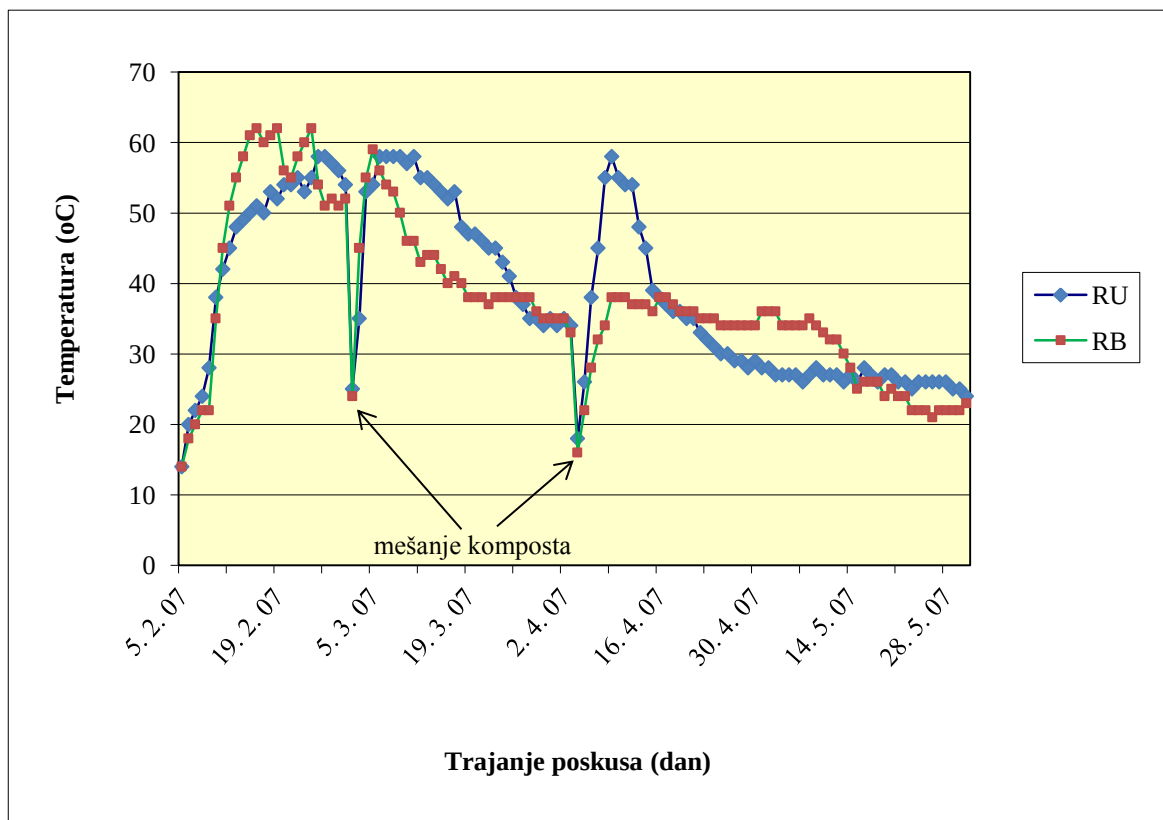
4.2 TEMPERATURA

Pri našem poskusu kompostiranja oljčnih tropin v bioreaktorjih smo nadzorovali temperaturo v kompostni mešanici s kontrolo vpihovanja zraka preko posebnih ventilatorjev na spodnjem delu bioreaktorja. Temperaturni potek tekom poskusa je prikazan na sliki 6. Gre za predstavitev povprečne temperature in temperature v srednjem delu komposta. Najhladnejši deli so bili pri spodnjem delu reaktorja zaradi vpihovanja zraka tam postavljenega ventilatorja. Najvišje temperature pa so bile nekoliko nad sredino kompostne mase.

Po pričakovanjih sta se kompostni mešanici v obeh bioreaktorjih začeli po začetku poskusa postopoma segrevati. Nasprotno s pričakovanji, segrevanje v reaktorju z dodano ureo (RU) ni bilo odvisno od dodane uree.

V obeh bioreaktorjih se je v prvem tednu temperatura naglo dvignila proti 50 °C pri RU in bila pri RB s 63 °C celo višja. Temperatura se je v bioreaktorju RB tri tedne držala v območju med 50 in 60 °C. V RU je bila na začetku malo nad 50 °C in je dosegla maksimum 63 °C po prvem tednu. Prvič je temperatura globoko padla po tridesetih dneh na 24 °C kot posledica razdiranja bioreaktorjev za potrebe mešanja in dodajanja vode. Takoj po tem postopku je ponovno rasla v termofilno območje in se tam obdržala naslednji teden. Na začetku poskusa je bilo iz RU čutiti močan vonj po amoniaku. Očitno se dodaten dušik ni porabljal za mikrobne procese, ampak se je nakopičil v obliki toksičnega amoniaka, kar je tudi delno zavrlo proces razgradnje kompostne mase. Dodatek uree ni deloval po pričakovanjih pred pričetkom poskusa, deloval je nasprotno, zavrlo je mikrobno delovanje in razgradnjo kompostne mešanice. Prav tako smo po dveh tednih opazili veliko količino izcejene tekočine pod bioreaktorjema. Tekočina je bila temno zelene, skoraj črne barve. Po tem dogodku je RU nadaljeval potek kompostiranja v termofilnem temperaturnem območju. Po prvem mešanju komposta se je temperatura tekom enega meseca zniževala preko zmerne termofilnega območja v mezofilno območje na okoli 35 °C. Nato je sledilo ponovno razdiranje bioreaktorjev in mešanje kompostne mešanice. Takoj po tem dogodku je temperatura v bioreaktorju RU močno narasla na skoraj 60 °C za nekaj dni, kar je bilo verjetno posledica dodanega dušika in začetnega delnega zastoja pri razkroju, nato pa je padla v mezofilno območje. V bioreaktorju RB se je temperatura po mešanju vrnila v mezofilno območje in ostala na nivoju okoli 35 °C. Prav tako je v tem območju, po začetnem skoku, ostala temperatura tudi v bioreaktorju RU (slika 6). Temperatura se je v zadnjih treh tednih se spustila malo nad 20 °C, kar je nakazovalo zadnje faze procesov razgradnje komposta in stabilizacijo (slika 6).

V obeh reaktorjih je proces razgradnje potekal tako v mezofilnem območju, kjer deluje največje število mikroorganizmov in pa v termofilnem območju, ki je pomembno za razkuževanje komposta, kjer se uničijo patogeni organizmi. Termofilna faza je bila pomembna tudi za razgradnjo kompleksnih snovi iz materiala zmletega lesa platan. Po mešanju kompostne mase se je omogočila razgradnja delcev, ki so bili v grudah in je za razgradnjo primanjkovalo kisika.



Slika 6: Temperaturni potek med kompostiranjem v bioreaktorju z dodatkom uree (RU) in brez uree (RB)

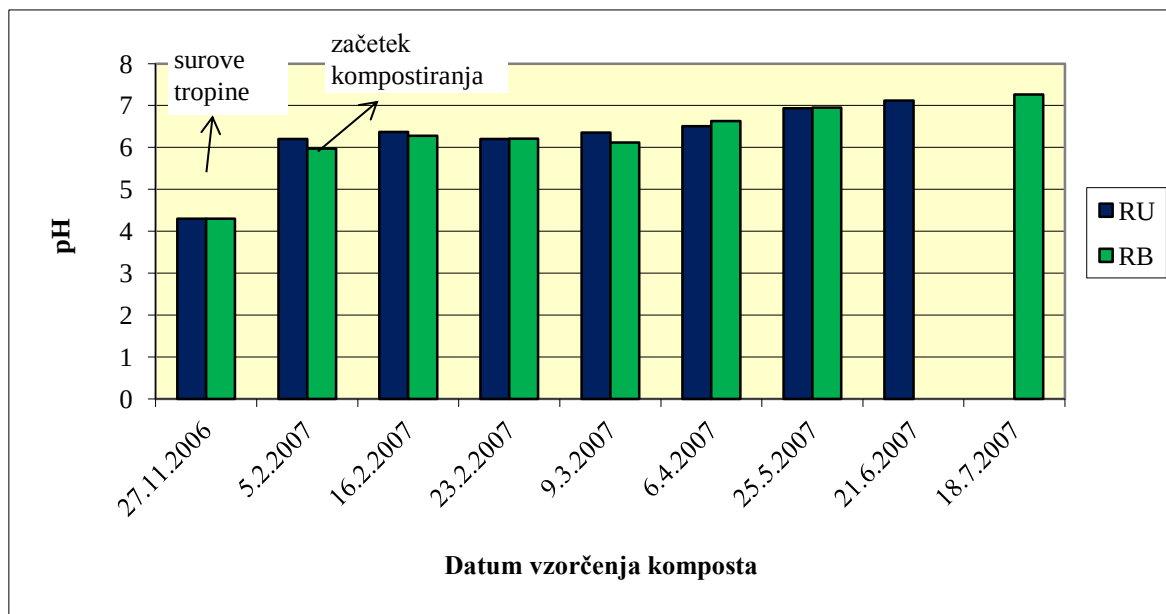
4.3 KISLOST IN BAZIČNOST (pH) MED KOMPOSTIRANJEM

Tekom poskusa se je vrednost pH iz začetne nizke, kisle vrednosti, kontinuirano povečevala do nevtralne vrednosti ob zaključku kompostnega procesa. Povečevanje vrednosti pH je skupaj z višanjem temperature posledica izgube dušika s hlapenjem v obliki amonijaka. Za delovanje bakterij je bolj primeren nevtralen pH, medtem ko imajo glive raje rahlo kisel pH.

Najbolj optimalen pH za aerobne procese razgradnje je v nevtralnem območju. Takojšen dvig pH v nevtralno območje nakazuje dobre razmere za mikrobiotične procese razgradnje (preglednica 6, slika 7).

Preglednica 6: Vrednost pH v bioreaktorjih (RU, RB) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih

	pH								
DAN VZORČENJA	27.11.	5.2.	16.2.	23.2.	9.3.	6.4.	25.5.	21.6.	18.7.
RU	4,3	6,20	6,37	6,20	6,35	6,51	6,93	7,12	
RB	4,3	5,97	6,28	6,21	6,12	6,63	6,95		7,26



Slika 7: Vrednost pH v bioreaktorjih (RU,RB) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih

4.4 EC – ELEKTRIČNA PREVODNOST KOMPOSTA

Električna prevodnost (EC - angl. electrical conductivity) je pokazatelj skupne vsebnosti topnih soli oziroma kationov in anionov v vodni raztopini komposta.

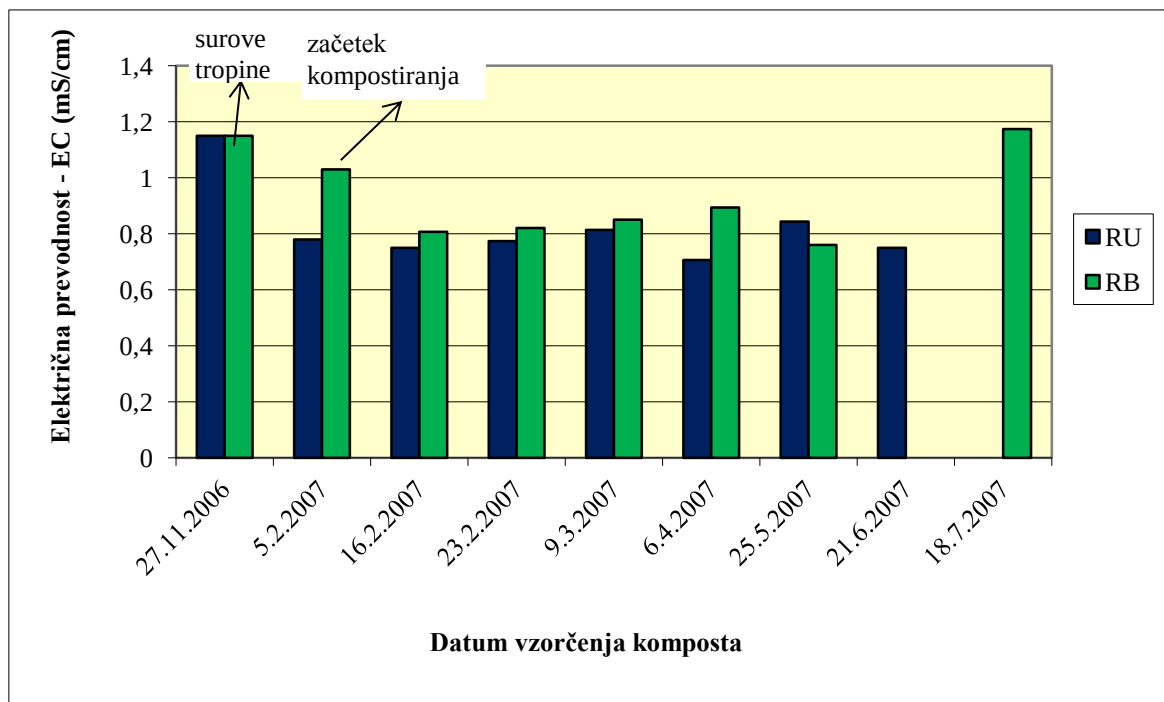
Pri poskusu smo zmerili električno prevodnost vodnega ekstrakta surovih oljčnih tropin pred začetkom kompostiranja v bioreaktorjih.

Vrednost je bila višja v primerjavi z vrednostmi tekom poskusa kompostiranja (preglednica 7, slika 8). Razlika je nastala verjetno zaradi dodatka zmletih vej platan v kompostno mešanico, ki je znižal EC.

Dodatek uree ni povečal EC in bistvenih razlik med kompostnima mešanicama v bioreaktorjih RB in RU ni bilo. Povprečna vrednost EC obeh kompostnih mešanic je okoli 0,8 mS/cm, kar je primerljivo z vrednostjo v povprečnem govejem ali prašičjem hlevskem gnoju, katerega vrednost je okoli 0,8 (Provolo in Martinez-Suller, 2007).

Preglednica 7: Električna prevodnost (EC) vodnih ekstraktov oljčnih tropin in komposta

	EC (mS/cm)								
DAN VZORČENJA	27.11.	5.2.	16.2.	23.2.	9.3.	6.4.	25.5.	21.6.	18.7.
RU	1,15	0,78	0,75	0,77	0,81	0,71	0,84	0,75	
RB	1,15	1,03	0,81	0,82	0,85	0,89	0,76		1,17



Slika 8: Električna prevodnost (EC) vodnih ekstraktov oljčnih tropin in komposta

4.5 VSEBNOST HRANIL

Tekom poskusa kompostiranja oljčnih tropin v bioreaktorjih smo vzorčili kompostno maso za analizo vsebnosti hranil. Kot posledica razgradnje organske snovi se je vsebnost hranil (dušik, fosfor, kalij) v kompostu povečala in tudi razmerje C/N se je znižalo (preglednica 8).

Slika 9 prikazuje vsebnost dušika med kompostiranjem. Na začetku je bila vsebnost dušika večja v bioreaktorju RU kot posledica dodane uree. Glede na to, da se je po enem mesecu izenačila z vsebnostjo dušika v bioreaktorju RB, predvidevamo, da se je veliko dušika izgubilo z izhlapevanjem v amonijski obliki. Vsebnost dušika se je z začetne vrednosti 0,9 povečala na končno 1,3 %, kar je 13 kg N/t s.s..

Tekom kompostiranja se je tudi povečala vsebnost fosforja in kalija. Fosforja so oljne tropine pred začetkom poskusa vsebovale okoli 0,7 g/kg v s.s., na koncu pa kompost okoli 0,9 g/kg v s.s. (= 0,2 % P_2O_5 , kar je 2 kg/t).

Vsebnost kalija v oljčnih tropinah pred začetkom poskusa je bila okoli 7,7 g/kg v s.s., na koncu pa kompost okoli 10 g/kg v s.s. (= 1,2 % K₂O).

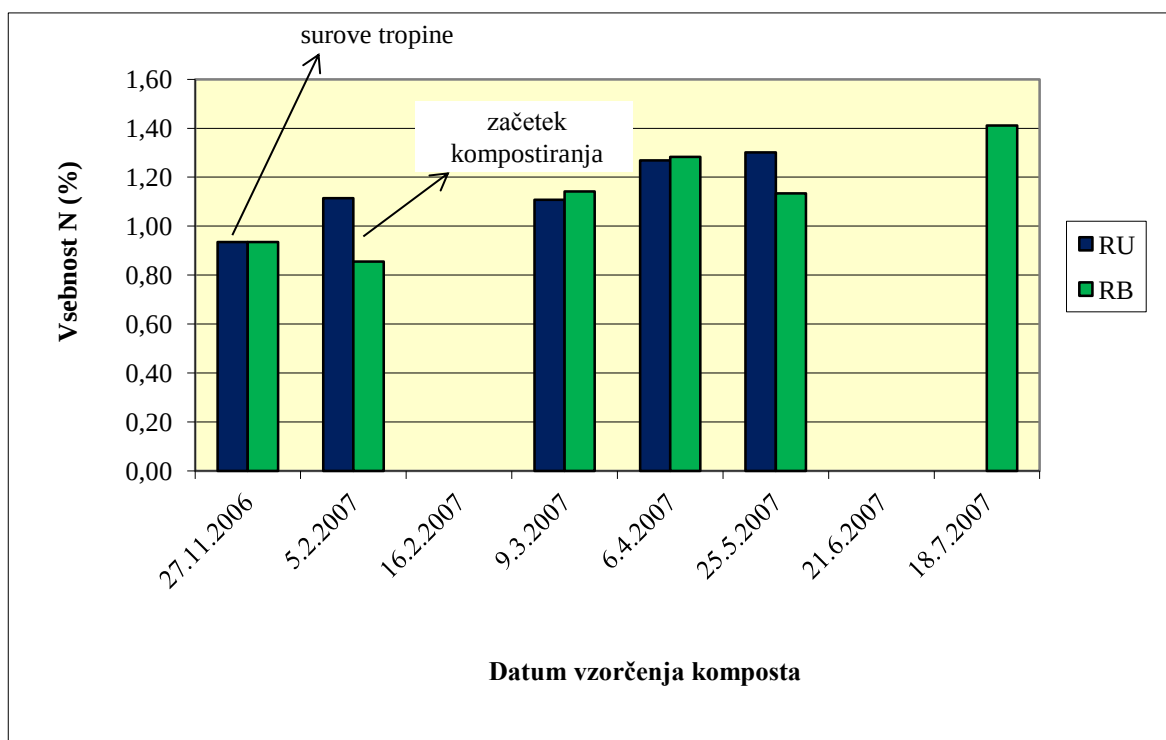
Glede na rezultate analize hranil je razmerje v kompostni mešanici ob koncu poskusa: N : P₂O₅ : K₂O = 1,3 : 0,2 : 1,2 v s.s.

Eden najpomembnejših vidikov ravnovesja hranil je razmerje med organskim ogljikom in celotnim dušikom (C/N). C/N v začetnem materialu okoli 25-30 je optimalno za večino vrst odpadkov (Diaz in Savage, 2007).

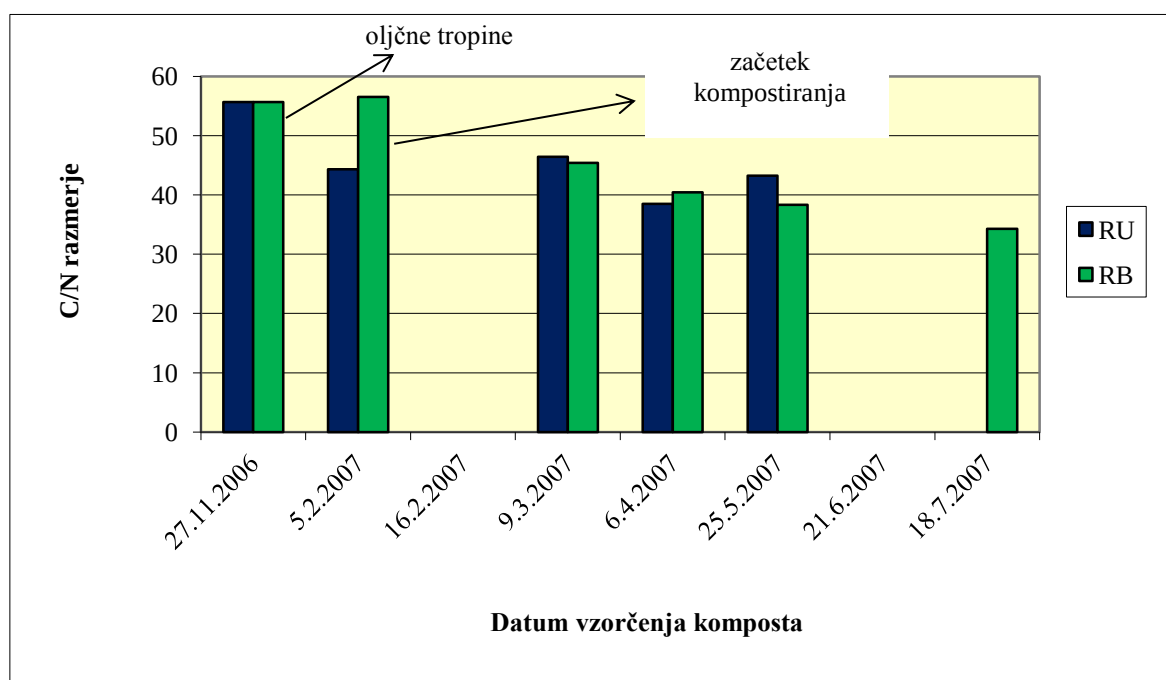
Pri poskusu je bilo razmerje C/N v začetnih oljčnih tropinah zelo visoko, zato smo tudi dodali v en bioreaktor ureo, da bi to razmerje zmanjšali, kar se tudi vidi iz podatkov z začetka kompostiranja (slika 10). Dodatek uree nam je C/N razmerje znižal na 44, na podlagi tega sklepamo, da dodana urea ni v celoti delovala ali se je del nje hitro izgubil, bodisi z izpiranjem, bodisi z izhlapevanjem. Vendar pa se je razmerje C/N tekom poskusa zniževalo in je v obeh bioreaktorjih bilo približno enako, na koncu malo nad 30. To prikazuje dobre procese razgradnje kompostnega materiala. Vendar pa je bilo to razmerje še vedno visoko in nakazuje, da bo dušik iz komposta v tleh vezan in težje dostopen rastlinam.

Preglednica 8: Povprečje analitskih vrednosti oljčnih tropin in kompostiranih oljčnih tropin po štirih mesecih kompostiranja

PARAMETER	OLJČNE TROPINE	OLJČNE TROPINE PO 4 MESECIH KOMPOSTIRANJA
pH	5,5	7,0
EC (mS/cm)	1,2	0,8
VLAGA (%)	53,0	45,0
PEPEL (%; sežig pri 550 ⁰ C)	6,2	10,3
SKUPNI ORGANSKI C (% v S.S.)	52,1	48,0
SKUPNI DUŠIK (% v S.S.)	0,9	1,3
C/N	55,7	36,0
FOSFOR (kot P; g/kg v S.S.)	0,7	0,9
KALIJ (kot K; g/kg v S.S.)	7,7	10,0



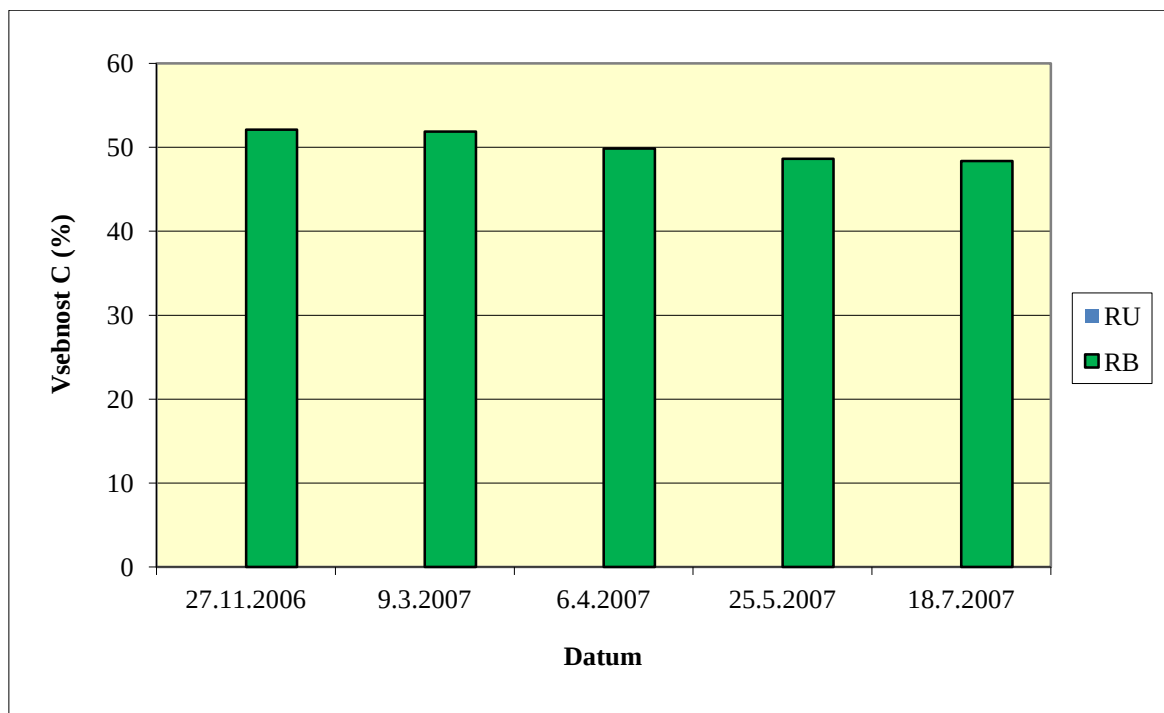
Slika 9: Spremljanje vsebnosti dušika (podano na suho snov) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih



Slika 10: Razmerje med ogljikom in dušikom (C/N) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih

4.6 MASNA BILANCA IN SUŠENJE KOMPOSTA

Tekom kompostiranja smo spremljali delež organske snovi (ogljika) v kompostni masi (slika 11). Manjšanje deleža organske snovi je pri procesih razgradnje kompostne mase normalno in pričakovano, saj se pri razgradnji organske snovi sprošča ogljik v obliki CO₂. Med kompostiranjem se je delež ogljika zmanjšal z začetne vrednosti 52 % na okoli 48 % na koncu kompostirnega procesa.



Slika 11: Vsebnost ogljika (C %) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih

Izračunali smo tudi masno bilanco. Ker celega reaktorja med procesom nismo tehtali, smo do rezultatov prišli računsko, na podlagi relativnih sprememb v koncentraciji snovi v kompostu. Dejstvo je, da se razkraja le organska snov, iz reaktorja pa izhlapevata voda in CO₂. Masno bilanco lahko izračunamo, če vemo, da skupna vsebnost pepela ves čas ostaja ista, spreminja (povečuje) pa se njegov relativni delež (Mihelič, 1991).

Izgube sušine med kompostiranjem:

$$(\% s.s.) i = 100 - (\% p_z \times 100 / \% p_k) = 100 (6,4 \times 100 / 13,6) = 52,9 \% \quad \dots (1)$$

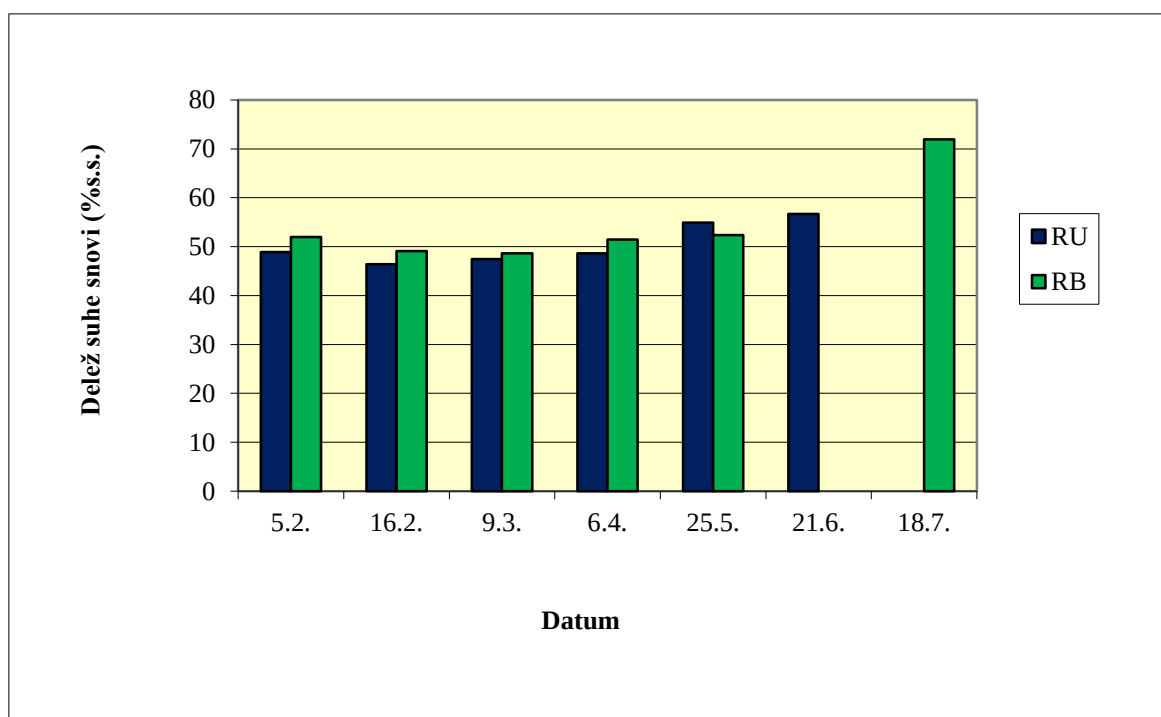
% p_z – odstotek pepela na začetku procesa

% p_k – odstotek pepela na koncu procesa

Tekom kompostiranja se je razgradilo okoli 50 odstotkov suhe snovi (slika 12). Kompostna masa se je tekom procesa močno posedla, z začetnega 2,3 metra višine na 1,7 metra ob koncu kompostiranja.

Delež organske snovi je bil kljub intenzivnim procesom razgradnje še vedno velik, okoli 48 % C. V kompostni mešanici je bilo očitno precej dobro in hitro razgradljivih substanc. To se je tudi pokazalo pri visoki temperaturi, ki pa je bila pomembna za higienizacijo komposta.

Iz ene tone sveže kompostne mešanice oljčnih tropin in zmletga vejevja platan, ki vsebuje 500 kilogramov suhe snovi, dobimo po kompostiranju 417 kilogramov oziroma 520 litrov komposta s 60 odstotno suho snovjo oz. 250 kg s.s.



Slika 12: Spremembe suhe snovi (% s.s.) med kompostiranjem oljčnih tropin v bioreaktorjih

Vlaga v bioreaktorjih je bila na začetku kompostiranja nizka, okoli 53 odstotkov. Ko smo bioreaktorje na začetku poskusa napolnili s kompostno mešanico je prišlo do gravitacijskega odcejanja vode. Zaznali smo tudi vonj po amoniaku in močnejše odcejanje pri bioreaktorju z dodatkom uree (RU). Vlaga v bioreaktorjih je zastajala tudi zaradi samega dizajna konstrukcije, ki ima le majhno odprtino na pokrovu. Kompostna mešanica se je tekom procesa počasi sušila. Na koncu je bila vlaga okoli 45 odstotkov, zato je bil kompost primeren za sejanje in bi bil lahko tudi uporabljen v komercialne namene, ker se je dobro sejal in bi ga lahko enostavno pakirali.

5 SKLEPI

Relativno vlažne oljčne tropine je z dodatkom zmletih vej platan možno uspešno predelati v stabilen kompost.

Oljčne tropine so odpadki, katerega je možno uporabiti in v stabilnem stanju vrniti v okolje in mu s tem dodati vrednost, saj so v osnovnem stanju lahko ob nepravilni uporabi obremenilne za okolje.

Dodatek dušika v obliki uree ne pospeši hitrosti kompostnega procesa in ne izboljša hranilne vrednosti, je pa primeren za zniževanje začetnega C/N razmerja. Dodatek uree (RU) je znižal začetno razmerje C/N na 44,4, kar je nižje v primerjavi z materialom brez dodane uree (RB), ki je imel razmerje C/N 56,6, ki je skoraj enako razmerju C/N v tropinah (56). Ob koncu poskusa je bilo razmerje C/N v RU 38,3 in v RB 34,3, na podlagi česar sklepamo, da dodatek uree ne zmanjša razmerja C/N v končnem produktu.

Dodani dušik (N) se pozna pri vsebnosti dušika v kompostnem materialu le na začetku, ko je z vsebnostjo 1,11 % (v RU) večja kot 0,85 % v RB. Za primerjavo je v tropinah bila vsebnost N 0,90 %. Na koncu poskusa je bila vsebnost N večja v RB, 1,41 %, kot v RU, 1,13 %. Glede na te analize lahko sklepamo, da dodatek dušika ne poveča vsebnosti (%) N v končnem produktu.

Ob koncu kompostnega procesa se višina kompostnega kupa zniža in ima nizko vlago ter dobro strukturo, zato je primeren za presejavanje in direktno pakiranje v primeru komercialne uporabe. Slabost komposta je široko razmerje $C/N = 34$, kar pomeni, da bi tak kompost dodan v tla povzročil neto vezavo (imobilizacijo) dušika na mikrobno raven in s tem primanjkljaj N za rastline.

6 POVZETEK

V Sloveniji je pridelovanje oljk pomembna kmetijska panoga, saj imamo idealne razmere za gojenje te rastline. Tako je tudi pridelava oljčnega olja velika, glede na velikost Slovenije in pomembna kmetovalcem kot vir zaslužka. Pri pridobivanju olja ostajajo oljčne tropine, ki so lahko suhe ali vlažne, glede na tehnologijo pridobivanja olja. Oljčne tropine so lahko ob nepravilni uporabi zelo obremenilne za okolje. Tropine prav tako niso tržno zanimive.

Vlažne tropine lahko vsebujejo relativno veliko količino vode zato smo jih v kompost združili z zmletim vejevjem platan. To je tudi tržno nezanimiv material, ki je prav tako ob neprimerni uporabi obremenilen za okolje. V kompostni mešani pa zmleto vejevje platan daje dobro strukturo in tudi veže vlago iz oljčnih tropin. Oba materiala se skupaj dobro mešata in dobljeni kompostni material ima dobro strukturo in vsebnost vlage.

Material smo nasuli v dva bioreaktorja, pri čemer smo eni mešanici dodali dušik v obliki uree. Kompostno mešanico smo tekom kompostiranja dvakrat premešali (čez 30 in 60 dni). To se je pokazalo kot učinkovito za pospeševanje kompostnih procesov. Na začetku procesa je prišlo do gravitacijskega izlita celičnega soka iz bioreaktorjev in vonja po amoniaku v RU, ki je bil posledica dodane uree.

Preko posebnih sond za temperaturo smo ugotovili, da se kompost v nekaj dneh segreje (čez 45 °C) in doseže visoke temperature (do 63 °C). Te visoke temperature v začetni fazi kompostiranja so pomembne za higienizacijo komposta (uničenje patogenih organizmov in semen plevela) ter razkroj težko razgradljivih organskih komponent v kompostu.

Po petih mesecih kompostirnega procesa smo iz kislih tropin dobili nevtralen kompost. Ob koncu je bilo razmerje med glavnimi hranili $N : P_2O_5 : K_2O = 1,3 : 0,2 : 1,2$ (% v s.s.), kar je sorazmerno nizka vsebnost hranil, vendar podobna kot v rastlinah. Razgradilo se je okoli 50 odstotkov organske snovi. V kompostu je bilo ob koncu aktivne faze veliko ogljika napram dušiku in s tem je bilo razmerje C/N več kot 30. Ob dodajanju komposta tlem bi bilo potrebno, zaradi visokega razmerja C/N, rastlinam dodati dušično gnojilo.

Dodatek dušika v obliki uree ni pospešil hitrosti kompostnega procesa in ni izboljšal hranilne vrednosti. Dodatek uree (RU) je znižal začetno razmerje C/N na 44,4, kar je nižje v primerjavi z materialom brez dodane uree (RB), ki je imel razmerje C/N 56,6, ki je skoraj enako razmerju C/N v tropinah (56). Ob koncu poskusa je bilo razmerje C/N v RU 38,3 in v RB 34,3, na podlagi česar sklepamo, da dodatek uree ne zmanjša razmerja C/N v končnem produktu. Vzrok so verjetno izgube N z izhlapevanjem in izcejanjem soka iz reaktorjev v začetni fazi kompostiranja.

Ob koncu kompostnega procesa se je kompostna masa posedla z 2,3 na 1,7 metra. Vsebnost vlage je bila okoli 45 odstotkov, zato je bil kompost primeren za sejanje. Iz ene tone sveže kompostne mešanice oljčnih tropin in zmletga vejevja platan, ki vsebuje 500 kilogramov suhe snovi, dobimo po kompostiranju 417 kilogramov oziroma 520 litrov komposta s 60 odstotno suho snovjo, to je 250 kg s.s.

Kompost iz oljčnih tropin je biološko stabilen, brez patogenih organizmov in semen ter brez neprijetnih vonjav. Kompost ima dobro strukturo in je primeren tudi za uporabo s trosilnikom hlevskega gnoja.

7 VIRI

- Bandelj Mavsar D., Bučar-Miklavčič M., Mihelič R., Podgornik M., Raffin G., Režek Donev N., Valenčič V. 2008. Sonaravno ravnanje z ostanki predelave oljk. Koper, Univerza na primorskem, Znanstveno-raziskovalno središče, Založba Annales: 100 str.
- Baumgarten A., Spiegel H. 2004. Phytotoxicity (Plant tolerance). Agency for Health and Food Safety, Vienna.
http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor8_phytotoxicity.pdf (23.6.2012)
- Compost Control System.
<http://www.oita-fta.jp/vtrade/e/company/oe067.html> (15.6.2012)
- Diaz L. F., de Bertoldi M., Bidlinmaier W. 2007. Compost science and technology. Amsterdam, Elsevier: 364 str.
- Diaz L. F., de Bertoldi M. 2007. History of composting. V: Compost science and technology, Diaz L. F. (ur.), Amsterdam, Elsevier: 7-24
- Diaz L. F., Savage G. M. 2007. Factors that affect the process. V: Compost science and technology. Diaz L. F. (ur.). Amsterdam, Elsevier: 49-65
- Gigliotti G., Proietti P., Said-Pullicino D., Nasini L., Pezzolla D., Rosati L., Porceddu P. R. 2012. Co-composting of olive husks with high moisture contents: Organic matter dynamics and compost quality. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 67: 8-14
- Insam H., de Bertoldi M. 2007. Microbiology of the composting process. V: Compost science and technology. Diaz L. F. (ur.). Amsterdam, Elsevier: 25-48
- Kaiser S. 2012. »Vrsta gob na kompostu«. Ljubljana, Gobarsko mikološko društvo Ljubljana.
stane.kaiser@siol.net (osebni vir, 7.6.2012)
- Manios V.I., Tsikalas P.E., Siminis H.I. 1989. Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration. *Biological Wastes*, 27, 4: 307-317
- Mihelič R., 1991. Kompostiranje gošče komunalne čistilne naprave Ajdovščina in lubja iglavcev: diplomska naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 100 str.
- Mihelič R., Pucer A. 2010. Uporaba sadre za zmanjšanje izgub dušika iz gnojevk. V: Novi izzivi v poljedelstvu 2010: zbornik simpozija: proceedings of symposium, Rogaška Slatina, (2. in 3. december) 2010. Kocjan Ačko D. (ur.), Čeh B. (ur.). Ljubljana, Slovensko agronomsko društvo: 71-75

ÖNORM S 202. 1993. Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Komposten. LGBL B Nr. 4/2001 (2001 02 08). Austrian Standards plus GmbH.

Provolo G., Martinez-Suller L. 2007. In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. *Bioresource Technology*, 98, 17: 3235-3242

SIST ISO 11465:1996 - Kakovost tal - Ugotavljanje suhe snovi in vsebnosti vode na osnovi mase - Gravimetrijska metoda. Slovenski inštitut za standardizacijo.

Snape J.B., Dunn I.J., Ingham J., Prenosil J.E. 1995. Dynamics of enviromental bioprocesses.
<http://www.scribd.com/doc/78398470/64/Composting-Processes> (14.6.2012)

Toplak Galle K. 2002. Zdravilne rastline na slovenskem. Ljubljana, Mladinska knjiga: 310 str.

ZAHVALA

Zahvaljujem se vsem, ki ste mi pomagali pri nastanku diplomske naloge in vsem, ki ste mi tekom študija stali ob strani.