

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Jernej KOVAČIČ

**KOMPOSTIRANJE POZNO KOŠENEGA BARJANSKEGA SENA IN
PRAŠIČJE GNOJEVKE**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**COMPOSTING OF LATE-MOWING HAY OF BARJE REGION AND
PIG SLURRY**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2009

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

Komisija za dodiplomski študij Oddelka za zootehniko je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Franca Lobnika z Oddelka za agronomijo in za somentorja doc. dr. Roka Miheliča z Oddelka za agronomijo.

Študijska komisija Oddelka za zootehniko je za recenzenta diplomskega dela imenovala prof. dr. Ivana Štuheca.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Antonija HOLCMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: prof. dr. Ivan ŠTUHEC
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

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

Član: doc. dr. Rok MIHELIČ
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.

Jernej Kovačič

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 631.879.4(043.2)=163.6
KG	kmetijstvo/kmetijska zemljišča/seno/Ljubljansko barje/kompostiranje/kompost/prašiči/gnojevka
KK	AGRIS F04
AV	KOVAČIČ, Jernej
SA	LOBNIK, Franc (mentor)/MIHELIČ, Rok (somentor)
KZ	SI-1230 Domžale, Groblje 3
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko
LI	2009
IN	KOMPOSTIRANJE POZNO KOŠENEGA BARJANSKEGA SENA IN PRAŠIČJE GNOJEVKE
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 40 str., 8 pregl., 13 sl., 3 pril., 34 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	Seno z Ljubljanskega barja je slabše kakovosti, vendar je košnja pomembna, sicer bi se območje zaraslo, zmanjšala bi se biotska pestrost območja. Kosimo pozno, šele sredi avgusta, da ohranimo ptice, ki gnezdiijo v travi. Pozno košeno, slamnato seno, smo zamešali in kompostirali skupaj s prašičjo gnojevko. En kilogram sena absorbira šest litrov gnojevke. Material smo naložili v dva eksperimentalna kompostnika, $V = 1,5 \text{ m}^3$, $v = 2 \text{ m}$, s katerima smo simulirali realne razmere v kompostarni. Temperatura in zračenje sta bila nadzorovana in vodena tako, da smo ustvarili optimalne razmere za kompostiranje v termofilnem območju. V kompostu je bila temperatura dovolj visoka, da so bili uničeni indikativni patogeni mikroorganizmi. Volumen kompostnega kupa se je zmanjšal. Iz ene tone sena bi po koncu kompostiranja dobili 1000 do 1200 kg komposta s 50 % vlago. V sušini komposta je odstotno razmerje med glavnimi hranili $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 2,9:1,3:1,7$, vsebnost v sveži snovi pa je približno dvakrat večja, kot v hlevskem gnoju. Po novih predpisih ima pridobljeni kompost preveliko vsebnost cinka (240 – 390 mg/kg s.s.), zato se uvrsti v kompost z omejeno rabo (2. razred), za katerega je potrebno dovoljenje za vnos na kmetijsko zemljišče.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 631.879.4(043.2)=163.6
CX	agriculture/agricultural land/hay/Ljubljana barje/composting/compost/pigs/slurry/Slovenia
CC	AGRIS F04
AU	KOVAČIČ, Jernej
AA	LOBNIK, Franc (supervisor)/MIHELIČ, Rok (co-supervisor)
PP	SI-1230 Domžale, Groblje 3
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Animal Science
PY	2009
TI	COMPOSTING OF LATE-MOWING HAY OF BARJE REGION AND PIG SLURRY
DT	Graduation Thesis (Univesity studies)
NO	X, 40 p., 8 tab., 13 fig., 3 ann., 34 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	Although the hay from Ljubljansko barje is inferior in quality, grass-mowing is important to prevent the area from overgrowing and to preserve its biodiversity. Mowing is delayed to mid August in order not to disturb grassland-nesting birds. The late-cut stalky hay was mixed and composted with pig slurry, a kilogram of hay absorbing six litres of slurry. The material was placed into two experimental composters ($V = 1.5 \text{ m}^3$, $h = 2 \text{ m}$), which simulated the actual composting plant conditions. Temperature and aeration were monitored and regulated to provide optimum conditions for thermophilic composting. The temperature inside the composter was sufficient to destroy any indicative pathogenic microorganisms. The compost pile reduced in size. One ton of hay would yield from 1000 to 1200 kg of compost with 50 % moisture. In the compost dry matter, the percentage ratio between the main nutrients was as fallows $N : P_2O_5 : K_2O$ is 2.9 : 1.3 : 1.7, while the nutrient content of the fresh matter was about twice that of farmyard manure. With regard to the new regulations, the compost produced contained excessive zinc levels (240 – 390 mg/kg DM), thus classifying as restricted-use compost (grade B), which requires a land application permit.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key words documentation (KWD)	IV
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Kazalo prilog	IX
1 UVOD	1
1.1 NAMEN RAZISKAVE	1
1.2 CILJI RAZISKAVE	2
1.3 DELOVNA HIPOTEZA	2
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 ZGODOVINSKI PREGLED KOMPOSTIRANJA	3
2.2 KOMPOSTNI PROCES	4
2.2.1 Mikrobiološki vidik	4
2.2.2 Termodinamika kompostiranja	4
2.2.3 Temperatura	5
2.2.3.1 Temperaturni vpliv na kinetiko procesa	5
2.2.3.2 Vpliv temperature na dezinfekcijo komposta	5
2.2.3.3 Zračenje	6
2.2.3.4 Mehanizmi zračenja	6
2.2.4 Voda	7
2.2.4.1 Potrebe po vodi za biološko aktivnost	7
2.2.4.2 Metabolna produkcija vode	8
2.2.4.3 Vsebnost vlage kot merilo kakovosti komposta	8
2.2.4.4 Strukturni dodatki	8
2.2.5 Hranila	9
2.2.5.1 Ogljik	9
2.2.5.2 Dušik	9
2.2.5.3 C/N razmerje	11
2.2.5.4 Ostala hranila	11
2.2.5.5 pH vrednost	11
2.3 ZRELOST KOMPOSTA	12
2.3.1 Določitev časa kompostiranja	12
2.3.2 Dejavniki in metode določanja zrelosti	13
2.3.3 Kemijski dejavniki zrelosti	13
2.3.4 Biološke metode	14
2.3.4.1 Analize toksičnosti komposta	14
2.3.4.2 Bioposkusi – kalitveni testi	14
2.3.4.3 Rastni testi	14
3 MATERIAL IN METODE	15
3.1 SENO Z LJUBLJANSKEGA BARJA IN PRAŠIČJA GNOJEVKA	15
3.2 NAMAKANJE SENA Z LJUBLJANSKEGA BARJA V PRAŠIČJI GNOJEVKI	15

3.3 EKSPERIMENTALNI KOMPOSTNIKI (BIOREAKTORJI)	16
3.4 HITRI RASTLINSKI TEST RASTNIH SUBSTRATOV (ONORM S 2023)	17
3.5 DOLOČANJE Ni, Cd, Pb, Zn, Cr, Cu – EKSTRAKCIJA Z ZLATOTOPKO	17
3.6 DOLOČANJE SUHE SNOVI	17
3.7 MERJENJE pH VREDNOSTI	18
3.8 MERJENJE ELEKTRIČNE PREVODNOSTI – EC	18
3.9 DOLOČANJE SKUPNEGA DUŠIKA	18
3.10 DOLOČANJE ORGANSKE SNOVI	19
3.11 CELOKUPNI P, K	19
3.12 SOLVITA TEST NA ZRELOST KOMPOSTA	19
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	20
4.1 TEMPERATURNI POTEK MED POSKUSOM	20
4.2 KALJIVOST PLEVELNIH SEMEN PO KOMPOSTIRANJU	23
4.3 PREŽIVETJE PATOGENIH ORGANIZMOV	23
4.4 REZULTATI KEMIJSKE ANALIZE	23
4.5 MASNA BILANCA IN SUŠENJE KOMPOSTA	28
4.6 MASNA BILANCA	29
4.7 VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V KOMPOSTU	30
4.8 SOLVITA TEST NA ZRELOST KOMPOSTA	31
4.9 KALILNI TEST (TEST NA FITOTOKSIČNOST)	32
5 SKLEPI	35
6 POVZETEK	36
7 VIRI	38
ZAHVALA	
PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Preglednica 1: Maksimalne priporočene vlažnosti za različne kompostne materiale (Haug, 1980)	8
Preglednica 2: Povezava med optimalno vlago in optimalno zračno poroznostjo na začetku kompostiranja (Jeris in Regan, 1973 a,b,c)	9
Preglednica 3: Najmanjša dovoljena koncentracija in optimalna vrednost hranil v suhi snovi v zrelem kompostu	11
Preglednica 4: Dejavniki in metode določanja zrelosti komposta	13
Preglednica 5: Rezultati kemijske analize komposta	24
Preglednica 6: Vsebnost težkih kovin v obeh kompostnikih (K1, K2) ob koncu kompostiranja	31
Preglednica 7: Solvita test za zrelost komposta	31
Preglednica 8: Kalilno rastni test komposta z vrtno krešo (<i>Lepidium Sativum</i> L.) (masa rastlin v g)	32

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Kompostnik s sondami za merjenje temperature, povezane z računalnikom	16
Slika 2: Temperaturni potek v kompostniku 1 (K1)	20
Slika 3: Temperaturni potek v kompostniku 2 (K2)	21
Slika 4: Računalnik, ki je vsakih 10 min vklopil hlajenje, da se kompostni kup ni pregrel	22
Slika 5: Vsebnost fosforja v kompostu iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja	25
Slika 6: Vsebnost kalija v kompostu iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja	25
Slika 7: pH vrednost komposta iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja	27
Slika 8: Elektro prevodnost komposta iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja	27
Slika 9: Organska snov komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in ob koncu aktivne faze kompostiranja	28
Slika 10: C/N razmerje komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in ob koncu aktivne faze kompostiranja	28
Slika 11: Dušik komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in ob koncu aktivne faze kompostiranja	29
Slika 12: Kalilno rastni test na fitotoksičnost komposta	33
Slika 13: Kalilno rastni test komposta z vrtno krešo (<i>Lepidium Sativum L.</i>)	34

KAZALO PRILOG

- Priloga A: Kemijska analiza komposta
- Priloga B: Kemijska sestava komposta na začetku in koncu kompostiranja
- Priloga C: Kalilno rastni test s krešo

1 UVOD

Ne košeni travniki zmanjšajo kmetijsko vrednost in biotsko raznovrstnost prostora. Površine, ki so v zaraščanju, še mnogo let po opustitvi nimajo pomembne gozdarske vrednosti. Trava slabše kakovosti raste na Ljubljanskem barju. Pokosimo jo po cvetenju, da se semena otresejo, ptice, ki gnezdiijo v takšni travi pa že vzredijo mladiče. Dobimo seno zelo slabe kakovosti, primerno le za steljo ali za kompostiranje ali kot energetski vir.

Kompostiranje je biooksidativen, mikrobiotični proces razgradnje organske snovi v stabilne, počasi topne in začasno netopne huminske snovi. Kompostiranje poteka izključno z aerobno razgradnjo. S kompostiranjem dobimo stabilizirano organsko gnojilo, ki je primerno za aplikacijo v vseh letnih časih in razmerah. Posebej pomembno je, da se v kontroliranem procesu razgradnje substrat dezinficira do te stopnje, da je tveganje okužbe enako kot pri ravnanju z naravnimi substrati (zemlja, šota). Kompost ima poleg hranilnih elementov vse tiste pozitivne vplive, ki so značilni za organsko snov: izboljšuje poroznost in strukturo tal ter večja sprejemljivost za vodo in povečuje kationsko izmenjevalno kapaciteto tal (De Bertoldi in Zucconi, 1986). Kompostiranje je izrazito biološki proces. Ta proces je v primerjavi s fizikalno – kemijskimi postopki veliko bolj naraven, organizacijsko bolj preprost, pa tudi oprema in delovanje zahtevata manjši denarni vložek, zato ta metoda recikliranja odpadnih snovi v svetu vse bolj prednjači.

Seno je vlakninast, suh material (14% vlage), ki vpije veliko vode (1 kg sena absorbira kar 4 do 6 litrov vode), kljub temu pa zaradi votlih bilk tudi relativno vlažna mešanica ohrani ugodno razmerje med vodo in zrakom. Pozno košeno seno z ljubljanskega barja je po videzu podobno slami, ki je idealen strukturni material za mešanje z mulji in gnojevkami ne samo s fizikalnega, ampak tudi s kemijskega vidika; energijsko – hranilna razmerja (npr. C/N) obeh materialov se odlično dopolnjujejo.

1.1 NAMEN RAZISKAVE

Naš namen je bil ugotoviti ali je možno travo z Ljubljanskega barja kakovostno kompostirati. Uporabili smo prašičjo gnojevko in seno. Gnojevka lahko za okolje predstavlja veliko nevarnost, saj ob nepravilni in prekomerni uporabi okolje uničujemo, prav tako zaraščanje travnikov, zmanjša dostopnost in turistično-rekreativno vrednost prostora. Iz mešanice pa dobimo kompost, ki predstavlja za okolje manjše tveganje kot gnojevka, seno, pa lahko bolje tržimo, če je kompostirano.

1.2 CILJI RAZISKAVE

Cilj raziskave je bil:

1. raziskati alternativne možnosti rabe travinja z Ljubljanskega barja, s katero bi morda bolje ekonomsko izkoristili travo, ki za krmo živali ni ali pa je slabše primerna.
2. Ugotoviti, kateri dejavniki pomembno vplivajo na hitrost kompostiranja in na kakovost pridobljenega komposta iz mešanice sena in prašičje gnojevke.

1.3 DELOVNA HIPOTEZA

Slamnato seno z Ljubljanskega barja prepojeno s prašičjo gnojevko se v kontroliranih razmerah začetne termofilne faze, ki ji sledi mezofilna faza dozorevanja, v dveh mesecih predela v kakovosten, biološko stabiliziran in higieniziran kompost.

2 PREGLED OBJAV

2.1 ZGODOVINSKI PREGLED KOMPOSTIRANJA

Že stoletja kmetje kompostirajo organske odpadke in tako pridobivajo dragoceno organsko gnojilo. Z večanjem humusa v tleh se povečuje in ohranja rodovitnost tal. Kompostiranje je bilo močno razvito že v stari Kitajski, praksa kompostiranja pa se je ohranila do današnjih dni. Organskih odpadkov na Kitajskem tako rekoč ni, saj vse uporabijo in reciklirajo. Razvilo se je veliko oblik kompostiranja, vsem pa je skupno kako doseči zračnost kompostne mešanice, kajti le z aerobno razgradnjo se dosega zadosti visoko temperaturo za uničenje škodljivih organizmov in semen plevelov. Tako pridobljeni kompost je lahko na voljo že po treh do petih mesecih. Kljub mnogim empiričnim spoznanjem, ki so se nabirali skozi stoletja, pa je kompostiranje ostalo bolj umetnost kot znanost do 18. stoletja, ko so se začeli ukvarjati z načrtnim pridobivanjem komposta za gojenje šampinjonov (Fermor in sod., 1985).

Do začetka 20. stoletja ni bilo večjega napredka. V tem stoletju pa se je več raziskovalcev začelo ukvarjati s problemom transformacije organske snovi. Za pionirja pri načrtni in sistematični uporabi kompostiranja za reševanje problema odpadkov in njihovo koristno uporabo velja Sir Albert Howard, britanski agronom v Indiji, ki je v 20. letih razvil Indor sistem kompostiranja. Opravil je številne poskuse z različnimi organskimi odpadki (listje, fekalije, slama, komunalna gošča, smeti,...) in dokazal, da je kompostiranje koristna alternativa sežiganju in deponiranju smeti in komunalne gošče (Willson in sod., 1980).

V 70. letih 20. stoletja so na agronomski fakulteti v Beltsville, Maryland (ZDA) razvili metodo zračenih kupov za kompostiranje komunalne gošče z raznimi dodatki. Metoda je bila bistveno enostavnejša in cenejša od dotedanjih sistemov, obenem pa je bila omogočena dobra kontrola procesa. Metodo so prevzeli tudi drugi in jo še izboljšali. Praktično vse metode kompostiranja temeljijo na omenjenih izsledkih. Cilj raziskovalcev in tehnologov je maksimalna kontrola procesa, kar pomeni, da so postopki mehanizirani, čim bolj izolirani od vplivov okolice ter spremljani in vodeni z računalniki. Temeljne raziskave potekajo v laboratorijskih bioreaktorjih, ki predstavljajo realne kompostne sisteme v malem. Izsledki raziskav so tako neposredno prenosljivi v prakso (Willson in sod., 1980).

2.2 KOMPOSTNI PROCES

2.2.1 Mikrobiološki vidik

Material se med kompostiranjem razgrajuje zaradi delovanja bakterij, gliv, aktinomicet in protozoa (praživali). Ti mikroorganizmi so prisotni v odpadnem materialu in v atmosferi okrog kompostišča. Gostota različnih organizmov je odvisna od narave odpadnega materiala (Mihelič, 1991).

Bakterije so enocelični organizmi, velikosti od 0,1 do 10 mikronov. Njihovo število je ves čas večje od števila gliv. V večini primerov je njihovo število približno 100 krat večje. Raziskovalci pripisujejo bakterijam med kompostiranjem 80 – 90% mikrobne aktivnosti. Zaradi majhne velikosti imajo veliko površino glede na volumen. Prav zato so sposobne hitrih biokemijskih reakcij in hitrih absorbcij hranilnih snovi. Hitro se razvijajo in množijo, če je C/N razmerje sorazmerno ozko in če je okolje zadosti vlažno. V termofilni fazi so najbolj aktivne aerobne sporogene bakterije. V tej fazi je močno povečano število proteolitičnih bakterij in bakterij, ki producirajo amoniak. Njihovo število preseže 10^6 celic/g suhe mase (Mihelič, 1991).

Glive (Mycetes) so heterotrofi. V substratih prevladujejo, če je razmerje C/N široko. Razgrajujejo težko razgradljive organske substance, kot sta lignin in celuloza. Razvijajo se tudi pri majhni vlagi in prenašajo velik razpon pH (2-9). Določene vrste filamentnih gliv so karnivori (predatorji nematod). Nekatere druge živijo v simbiozi s koreninami višjih rastlin in tvorijo razne oblike mikoriz. Aktinomicete so heterotrofi, ki podobno kot glive tvorijo filamente. Razgrajujejo substance, ki niso dostopne glivam in bakterijam (hitin). So neutrofili, ki tolerirajo rahlo bazično reakcijo. Rodova *Streptomyces* in *Nocardia* predstavljata 90% biomase aktinomicet. Zrelemu kompostu in tlom dajo značilen vonj. Pomembne so, ker proizvajajo antibiotike in s tem močno vplivajo na fungicidne lastnosti kompostov. Protozoa so eukarionti, organoheterotrofni mikrobi. Večinoma so gibljivi. Za razvoj zahtevajo vlažno okolje (voda med trdnimi delci). V kompostu so manjši kot v vodi, ker jim primanjkuje vitalnega prostora. Delujejo kot »smetarji«. Bakterije najprej razgradijo organske delčke, protozoji pa zbirajo ostanke. Hranijo se tudi z odmrliimi bakterijami in drugimi mikroorganizmi. Pri kompostiranju niso zelo pomembni. Če so v tleh prisotni v večji množini, je to znak, da so fizikalno-kemijske razmere v tleh neprimerne (Mihelič, 1991).

2.2.2 Termodinamika kompostiranja

Termodinamika se ukvarja z energijo in njenimi transformacijami. Pri razgradnji in asimilaciji organske snovi za rast in metabolizem proizvajajo mikroorganizmi toploto. Zaradi izolacijskih lastnosti kompostne mase, se del toplote v kompostu zadrži. S produkcijo toplote narašča v kompostnem kupu tudi temperatura. Sproščanje energije pri razgradnji organske snovi in dvig temperature omogoča, da kompostni proces normalno teče, da se kompostna mešanica med procesom suši ter, da se uničijo patogeni organizmi, paraziti in semena plevelov, kar je še posebno zaželeno pri kompostiranju komunalnih gošč (Mihelič, 1991).

2.2.3 Temperatura

Pri kompostiranju velja temperatura za najpomembnejši parameter, ki odločilno vpliva na kinetiko procesa (to je hitrost reakcij) in na toplotno uničenje patogenih organizmov ter semen plevelov. Temperaturne razlike med notranjostjo kupa in zunanjim zrakom pa so pogoj za uspešno sušenje mase (Mihelič, 1991).

2.2.3.1 Temperaturni vpliv na kinetiko procesa

Mikroorganizmi, v nasprotju z višjimi živalskimi organizmi ne morejo regulirati lastne telesne temperature. Odvisni so od okoljske temperature. Glede odnosa do temperature se mikroorganizmi ločijo v tri skupine (Mustin, 1987):

- Psihrofili, za katere je optimalna temperatura pod 30°C, se razmnožujejo še pri 0°C.
- Mezofili (so najštevilčnejši) za katere je temperaturni optimum med 30 in 40°C.
- Termofili za katere velja temperaturni rang med 45°C in 90°C. Optimum je med 50 in 60°C.

Po pripravi kompostne mešanice, se začnejo množiti mezofili, ki proizvajajo toploto in temperatura v kompostni mešanici začne naraščati. Povečevanje temperature pospeši biokemične reakcije in rast mikrobnih populaciji, kar posledično vodi k še večji produkciji toplote in povečanju temperature. Pri temperaturi nad 40°C se aktivnost mezofilov zmanjša. Mezofilne bakterije v kompostu so pri 60°C v vegetativni obliki in pri tej temperaturi niso več aktivne. Produkcija toplote zato naglo pade in višanje temperature zastane, dokler se ne namnoži termofilna populacija, ki ji taka temperatura ustreza. Temperatura nato spet narašča dokler ne postane limitni dejavnik tudi za termofile. Pri temperaturi nad 70°C se proces močno upočasni, produkcija toplote je minimalna, temperatura pa zaradi slabe toplotne prevodnosti kompostne mešanice, ostaja visoka še nekaj časa. Proces se ob zadostni zračnosti spet obnovi pri nižji temperaturi. V tem drugem delu pa produkcija toplote ni več tako intenzivna, saj je večina lahko razgradljivih organskih substanc (enostavni sladkorji, škrob, aminokisline, nekatere beljakovine, lipidi,...) že razgrajenih. V drugem delu postanejo aktivne aktinomicete in glive, ki napadejo težje razgradljive polimere kot so celuloza, lignin in hemiceluloza (Mihelič, 1991).

2.2.3.2 Vpliv temperature na dezinfekcijo komposta

Eno od omejitev pri razvozu komposta na kmetijska zemljišča predstavljajo patogeni organizmi, ki so tu lahko prisotni. Nekateri patogeni, kot so paraziti in virusi, se ne morejo razvijati zunaj gostitelja. V odpadkih pa lahko preživijo dalj časa ne da bi se povečalo njihovo število. Drugi patogeni, kot so bakterije in glive, pa lahko uporabljajo odpadno snov kot substrat, na katerem se razmnožujejo (Cooper in Golueke, 1982).

Vsi patogeni so odporni na povečanje temperature le do neke meje. Sporogeni mikrobi in nekateri termofilni nesporogeni lahko preživijo kratek čas tudi pri temperaturi nad 100°C.

Posledica je, da se z nobenim kompostnim procesom takih mikrobov ne da popolnoma odstraniti. Na srečo pa je večina nevarnih patogenov, ki so prisotni v odpadkih, nesporogeni in mezofilni. Tako jih je moč odstraniti že pri nižji temperaturi. Učinkovitost toplotne obdelave je odvisna tako od višine temperature, kot tudi od dolžine trajanja izpostavljenosti mikrobov taki temperaturi. Vlaga povečuje prevodnost kompostne mase. Zato je sanitizacijski (dezinfekcijski) učinek temperature večji pri večji vlagi (Mihelič, 1991).

Za uničenje patogenov ostaja v praksi več načinov. To so lahko aerobna ali anaerobna digestija, toplotno sušenje, pasterizacija, ionizacijsko obsevanje, kemijska obdelava (ponavadi z apnom) in kompostiranje. Za uničenje patogenih organizmov je potrebna temperatura vsaj 60°C en teden pri kompostiranju v reaktorjih ali v prezračevanih statičnih kupih. Pri metodi kompostiranja v kupih na prostem (manj kontrolirani pogoji), pa morajo taki pogoji trajati vsaj dva tedna pri temperaturi 55°C, kup pa je potrebno v celotni količini vsaj petkrat premešati. Pri temperaturi 65°C pa mora biti kup taki temperaturi izpostavljen en teden, kup pa je potrebno v celoti premešati dvakrat (Pravilnik ..., 2004).

2.2.3.3 Zračenje

Pri kompostiranju, ki je biooksidativen proces, mikrobi pri razgradnji organske snovi uporabljajo kisik kot končni akceptor elektronov. Pri aerobni respiraciji se proizvaja toplota, s katero se greje tudi dotekajoči zrak. Ta se pri prehodu skozi kompostni kup nasiti z vlago in tako suši mešanico. Tretja funkcija zračenja pa je hlajenje prekomerno segrete kompostne mešanice in vzdrževanje zaželeno temperature (Mihelič, 1991).

2.2.3.4 Mehanizmi zračenja

Pri reaktorskih, zaprtih sistemih kompostiranja se zrak vpihava ali vsesava skozi kompostno maso. Nemoten tok zraka omogoča vzdrževanje strukturne mase, ki ima zadosti prostih zračnih por (Haug, 1980). Potrebno strukturnost se doseže z dodajanjem strukturnega materiala in z občasnim premetavanjem mase. Pri kompostiranju na kupih na prostem, kjer se mešanico občasno premetava in meša, pa je glavni mehanizem naravna ventilacija. Topel in vlažen zrak v sredini kupa je lažji od zunanjega zraka, zato se dviga in pri tem povzroča vzgonsko silo, ki srka svež zrak proti notranjosti kupa (Miller in sod., 1989).

V poskusih, kjer so merili koncentracijo kisika v notranjosti kupa, so ugotovili, da je potem, ko so kompostni kup premešali koncentracija O₂ že po 15 do 20 minutah padla z 21% (kolikor je tudi v atmosferi) pod 5%, kar pa že predstavlja anaerobne razmere. Stanje se je čez čas izboljšalo. Ugodne razmere so trajale do naslednjega premetavanja. Gledanje v celoti je bilo kompostiranje uspešno, v kupu pa so prevladovalle aerobne razmere, kar so potrdile tudi kemijske analize (nitrati, pH, amoniak). Na prvi pogled nenavaden padec koncentracije O₂ kmalu po premetavanju, si raziskovalci razlagajo s tem, da se je takrat kup ohladil, zaradi premetavanja pa se je porušil tudi temperaturni gradient, tako da ni bilo več vzgona. Čez čas, ko se je kup spet segrel, pa se je s pomočjo vzgona toplega zraka ponovno vzpostavilo naravno zračenje, ki je zadoščalo za normalno odvijanje procesov. Smisel mešanja in

premetavanja kompostnih kupov je torej predvsem v tem, da se rahlja kompostno mešanico in tako povečuje število zračnih por. Obenem se z mešanjem maso homogenizira, kar pripomore, da je večji delež mase izpostavljen optimalnim temperaturnim pogojem v sredini kupa. Mešanje je potrebno tudi za hlajenje prevroče mase, če to ni drugače zagotovljeno. (Haug, 1980) trdi, da je hitrost pretoka zraka skozi kompostni kup neodvisna od višine kupa. Z višanjem kupa se povečuje stopnja porabe O_2 na enoto površine kupa, stopnja ventilacije pa ostaja ista, je višina kupa pri naravni ventilaciji omejena, kljub zadostni poroznosti. Znani so primeri iz prakse, ko so samo s pomočjo naravne ventilacije uspešno kompostirali separiran goveji gnoj, govejo gnojevko zmešano z riževo slamo in žaganjem, smeti..., vendar višina kupov ni smela presegati 1,5 m (Tarre in sod., 1987).

Omejena je tudi širina kupov. Sveži zrak vstopa skozi stranske stene, potuje nekaj časa zaradi difuznih sil horizontalno, v notranjosti pa se segreje in tok zraka se obrne navzgor. Aerobnim razmeram so zato pogosto podvrženi predvsem predeli v sredini kupa (Mihelič, 1991).

Pri sistemih kompostiranja z vpihavanjem zraka je pomembna določitev primernega ventilatorja. Ta mora zagotavljati zadostne količine zraka ves čas kompostiranja. Potrebe po kisiku so v začetku procesa minimalne, kasneje se zaradi rasti mikrobne populacije in večanja hitrosti reakcij povečujejo. Največja potreba po svežem in hladnejšem zraku je pri najvišji temperaturi. Takrat se zrak rabi predvsem za hlajenje mešanice. Potrebe za hlajenje so v tem času povprečno za 10x večje kot potrebe za oksidacijo organske snovi (Finsten in sod., 1987 a,b,c).

2.2.4 Voda

2.2.4.1 Potrebe po vodi za biološko aktivnost

Razgradnja organske snovi je odvisna od prisotnosti zadostne količine vode, ki je pogoj za mikrobno aktivnost. Bakterije postanejo aktivne pri vlagi večji od 12% do 15%, vendar mora biti vlaga v kompostni mešanici za uspešno kompostiranje veliko večja. Teoretično, bi bila idealna vsebnost vlage blizu 100%, ker v takih razmerah ne bi predstavljala limitnega dejavnika. Zaradi tehničnih in ekonomskih razlogov pa mora biti vlaga pod 100%. Z naraščanjem vlage v kompostnem kupu se manjša delež zračnih por, zato za različne materiale obstajajo različne zgornje meje vlažnosti, pri katerih postane limitni dejavnik zračenje. Vsebnost vlage nad mejno vrednostjo torej posredno upočasni kompostiranje (Haug, 1980). Razpon optimalne začetne vlažnosti pri kompostiranju različnih odpadkov podaja preglednica 1.

Preglednica 1: Maksimalna priporočena vlažnost za različni kompostni material (Haug, 1980):

Vrsta odpadka	Vsebnost vlage (% celotne teže)
Teoretično	100
Slama	75-85
Les (žaganje, majhni koščki)	75-90
Riževe luščine	75-85
Mestni odpadki	55-65
Razni gnoji	55-65
Komunalna blata	55-60
Mokri odpadki (vrtna trava, kuhinjski odpadki, itd.)	50-55

Material za kompostiranje je absorbent vlage in vsebuje veliko sorazmerno lahko dostopnega ogljika. Zato mu je potrebno dodati snovi z večjo vsebnostjo dušika, da se zmanjša C/N razmerje na pravi nivo. Prikazane vrednosti so povezane s strukturno obstojnostjo materiala. Voluminozni material, kot je slama in riževe luščine, lahko absorbira relativno veliko količino vode in obenem še vedno ohrani prvotno obliko in poroznost. Mešanica z dodatkom slame se je uspešno kompostirala celo pri 85% vlagi, ko pa so namesto slame uporabili papir, je bila že pri 76% začetna vlažnost prevelika (Haug, 1980)

2.2.4.2 Metabolna produkcija vode

Voda je končni produkt aerobnega metabolizma. Pri kompostiranju odpadkov so ugotovili, da se proizvede 0,11 do 0,31 g vode na g organske snovi mešanice (Mihelič, 1991).

2.2.4.3 Vsebnost vlage kot merilo kakovosti komposta

Ekonomska korist od kompostiranja je tudi v tem, da se med procesom odstrani iz mase precejšen del vode. Relativno suh kompost ima bolj koncentrirana rastlinska hranila in ga je moč lažje in bolj ekonomično skladiščiti, transportirati in aplicirati (Mihelič, 1991).

2.2.4.4 Strukturni dodatki

Veliko materiala, ki se ga kompostira, je relativno suhega in strukturno obstojnega. To je različen gnoj, ki mu je bila dodana stelja, mesni odpadki itd. tem je ponavadi pred začetkom kompostiranja potrebno dodati vodo. Drugim dodatkom, ki so močno vlažni in strukturno neobstojni (komunalno blato, gnojevka...), pa je treba dodajati material, ki je sposoben odvečno vlago vpiti in mešanici dati strukturno obstojnost in poroznost. Bolj kot poroznost, ki je razmerje med prostornino por in celotno prostornino je pomembno razmerje med prostornino plinov in celotno prostornino. Za uspešno kompostiranje mora biti v kupu vsaj 30 % zračnih por (Haug, 1980). V preglednici 2 je prikazana optimalna vlaga in optimalni delež zračnih por na začetku kompostiranja.

Preglednica 2: Povezava med optimalno vlago in optimalno zračno poroznostjo na začetku kompostiranja (Jeris in Regan, 1973 a,b,c):

Material	Optimalna vlaga (%)	Optimalen delež zračnih por (%)
Papir	65	35
Mešane smeti	68	32
Gospodinjske smeti	62	33
Smeti in gošča (Komunalna čistilna naprava)	55	33
Goveji gnoj	60	31

Ker voda med kompostiranjem hlapi in pušča za seboj prazne zračne pore, je delež zračnih por ponavadi najmanjši na začetku kompostiranja, kasneje pa se stanje izboljšuje. Gošča iz komunalne čistilne naprave je gelu podoben material praktično brez zračnih por in tak predstavlja polnilo por med strukturnimi delci. Teh mora biti toliko, da se dotikajo en drugega in vmes tvorijo zračne prostore. Če je delcev premalo, se med njimi tvorijo anaerobne niše (Mihelič, 1991).

2.2.5 Hranila

2.2.5.1 Ogljik

V postopku metabolne oksidacije organske snovi pridobivajo mikrobi energijo. Vir energije je v organske snovi vezan ogljik. Ta je pomemben tudi kot gradnik celične stene in drugih celičnih struktur in protoplazme. Ogljik je, kot glavna komponenta organske snovi, v naravi povsod prisoten. V vseh kompostnih substratih ga je dovolj. Problem je le njegova dostopnost mikrobom, ki morajo biti s pomočjo svojega encimatskega sistema sposobni razkrajati organske molekule v okolici. Na ta način mikrobi pridobijo vsa esencialna hranila. Nekatere molekule mikrobi lažje razgradijo, druge pa težje. Zaradi tega se nekateri substrati razkrajajo počasneje kot drugi ne glede na dovršenost kompostnega procesa (Golueke, 1990).

Dostopnost ogljika opredeljujejo (Golueke, 1990):

1. primernost odpadka kot vir ogljika
2. stopnja in hitrost razgradnje (to je čas kompostiranja)
3. vzpostavitev pravilnega razmerja ogljik/dušik (C/N)

2.2.5.2 Dušik

Poleg ogljika je med mikrobnimi makro hranili zelo pomemben tudi dušik. Največ ga je v celični protoplazmi. Če ga primanjkuje, je onemogočena rast in razmnoževanje mikrobov, njihova aktivnost (nap. sinteza organskih kislin) pa je kljub temu možna. Dušik organskega dela smeti, vrtnih in hišnih odpadkov, gošče komunalnih čistilnih naprav in gnojevka je lahko dostopen. Ti odpadki so zelo primerni, da v mešanicah nižajo C/N razmerje (Golueke, 1990).

Med kompostiranjem se ponavadi del dušika izgubi, predvsem zaradi izhlapevanja amoniaka. Količina amoniaka in amonijevega iona narašča predvsem na začetku, ko se razgrajujejo amino skupine in ko so aktivne amonifikacijske bakterije. Njihovo delovanje pospešuje visoka temperatura (40 – 60°C) (Mihelič, 1991). Čeprav mikrobi lažje sprejemajo NH_4^+ obliko kot NO_3 , pa pri kompostiranju gošče čistilnih naprav nastaja tako velika koncentracija amonijskega iona, da je škodljiva za nekatere vrste mikrobov (npr. nitrifikacijskih bakterij in N-fiksatorjev). Nitrifikacija in nesimbiozna fiksacija N se pojavi šele potem, ko del amoniaka izhlapi, ko se zniža temperatura pod 40 °C in ko pade pH vrednost pod 8,0 ter se ustavi okoli nevtralne točke. Vsi ti dogodki so pokazatelj zrelosti oziroma stabilnosti komposta (De Bertoldi in sod., 1988).

Izhlapevanje N je z naravovarstvenega (kisel dež), agronomskega in ekonomskega stališča nezaželeno. Med kompostiranjem se na ta način izgubi 8 -50% celokupnega dušika (Mihelič, 1991).

Izgube so manjše (Mihelič, 1991):

1. če se vzdržuje pravilno C/N razmerje
2. če je pH sorazmerno nizek (do 7,5), kar se doseže z raznimi dodatki, ki kemijsko vežejo sproščeni amoniak (nap. superfosfat, MgCl_2 ...)
3. če se doda snov, ki je sposobna sproščeni amoniak absorbirati (npr. šota, razni zeoliti...) (Mihelič, 1991)

Nesimbiozna N_2 fiksacija je pomembna predvsem pri kompostiranju mešanic s pretežno lignin – celulozno sestavo, pri rahlem pomanjkanju dušika. V ugodnih razmerah se tako pridobi 6-14 mg N/g predelanega substrata. Pri razgradnji zaorane slame pa se tako pridobi 42-98 kg N/ha. Večja vrednost je blizu normalnemu odmerku mineralnega N (≈ 120 kg), ki se ga dodaja za doseganje visokih pridelkov (Nuntagij in sod., 1989).

Pri kompostiranju se je kot pomemben dejavnik obogatitve substrata, revnega z dušikom, izkazala nesimbiozna fiksacija dušika iz zraka (Nuntagij in sod., 1989). Isti avtor poroča, da dodatek slame le še pospeši aktivnost nitrogenaznih encimov. Mikrobno vezavo dušika iz zraka v času mezofilne temperature pospešujejo naslednje razmere v substratu: dovolj lahko dostopnega ogljika ob hkratnem rahlem pomanjkanju dušika, nekoliko znižana koncentracija kisika ter za delovanje nitrogenaznega sistema potrebni esencialni elementi v sledovih. Prosto živeče bakterije, ki vežejo atmosferski dušik, so sposobne kot energetski vir izkoriščati ogljik iz substrata in pri tem tvoriti s celulitičnimi mikrobi uspešne simbiotske združbe. Gre za tako imenovani pogodbeni saprofitizem, v katerem so uspešne tako aktinomicete kot glive, ter vrsto drugih bakterijskih rodov in plesni (Bačovnik, 1995).

2.2.5.3 C/N razmerje

V procesu razgradnje organske snovi sta mineralizacija (sproščanje anorganskih oblik elementov pri popolnem razpadu organske snovi) ter imobilizacija (začasen prehod organske snovi v obstojnejšo, mikrobom nedostopno obliko) ogljika in dušika nerazdružljivo povezani. Oba elementa sta za vzdrževanje celičnih funkcij mikrobne biomase nujno potrebna, glede na njuno dostopnost pa poteka proces razkroja in razgradnje organske snovi različno hitro (Bačovnik, 1995).

2.2.5.4 Ostala hranila

Fosfor, kalcij in kalij so vmesna hranila med makro in mikroelementi. Običajno so v odpadkih gošč in njihovih sestavinah, kot so kuhinjski in vrtni ostanki, prisotni v zadovoljivi količini. Kalcij služi kot blažilec kompostnega procesa, saj sodeluje pri ustvarjanju mikrobne kulture, zvišuje pH in znižuje koncentracijo topnih soli. Običajno ga v kompostnem materialu ne primanjkuje. Važno vlogo ima fosfor, ki skupaj z dušikom pospešuje mikrobno aktivnost v mešanicah in izboljšuje hranilno vrednost komposta. Za optimalno razgradnjo organske snovi je potrebno v substratu več kot 0,2% fosforja. Najmanjšo dovoljeno vsebnost elementov v suhi snovi zrelega komposta in novejši kriteriji določevanja zrelega komposta, ki jih uporabljajo države članice Zveznega združenja za kvaliteto komposta (Nemčija, Švica, Avstrija in Luksemburg) so navedeni v preglednici 3 (De Bertoldi in sod., 1990).

Preglednica 3: Najmanjša dovoljena koncentracija in optimalna vrednost hranil v suhi snovi v zrelem kompostu

Hranila	Najmanjša dovoljena količina v odstotkih v suhi snovi (De Bertoldi in sod., 1990)	Optimalna vsebnost hranil v odstotkih v suhi snovi (Bačovnik, 1995)
dušik (N)	0,60	1,15
fosfor (P_2O_5)	0,50	0,62
kalij (K_2O)	0,30	1,01
kalcij (CaO)	2,00	3,95
kalcijev karbonat (CaO_3)	3,00	/
magnezij (MgO)	0,30	0,80

/ Ni podatka

Koncentracija težkih kovin je v kompostih iz različnih vrtnih ostankov običajno majhna in skoraj brez izjeme pod kritično mejo. Večje težave povzroča v komunalnih goščah (Bačovnik, 1995).

2.2.5.5 pH vrednost

Optimalna pH vrednost za rast mikrobov je med 6,0 in 8,0. Glive in nekatere bakterije so nekoliko bolj tolerantne vendar je maksimalen razpon pH pri kompostiranju med 5,0 in 9,0 (Mustin, 1987). Visoka koncentracija vodikovih (H^+) ali hidroksilnih ionov (OH^-) je za mikrobe zelo toksična zaradi spremembe ionizacijskega stanja različnih beljakovinskih komponent kot so amino in karboksilne skupine. To lahko povzroči spremembe v fizični

strukturi beljakovin in s tem možno izgubo encimatske aktivnosti. V praksi se pogosto dogaja, da imajo vhodne sestavine na začetku kompostiranja zaradi predhodne obdelave neugodno pH vrednost (npr. z apnom koagulirana gošča ima visok pH, z železnim kloridom pa nizkega). Stelja iglavcev je kislja, živalski gnoj, pa je lahko zaradi velike vsebnosti amoniaka bazičen. V takih razmerah se pojavi v začetku kompostiranja zastoj. Kljub temu se ob počasni toda vztrajni aktivnosti mikrobne populacije, tvorijo CO₂ in organske kisline, ki nevtralizirajo visok pH ter NH₃, ki nevtralizira nizek pH (Haug, 1980).

Kompostna masa ima sorazmerno nizko puferno sposobnost, zato se med kompostiranjem pH močno spreminja. Najprej se pH znižuje zaradi intenzivne produkcije CO₂ in organskih kislin. Vzporedno z višanjem temperature se pojavijo termofilni amonifikatorji, ki proizvajajo amoniak (baza). pH se zato zviša. V tretji fazi, ko postane razmerje C/N ožje so reakcije počasnejše. Del NH₃ izhlapi v zrak, del pa ga porabijo mikrobi za biosintezo. Na koncu procesa se pH ustali pri vrednostih med 7 in 8. Prva faza, ko se pH znižuje, traja lahko le nekaj ur ali pa tudi par dni, kar je seveda odvisno od narave substrata. Najbolj intenzivni procesi potekajo pri pH 7,5 – 8,5 (Mihelič, 1991).

Dokazan je močan vpliv pH vrednosti na izhlapevanje NH₃. Ravnotežje v reakciji $\text{NH}_4^+ \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$ je pri visokem pH (nad 8) pomaknjeno močno v desno. Na izhlapevanje amoniaka poleg pH vrednosti sočasno vplivajo še temperatura in prisotnost različnih soli (Mihelič, 1991).

2.3 ZRELOST KOMPOSTA

2.3.1 Določitev časa kompostiranja

Osnovno merilo za določitev potrebnega časa kompostiranja je namen uporabe komposta. Vsak kompostni kup ima svoje kriterije o trajanju procesa. Le-ta se lahko konča v že določenem času ali pa nanj vplivajo dejavniki, ki se z dozorevanjem komposta bistveno ne spreminjajo več (temperatura, mikrobna aktivnost...). Glede na zahteve procesa je potrebno spremljati še druge fizikalne, kemijske in biološke parametre. Iz ekonomskega stališča so tradicionalne metode, ki trajajo več kot šest mesecev, manj priporočljive. Sodobna kompostna znanost se trudi razvijati tehnike s čim krajšim, a kontrolirano vodenim kompostnim procesom. Finsten in Miller (1984) pišeta, da se pri kompostiranju sveže komunalne gošče proces nitrifikacije kot indikator zrelosti, pojavi že po enem mesecu. Z inokulacijo celulitičnih gliv ter naravne mikrobne kulture iz gnoja, zrelega komposta in z nekaterimi energetskimi dodatki (dušik, melasa, fosfor) se doseže, da je kompost iz mešanice slame, listja, vejic, trave in plevelov dozorel že po dveh mesecih. Mešanico so kompostirali v perforiranih kompostnikih z velikostjo 1 m³ pri občasnem premešavanju in vzdrževanju ustrezne vlage (Singh, 1987).

2.3.2 Dejavniki in metode določanja zrelosti

Različni načini uporabe komposta (rastni substrat, gnojilo, strukturni dodatek in material za zastiranje, substrat za rast gob ali za nastajanje toplote v rastlinjakih), zahtevajo različne stopnje zrelosti končnega produkta. Potrebno je hkrati preučiti in ovrednotiti več dejavnikov zrelosti, saj ocena le enega izmed njih še ne more dati jasne slike o kakovosti komposta. Nekatere tehnike se lahko izvajajo le v dobro opremljenih in specializiranih laboratorijih (respiracijska metoda, analiza biokemičnih parametrov) in so primerne za občasne, natančne primerjalne analize in nadaljnje raziskovalne študije. Za hitro določanje zrelosti vmesnih in končnih produktov so uporabnejše stroškovno in delovno manj zahtevne metode (enostavni respiracijski, kromatografski, kalorimetrijski ter kalitveni testi). V poštev pridejo še druge kemijske analize, kot so določitev skupnega organskega ogljika, C/N razmerja, vsebnosti pepela, kationske izmenjalne kapacitete ter sposobnost zadrževanja vode. Rastni testi trajajo dalj časa, vendar pomembno prispevajo k oceni končne uporabnosti komposta (Morel in sod., 1984). V preglednici 4 so naštet dejavniki zrelosti komposta.

Preglednica 4: Dejavniki in metode določanja zrelosti komposta (Chen in Yinbar, 1993):

DEJAVNIKI ZRELOSTI KOMPOSTA		
KEMIJSKI	BIOLOŠKI	FIZIKALNI
C/N razmerje v trdni fazi	Testi fitotoksičnosti	Spektroskopske analize
C/N v vodnih ekstraktih	Kalitveni in rastni testi	Transformacije organske snovi
Vsebnost polisaharidov	Analize toksičnosti in vitro	
Kationska izmenjalna kapaciteta		
Totalna alkalnost		
Huminske snovi: kromatografski in kalorimetrični testi		
Analiza surovih vlaknin		
Poraba kisika		

2.3.3 Kemijski dejavniki zrelosti

Nekatere spremembe organske snovi med kompostiranjem (relativno naraščanje pepela, padanje C/N razmerja, naraščanje kationske izmenjalne kapacitete, upadanje vsebnosti celuloze in hemiceluloze ter zaradi tega naraščanje vsebnosti lignina) je mogoče spremljati s kemijskimi metodami določanja zrelosti (Bačovnik, 1995).

2.3.4 Biološke metode

2.3.4.1 Analize toksičnosti komposta

Doslej obravnavane metode se v primeru prisotnosti toksičnih snovi v kompostu izkažejo kot neprimerne. Najbolj zanesljiv (podatek o uspešnosti končne uporabe), a dolgotrajen način ugotavljanja primernosti komposta za rast rastlin, nudijo kalitveni in dalj trajajoči rastni – lončni poskusi. Fitotoksičnost se ocenjuje s primerjavo kaljenja in rasti hitro rastočih testnih rastlin (kreša, solata, fižol, koruza...) v substratu z in brez dodatka komposta (Bačovnik, 1995).

2.3.4.2 Bioposkusi – kalitveni testi

Kalitveni testi ugotavljajo le trenutno toksičnost v kompostu in prispevajo k določevanju njegove optimalne stabilnosti. Kalilni poskus s krešo (*Lepidium sativum* L.) daje rezultate že po 24 urah inkubacije, izvedba je preprosta in ne zahteva posebne opreme niti specifičnega znanja. Največja učinkovitost testa je pri inkubacijski temperaturi okrog 27°C ob predhodnem nekajurnem zadrževanju semen v vodi. Indeks kaljivosti (IK) kot delež zmnožka povprečnega števila vzklilih rastlin in dolžine njihovih kalčkov v primerjavi s kontrolo pokaže dvojje (Bačovnik, 1995):

- a) Majhno toksičnost (sorazmerno 10^{-7} molarni koncentraciji abscisinske kisline ali 25 ppb), ki vpliva na rast korenin.
- b) Veliko toksičnost, ki zavira kalitev in je primerljiva z 10^{-4} molarno koncentracijo abscisinske kisline.

Meja kritične toksične ravni je več kot 60% ustavitev kaljivosti, kar pomeni, da je IK manjši od 40%. Pri vrednosti IK 50 – 60% raziskovalci na poskusnih rastlinah oljk kljub potrebnemu času prilagoditve niso opazili nikakršnih poškodb (Zucconi in sod., 1981 a,b).

2.3.4.3 Rastni testi

Rastni testi so dolgotrajnejši, vendar lahko z njimi ugotovimo dejanski vpliv komposta na rast rastlin in s tem tudi določimo njegovo uporabnost. Odzivnost rastline na dodatek komposta ugotavljamo s spremljanjem njenih fizioloških parametrov rasti (moč rasti, višina, masa, pridelek...). Z uporabo večje količine komposta ali njegovih nezrelih oblik se zaradi pojavljanja presežne slanosti, pomanjkanja dušika, kisika ali pojavljanja vmesnih fitotoksičnih produktov razgradnje organske snovi (kisline, amini) parametri ustrezno zmanjšajo (Bačovnik, 1995).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 SENO Z LJUBLJANSKEGA BARJA IN PRAŠIČJA GNOJEVKA

Travinja na Ljubljanskem barju je skupaj 2457 ha. Na večjem delu teh zemljišč poteka zelo ekstenzivna kmetijska raba, nekaj pa je tudi takih, ki niso v uporabi ali pa jih kmetje samo pomulčijo. Mokrotnih travnikov je v tej skupini največ in to 1325 ha. Te travnike kmetje enkrat na leto pokosijo, zelinje posušijo in stisnejo v bale. Ker se potrebe po tej krmi zelo zmanjšujejo, ta način rabe nima prave perspektive. Dobra zamenjava za to bi bila ekstenzivna paša na primer telic ali krav dojilj lahkih pasem, možna pa bi bila tudi alternativna raba. Sestojev z brestovolistnim osladom je 366 ha. Ta vegetacija je razširjena na mokrih in bolj globokih zemljiščih z več kalija in fosforja v tleh. Kmetje na teh površinah travo pozno kosijo ali travo le zmulčijo. 658 ha površin se zarašča. Zmerno suhih travnikov pa je na Ljubljanskem barju med vsemi habitatnimi tipi najmanj 25 ha. Na njih bi namesto sedanje eno kosne rabe lahko vpeljali ekstenzivno pašo ali pa jih namenili za pridelavo pozno košenega sena za gorivo ali kompostiranje (Čop, 2004).

Pozno košeno zelinje, iz katerega smo pripravili balirano seno za kompostiranje, se je glede hranilnih snovi razlikovalo od tistega, ki je bilo pokošeno na intenzivnem travniku z večkosno rabo. Razlike so bile v vsebnosti surovih beljakovin (SB), brezdušičnega izvlečka (BI) in surovega pepela (SP). Za kompostiranje je vsekakor bolj primerna uporaba sena z enkrat košenih travnikov, saj vsebuje tako seno manj SP oz. manj mineralov in poveča njegovo uporabnost, ki je omejena s predpisi o dovoljenih vsebnostih kemičnih snovi. Pridelek sena na Ljubljanskem barju na površinah primernih za alternativno rabo in je odvisen od habitatnega tipa, je znašal od 4,5 t do 9 t/ha (Mihelič, 2004).

Prašičja gnojevka iz farme Stična vsebuje 6,7 kg/m³ dušika (N), 5,8 kg/m³ fosforja (P₂O₅) in 3,9 kg/m³ kalija (K₂O). Prašičja gnojevka vsebuje veliko P₂O₅ to pa je običajno najdražja kemijska spojina v mineralnih gnojilih. V zemlji pa ravno te spojine primanjkuje in jo kmetje kupujejo na trgu v mineralnem gnojilu (Juvančič, 2003).

3.2 NAMAKANJE SENA Z LJUBLJANSKEGA BARJA V PRAŠIČJI GNOJEVKI

Gnojevko smo pripeljali v kontejnerju, vanjo smo potopili seno. Seno je bilo potrebno obtežiti, da se je potopilo v gnojevko in se namočilo do zelene stopnje, ki je primerna za kompostiranje. Seno je bilo namočeno dva tedna, potem pa smo ga prenesli v eksperimentalni kompostnik (bioreaktor). S traktorskimi vilami. Naložili smo dva kompostnika, da smo lahko primerjali potek kompostiranja.

3.3 EKSPERIMENTALNI KOMPOSTNIKI (BIOREAKTORJI)

Kompostnika (slika 1) sta bila enakih dimenzij: $\Phi = 1$ m; aktivna višina = 2 m; $V = 1,6$ m³. Višina se lahko modularno sestavlja iz segmentov. Stene compostnika so iz armiranega poliestra, zunanja stran je izolirana s 3 cm plastjo penaste gume. Temperatura, zračenje in hlajenje komposta so računalniško nadzorovani ter podatki beleženi s programom Kompomer. Temperaturne sonde so iz nerjavečega jekla. Uporabljali smo jih deset za vsak compostnik. Zrak v compostnik vpihujemo spodaj. Taki compostniki simulirajo izsek iz sredine compostnega kupa v profesionalni compostarni. Pomembno je, da višina compostne mase ustreza realni višini, saj pri tem prihaja do enake mase na površino (tlak) in do enakega sesedanja compostne mešanice ter upora zraka, ki ga vpihavamo skozi compostni reaktor.



Slika 1: Kompostnik s sondami za merjenje temperature, povezane z računalnikom

3.4 HITRI RASTLINSKI TEST RASTNIH SUBSTRATOV (ONORM S 2023)

Kot testno rastlino smo uporabili vrtno krešo (*Lepidium sativum* L.) Preizkusili smo kaljivost in začetno rast vrtno kreše v 8 dneh v rastnih substratih iz kremenčevega peska in različnih dodatkih komposta po 27 dneh kompostiranja. Kontrolni substrat je bil iz čistega kremenčevega peska, testni substrati pa so imeli kremenčevemu pesku dodanih 15, 30 in 45% komposta (utežno). S testom smo določili fitotoksičnost. Substrat smo dali v cilindrične posode (višina 5 cm, premer 10 cm; $V = 415$ ml), ga dobro zalili z destilirano vodo (do nasičenja) in zasejali s krešo. Substrat smo ves čas testa imeli pri sobni temperaturi. Pazili smo, da se substrat ni izsušil. Deveti dan po sejanju smo nadzemni del kreše poželi in stehtali priraslo biomaso.

3.5 DOLOČANJE Ni, Cd, Pb, Zn, Cr, Cu – EKSTRAKCIJA Z ZLATOTOPKO (SISI ISO, 11466 in ONORM S 2023)

Vzorec pripravljen za analizo: zračno suh, $< 0,63$ mm. Ekstrakcija: Glede na vsebnost organske snovi zatehtamo v reakcijsko posodo 1 do 2 g vzorca na 0,001 g natančno. Vzorec prelijemo z 21 ml HCl (12,0 mol/l, $\rho = 1,19$ g/ml) in 7 ml HNO₃ (15,8 mol/l, $\rho = 1,42$ g/ml) in pustimo stati 16 ur. Nato reakcijsko posodo priklopimo na povratni hladilnik in postopoma segrevamo do stopnje, pri kateri je meja kondenzacije v spodnji četrtini oziroma maksimalno v spodnji tretjini hladilnika. Pri takih razmerah segrevamo vzorec tri ure. Nato pustimo, da se ekstrakti ohladijo, speremo hladilnik z 10 ml 0,5 mol/l HNO₃ in kvantitativno prenesemo skozi filter (Schleicher & Schuell – beli trak) v 100 ml bučke ter razredčimo do oznake. V tako pripravljenih ekstraktih določimo Ni, Cd, Hg, Pb, Zn, Cr, Cu na AAS (Atomski absorpcijski spektrometer) po ISO/DIS 11047.

3.6 DOLOČANJE SUHE SNOVI (ONORM S 2023 in SIST ISO 11465)

Vzorec za analizo: svež $< 11,2$ mm. Suho snov določamo gravimetrično tako, da svež vzorec sušimo pri temperaturi 105 °C do konstantne mase. V primerno posodo (najbolje v 300 ml izparilnico) zatehtamo približno 100 g vzorca (0,1g natančno) in ga razporedimo tako, da plast vzorca ni debelejša od 3 cm. Nato vzorec sušimo pri temperaturi 105 °C $\pm$ 3 °C do konstantne mase. Priporočljivo je, da vzorec najprej sušimo pri nižji temperaturi v sušilniku z močno ventilacijo (do stopnje zračno suhega vzorca) in nato досуšimo pri predpisani temperaturi. Rezultat podamo v relativni skali (% v svežem vzorcu) in zaokrožimo na celo število. Za vsak vzorec naredimo dve ponovitvi, pri čemer je maksimalno dopustno odstopanje od povprečja $\pm 2,5\%$.

3.7 MERJENJE pH VREDNOSTI (ONORM S 2023)

Vzorec za analizo. Zračno suh, $< 0,63$ mm. Meritev pH opravimo elektrometrično v suspenziji vzorca in raztopine CaCl_2 (0,01 mol/l). V primerno posodo zatehtamo 10 g vzorca (0,01 g natančno) in prelijemo s 100 ml raztopine CaCl_2 0,01 mol/l (1,47 g $\text{CaCl}_2 \times \text{H}_2\text{O}/\text{l}$). Nato premešamo, da se vzorec dobro omoči in pustimo stati preko noči. V tako pripravljeni suspenziji naslednji dan merimo pH pri 20°C . Rezultate podamo na eno decimalno mesto. Za vsak vzorec naredimo dve ponovitvi pri čemer je maksimalno dopustno odstopanje od povprečja $\pm 2,5\%$.

3.8 MERJENJE ELEKTRIČNE PREVODNOSTI – EC (ÖNORM S 2023 IN SIST ISO 11265)

Vzorec za analizo. Zračno suh, $< 0,63$ mm. Vzorec ekstrahiramo z destilirano vodo in v ekstrakcijski raztopini merimo električno prevodnost s konduktometrom. V primerno ekstrakcijsko posodo zatehtamo 10 g vzorca (0,01 g natančno) in prelijemo z vodo v razmerju 1 : 10 (100 ml H_2O). Maksimalno dopustna EC uporabljene H_2O je 0,2 mS/m. Dobro premešamo, da se ves vzorec omoči ter stresamo na stresalniku 3 ure. Nato filtriramo (Schleicher & Schuell 589(3) – modri trak) in v tako pripravljeni ekstrakcijski raztopini merimo EC. Pripravljamo tudi slep vzorec, katerega EC ne sme presegati 1 mS/m. Meritev opravimo s konduktometrom ISKRA MA 5966. Kot standardne raztopine pri meritvah uporabimo raztopine ISKRA 1 : 291,58 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ISKRA 2 : 1,413 mS/cm in ISKRA 3 : 12,89 mS/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 v mS/m (20°C) na eno decimalno mesto. Za vsak vzorec naredimo tri ekstrakcije, pri čemer je maksimalno dopustno odstopanje od povprečja $\pm 5\%$.

3.9 DOLOČANJE SKUPNEGA DUŠIKA

Glede na pričakovano vsebnost dušika zatehtamo 0,2 g (vsebnost $\text{N} \approx 0,1\%$) do 1 g (vsebnost $\text{N} \approx 0,5\%$) zračno suhega vzorca v bučko za razklop. Dodamo 4 ml salicil – žveplove kisline, premešamo, da se kislina dobro zmeša z vzorcem. Mešanico pustimo stati vsaj nekaj ur (ali čez noč). Skozi suh lij z dolgim odtokom, ki sega v bučko za razklop, dodamo 0,5 g natrijevega tiosulfata in previdno segrevamo, dokler se ne preneha penjenje. Po ohladitvi dodamo 1,1 g mešanice katalizatorja in segrevamo, dokler ne postane raztopina 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 presega 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 3 x izperemo z vodo. V 100 ml erlenmajerico damo 5 ml borove kisline in jo postavimo 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, dodamo destilatu nekaj kapljic indikatorske mešanice in s kislino titriramo do preskoka v vijolično barvo.

3.10 DOLOČANJE ORGANSKE SNOVI

Zatehtamo določeno količino komposta in ga damo v posodo ter nato v peč. Izvedemo suhi sežig pri 550°C. Po sežigu ponovno stehamo in dobljena masa je anorganska snov, saj organska snov izgori. Izračun: celotna masa komposta pred sežigom – anorganska snov = organska snov.

3.11 CELOKUPNI P, K (ONORM S 2023)

Komposte (zračno suh vzorec $\leq 0,63$ mm) ekstrahiramo z zlatotopko (raztopina konc. HCl on konc. HNO₃). Fosfor določamo spektrofotometrično po vanadat – molibdatni metodi, K pa na AAS (Atomski absorpcijski spektrometer).

3.12 SOLVITA TEST NA ZRELOST KOMPOSTA

(Solvita Reference Manual, 2001, Wood End Research Laboratories)

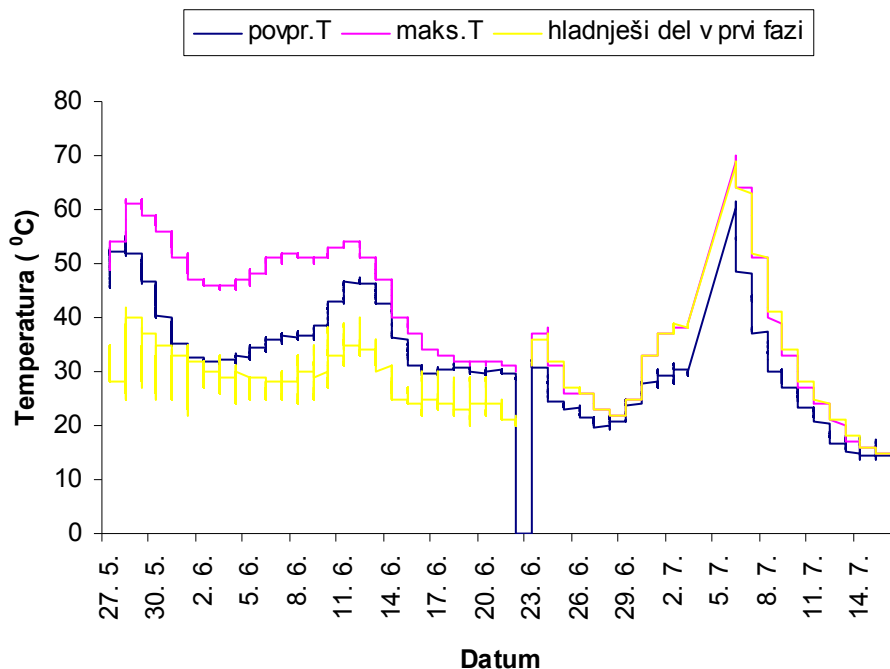
Povprečen vzorec svežega komposta smo dali v pripravljene posodice za izvajanje testa, kot je predpisano v navodilih proizvajalca testa. V posodicah smo jih pustili vsaj eno uro preden smo začeli s testom, da lahko CO₂, ki se je morebiti nabral v zraku por med pripravo vzorca, izhlapi ven. Prav tako je potreben čas, da se vzorec komposta ohladi na sobno temperaturo. Po pripravi smo v testne posode namestili testne gele za določanje plinov, ki se lahko sproščajo med kompostiranjem: gel za CO₂ in gel za NH₃. Posodice smo pokrili in jih pri sobni temperaturi inkubirali štiri ure. Nato smo razvito barvo na testnih gelih odčitali s pomočjo priložene barvne lestvice. Rezultate smo interpretirali s pomočjo priloženih tabel v Solvita priročniku.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

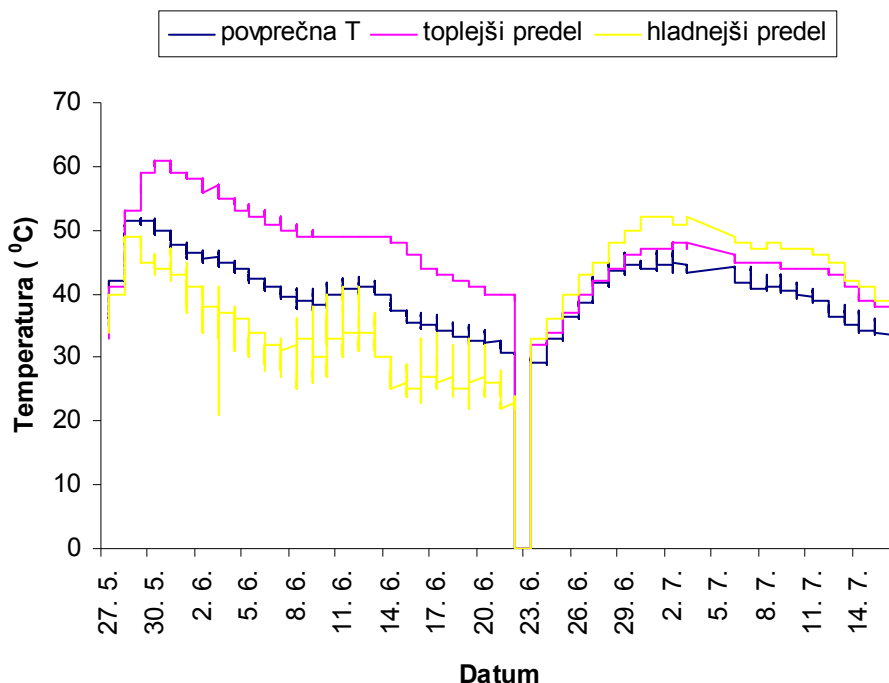
Pri kompostiranju so pomembni predvsem mezofilni in zmerni termofilni organizmi. Pripravljena kompostna mešanica omogoči rast mezofilom in njihov stranski produkt je tudi toplota, zato temperatura v kompostni mešanici začne naraščati. Da toplota, ki nastaja ob delovanju mikroorganizmov ne bi naraščala in bi prav temperatura pomorila koristne mikroorganizme v kompostu, smo vstavili ventilator, ki se je vključeval vsakih 18 min za 2 min in je kompostno maso hladil. Tako se je ohranjalo konstantno idealno okolje za koristne mikroorganizme.

4.1 TEMPERATURNI POTEK MED POSKUSOM

Temperaturo smo merili na desetih mestih v vsakem kompostniku. V oba je bilo dana enaka količina slame, prepojene s prašičjo gnojevko. Na slikah 2 in 3 je prikazana najvišja, najnižja in povprečna temperatura v kompostnikih. Najnižja temperatura je spodaj, ker tam vstopa hladen zrak, ki hladi celotno maso, najtoplejši del kompostnega kupa pa je nekoliko nad sredino kompostne gmote (zaradi učinka vzgona toplega zraka).



Slika 2: Temperatura v kompostniku 1 (K1)



Slika 3: Temperatura v kompostniku 2 (K2)

Oba kompostna kupa sta bila enako pripravljena, sestavljena sta bila iz barjanske trave, ki je bila namočena v prašičjo gnojevko. Kljub temu je prišlo do razlik v sproščanju toplote in posledično v hitrosti reakcij pri razgradnji organske snovi. Mešanica se je v obeh kupih takoj začela segrevati in v treh dneh je bila v obeh kupih dosežena mejna vrednost 55°C, na nekaterih predelih pa je bila celo presežena. Mešanica se ni mogla pregreti, ker je bila temperatura kontrolirana preko računalnika, v kompostni kup pa so bile zapičene sonde, ki so temperaturo merile. Ko je temperatura presegla 55°C se je ventilator samodejno vključil in začel maso hladiti. Ventilator je deloval toliko časa, da je mešanico ohladil pod mejno vrednost. Pod mejno vrednost je vpihovanje uravnano s časovnim intervalom – 2 min. vpihovanja, 18 min. mirovanja. Termofilen nivo (povprečna temperatura nad 45°C) je v kompostniku 1 (K1) trajal v začetni fazi približno 3 dni, v kompostniku 2 (K2) pa kar 8 dni. V kupu K1 je po začetno naglem segrevanju prišlo do precejšnje ohladitve že okoli 8. dne (povprečna temperatura se je znižala na 33°C), nato pa se je mešanica ponovno ogrela na termofilen nivo (16. dan) ter se nato spet postopno ohlajala do 27. dne. V kupu K2 je prve dni temperatura počasneje naraščala, nato pa dalj časa vztrajala na visokem nivoju (bolj usklajeno sproščanje toplote in hlajenja kot v K1).

V K1 se je povprečna temperatura ustalila na 30°C že 20. dan in je na tem nivoju vztrajala, dokler komposta nismo premešali 27. dan. Temperaturni potek v K1 je nakazoval, da je bila aktivna faza kompostiranja, v kateri se razgradijo najlažje razgradljive organske snovi, kot so enostavni ogljikovi hidrati, maščobe, amino-N spojine in deloma tudi celuloza, že končana. V K2 se je temperatura zniževala počasneje kot v K1. Temperatura je bila 21. dan še 36°C, na 30°C pa se je kompost ohladil šele 27. dne.

Ko smo 27. dan kompost vzeli iz reaktorjev in ga premešali, razrahljali in ponovno naložili v reaktor, je temperatura v K1 še naprej postopno upadala. Temperatura je ostala stabilna, zato smo mislili, da se je glavna procesa razgradnje končala. 37. dan (3.7.2004) pa se je zgodila nepričakovana sprememba. V soboto, ob 18:29, je prišlo do izpada elektrike in do prekinitve delovanja računalnika. Računalnik in s tem obenem ventilacijo kompostov smo ponovno pognali v torek zjutraj. Do takrat je v K1 temperatura narasla iz 30,6°C na 61,8°C v povprečju, na posameznih delih pa je dosegla celo 70°C. To kaže, da je bila ventilacija do takrat nekoliko premočna za tako majhno količino sproščene toplote. Ko se je ventilacija ustavila, se je kompostna mešanica močno segrela. Analize so pokazale, da je bil kompost v tem času že primeren za organsko gnojilo, čeprav se je temperatura dvignila, ko ni bilo nadzora in ventilacija ni delovala. Testi, ki smo jih opravili (ugodni kalilno rastni test, test na CO₂, na NH₃), so kazali, da je kompost zrel.

V K2 je začela temperatura po premetavanju postopno naraščati, kljub enako nastavljenemu ventilatorju kot v K1. Temperatura je v K2 36. dan ponovno dosegla dobrih 50°C, nato pa je začela počasi spet padati. V K2 ni bilo tako izrazitega nihanja temperature kot v K1. sproščanje toplote in ventiliranje = hlajenje je bilo v K2 dobro usklajeno. V obeh kompostnikih je bilo zanimivo, da so se po premešanju bolj segreli tisti predeli komposta, ki so bili prej hladnejši. Razlog je verjetno v tem, ker so bili ti predeli bolj surovi. S premešanjem smo tudi za te predele ustvarili ugodnejše fizikalne razmere (vlažnost, zbitost, zračnost) in pospešili mikrobni proces razgradnje. Mešanje je zato zelo pomembno. V praksi bi morali mešati pogosteje (npr. 1x na teden).



Slika 4: Računalnik, ki je vsakih 10 min vklopil hlajenje, da se kompostni kup ni pregrel

4.2 KALJIVOST PLEVELNIH SEMEN PO KOMPOSTIRANJU

Temperatura je bila v celotni površini kupa dovolj visoka, da je zatrla kaljivost semen. V travni biomasi je bilo pred kompostiranjem izjemno veliko semen, saj je bilo seno v kompostu že zrelo. Test na kaljivost semen v kompostu (ONORM S 2023) smo začeli 28.6.2004, to je po dobrem mesecu kompostiranja. Test je pokazal, da v kompostu ni kaljivih semen. To je pomemben podatek za prakso. Z nekontroliranim zorenjem enake mešanice na kupih na prostem, bi po izkušnjah s hlevskim gnojem kaljivost semen še pospešili. Dobili bi sicer lahko hranilno ugodno organsko gnojilo, ki pa bi bilo obenem substrat za plevela in zato bi bila njegova uporabnost vprašljiva.

4.3 PREŽIVETJE PATOGENIH ORGANIZMOV

Ob koncu aktivne faze smo kompost testirali na prisotnost patogenih mikroorganizmov (salmonele, šigele) in na prisotnost jajčec parazitov. Ti organizmi so lahko prisotni v gnojevkah. Testi so pokazali, da patogenih organizmov v kompostu ni bilo. Termofilna faza je trajala dovolj dolgo v obeh kompostnikih in s tem je bila dosežena higienizacija. Higienizacija ni samo rezultat visoke temperature, temveč tudi kompeticije za hrano in prostor med patogenimi organizmi, ki so prilagojeni na telesno temperaturo toplokrvnih živali in med saprofitno termofilno mikrobo populacijo v kompostu (glive, aktinomicete, bakterije).

4.4 REZULTATI KEMIJSKE ANALIZE

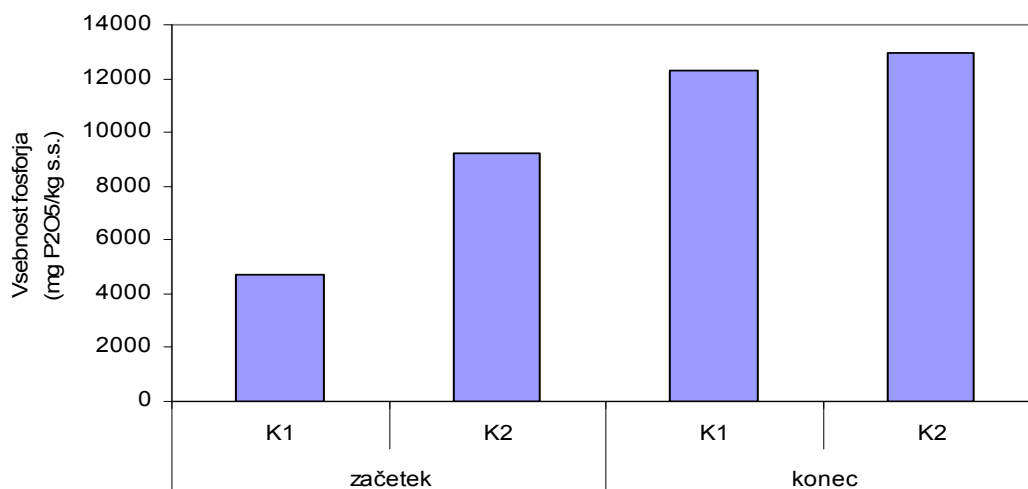
Kompost je bil prvič vzorčen takoj, ko smo seno namočili v prašičji gnojevki, dobro premešali »homogenizirali« kolikor natančno se je to dalo s traktorsko lopato za ravnanje s hlevskim gnojem. Tako premešano maso za kompostiranje smo naložili v kompostnika K1 in K2. Pred polnjenjem vsakega nivoja smo odvzeli tri homogene vzorce komposta (a, b, c). kompost smo ponovno vzorčili 27. dan, ob koncu najbolj burne faze razgradnje. 27. dan smo kompostnika izpraznili, vzeli homogene vzorce v vsaki plasti kot pri polnjenju. Vzorci so bili odvzeti zgoraj, v sredini in spodaj. Rezultati analiz so prikazani v preglednici 5 ter v slikah 5 do 11, podane so povprečne vrednosti parametrov za celoten kompostnik.

Preglednica 5: Rezultati kemijske analize komposta

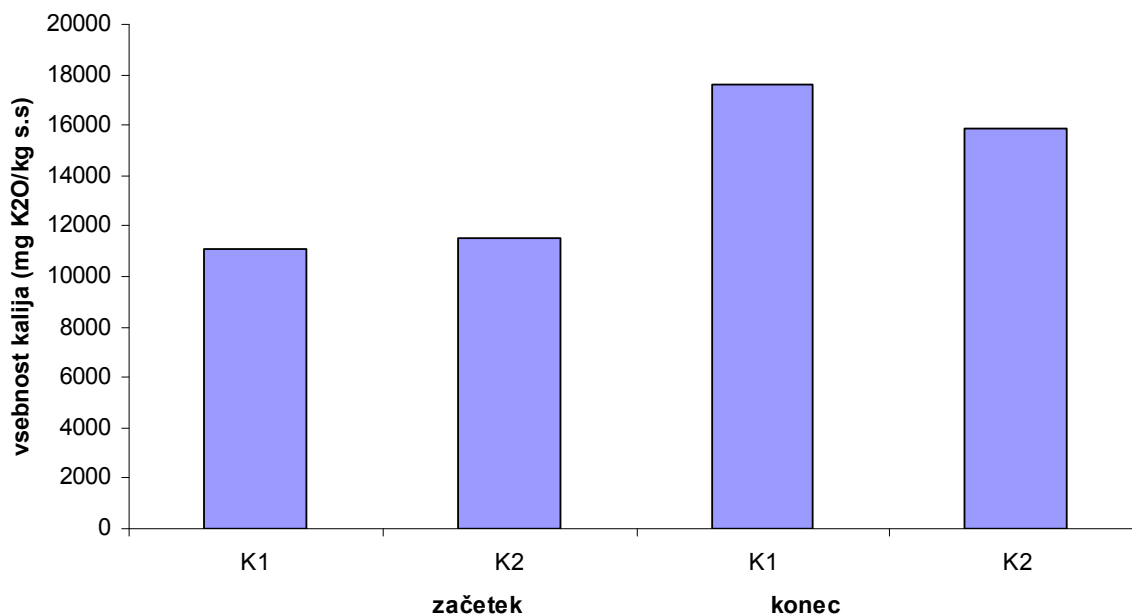
	Oznaka vzorca	pH	EC (mS/cm)	Vlaga (%)	Organska snov (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (mg/kg)	K ₂ O (mg/kg)
							v suhi snovi		
Začetek kompostiranja	K1_a	6,82	2,16	84	91,7	2,18	22,7	4008	11737
	K1_b	6,51	2,11	82	91,1	2,22	22,2	5553	10527
	K1_c	6,69	2,02	86	91,9	2,29	21,6	4523	11072
	K2_a	6,93	2,23	86	89,3	2,45	19,7	11221	12524
	K2_b	6,61	2,02	86	86,0	2,13	21,8	11794	10467
	K2_c	6,66	2,12	85	93,1	2,10	24,0	4695	11495
Konec aktivne faze (27. dan)	K1- zgoraj	7,7	2,96	89	81,1	3,65	12,0	12366	19723
	K1-sredi	7,04	2,7	77	80,5	3,05	14,2	13683	15246
	K1- spodaj	7,1	2,88	80	86,9	2,61	18,0	10763	17848
	K2- zgoraj	7,36	2,22	84	74,8	2,40	16,8	16660	14702
	K2-sredi	7,29	2,38	86	85,1	2,72	16,9	9847	14520
	K2- spodaj	7,34	3,05	84	83,2	3,05	14,7	12309	18392

Kompost je bil na začetku zmerno kisel do nevtralen (povprečen pH = 6,7). V času kompostiranja se je pH vrednost povečala na nekaj čez 7. Kompost je v aktivni fazi zmerno bazičen (povprečni pH = 7,3). Povečanje bazičnosti komposta v začetni fazi je običajno, ker se v tej fazi razgrajujejo N-spojine pri čemer se sprošča amonijski-N, ki tvori baze (Jeris in Regan, 1973 a,b,c). Bolj, kot je pH komposta alkalen (nad 7,5), večje je izhlapevanje amoniaka. V našem primeru pa je bila bazičnost ves čas zelo zmerna, tako da izhajanje amoniaka, razen prve dni po začetku kompostiranja, ni bilo zaznati. Bazičnost je zmerna po koncu aktivne faze, tako, da je glede na ta parameter kompost ustrezen za gnojenje (sl. 7).

Elektro-prevodnost (electrical-conductivity: EC) je pokazatelj skupne vsebnosti topnih soli oz. kationov in anionov v vodni raztopini komposta. EC se je med procesom nekoliko povečala, kar je znak mineralizacije organskih spojin. Povečanje je sorazmerno majhno in tudi skupna EC vrednost je sorazmerno majhna, primerljiva z vrednostjo v povprečnem govejem hlevskem gnoju (sl. 8). Šele, če bi bila skupna vrednost soli v ekstraktu tako velika, da bi EC presegla 3,0 mS/cm, potem bi lahko koncentracija soli negativno vplivala na kalitev rastlin (Manios in sod., 1989).



Slika 5: Vsebnost fosforja v kompostu iz K1 in K2 na začetku in koncu aktivne faze kompostiranja



Slika 6: Vsebnost kalija v kompostu iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja

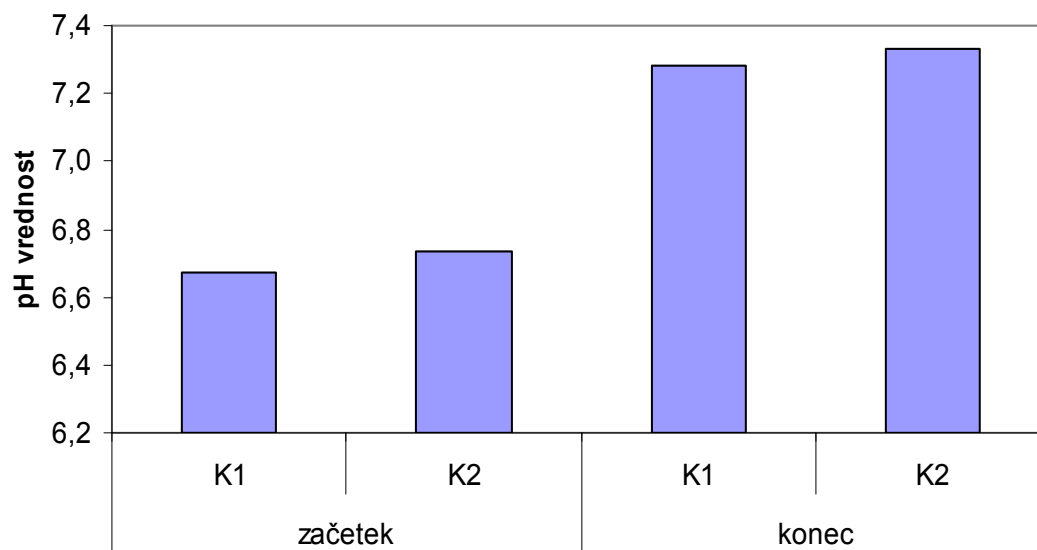
Vsebnost hranil (fosforja, kalija, dušika) se je med procesom povečala, zaradi razgrajene organske snovi. Tako se je povečal delež pepela (mineralov). Ob koncu aktivne faze je bilo v suhem kompostu od 1,23 do 1,29% P₂O₅, kar je malo več, kot v suhem govejem hlevskem gnoju, ki ima fosforja okoli 1%, je pa manj, kot ga vsebuje prašičja gnojevka v sušini (6 do

7%). Vsebnost kalija v kompostu ob koncu aktivne faze je od 1,59 do 1,76% v sušini (sl. 6). To je manj kot v sušini povprečnega govejega hlevskega gnoja, ki vsebuje od 2,5 do 3% K_2O .

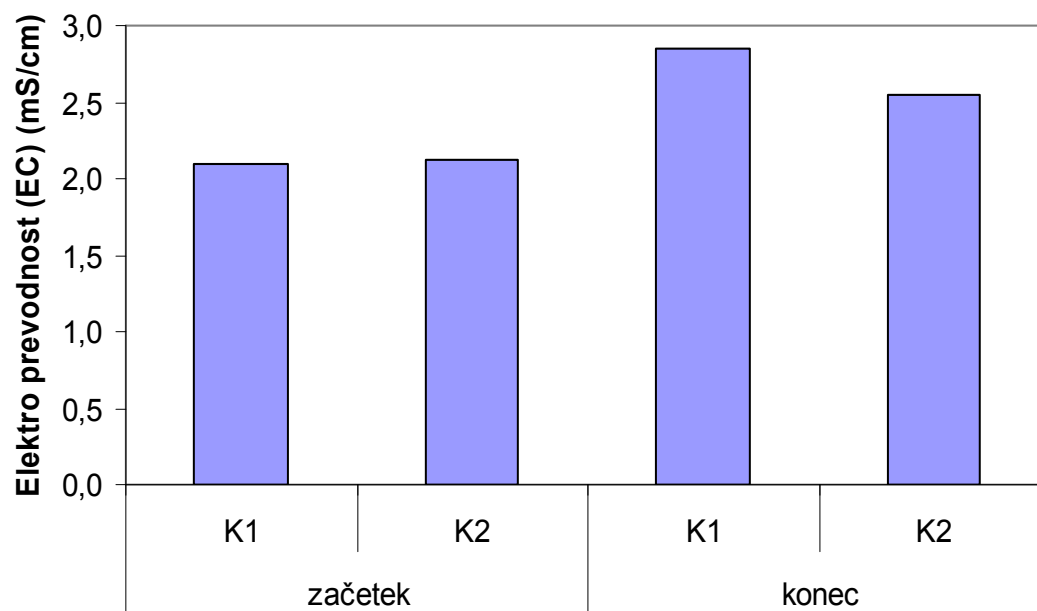
Skupnega dušika je bilo v povprečju od 2,72 do 3,11% v sušini, kar je nekoliko več kot ga ima goveji (ali konjski) hlevski gnoj. V kompostu med hranili prevladuje dušik, ki je skoraj v celoti organsko vezan in se bo v tleh sproščal postopno z mineralizacijo.

Hitrost mineralizacije v tleh je odvisna od mnogih dejavnikov, predvsem od temperature, vlage in hranil za mikrobe ter njihovega medsebojnega razmerja. Najbolj pomembno je razmerje ogljik:dušik (C/N). Če je razmerje v rastlinskih ostankih ali kompostu, ki jih damo v tla, širše od 25, potem dobijo mikrobi zadosti C, vendar premalo N, zato ga vsega, ki je na razpolago v okolici vgradijo v svojo biomaso (neto imobilizacija N). Če damo v tla organsko snov s širokim C/N razmerjem, potem bo rastlinam primanjkovalo N. Na splošno velja, da se kompost lahko vnese v tla, če ima razmerje C celokupen/N celokupen pod 20 – 25. Kljub temu imajo zadosti kompostirani materiali C/N razmerja v zelo širokem razponu (od 5 do 29), odvisno od narave posameznega materiala. Poleg tega je znano, da se imobilizacija N pojavi tudi, če se gnoji s svežim gnojem (Kirchman, 1990).

Naš kompost je imel ob koncu aktivne faze C/N razmerje med 15 in 16, torej zadosti ozko, da lahko pričakujemo, da bo v tleh po gnojenju potekala neto mineralizacija dušika. Kompost bo predvidoma sproščal dušik, ki bo na voljo rastlinam. Hitrosti sproščanja dušika ne poznamo. Določiti bi se jo dalo s posebnim poskusom. Glede na splošno analitsko sliko komposta ter na sestavine (slamnato seno in prašičja gnojevka) pa pričakujemo, da bo dinamika sproščanja N podobna kot pri zrelem hlevskem gnoju. Eno leto po vnosu se običajno sprost od 15 do 30% N, dolgoročno pa je njegova relativna izkoristljivost (v primerjavi z mineralnimi dušičnimi gnojili) od 60 do 80%. Izkoristljivost fosforja in kalija iz organskih gnojil je dolgoročno enaka kot iz mineralnih gnojil (Mihelič, 2004).



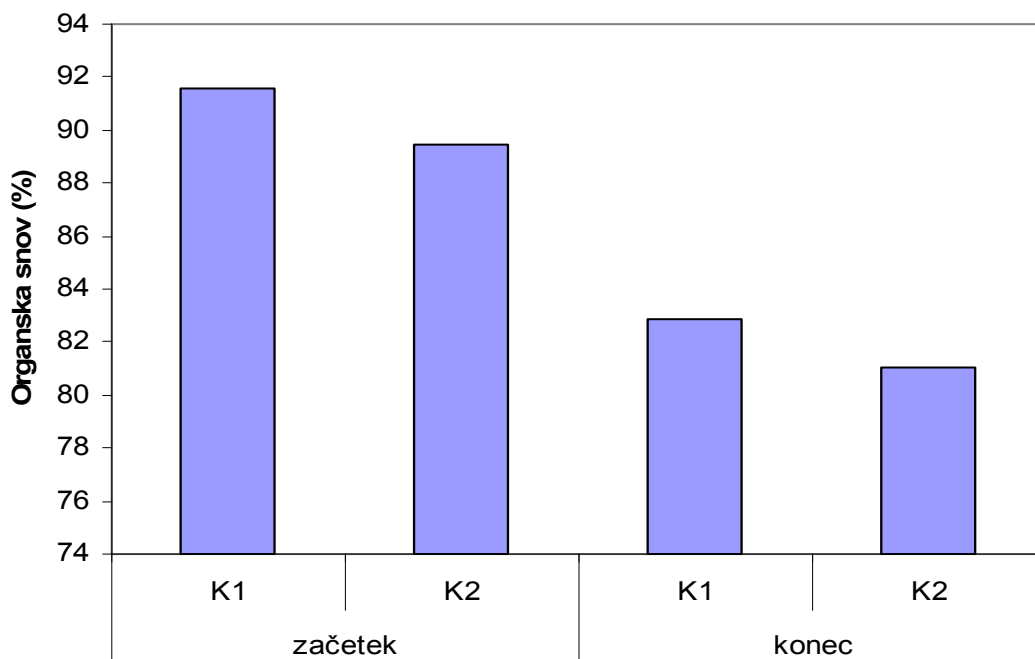
Slika 7: pH vrednost komposta iz K1 in K2 na začetku in koncu aktivne faze kompostiranja



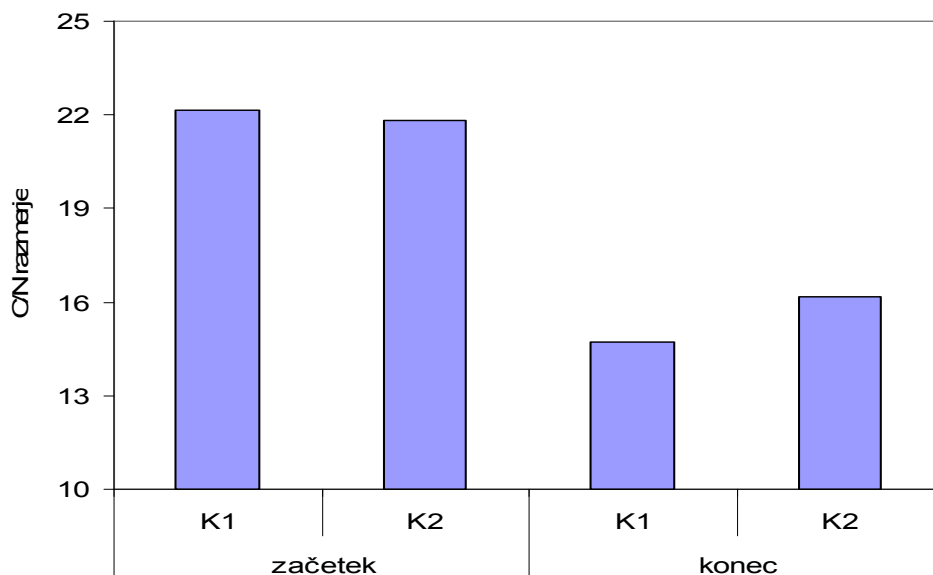
Slika 8: Elektro prevodnost komposta iz K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja

4.5 MASNA BILANCA IN SUŠENJE KOMPOSTA

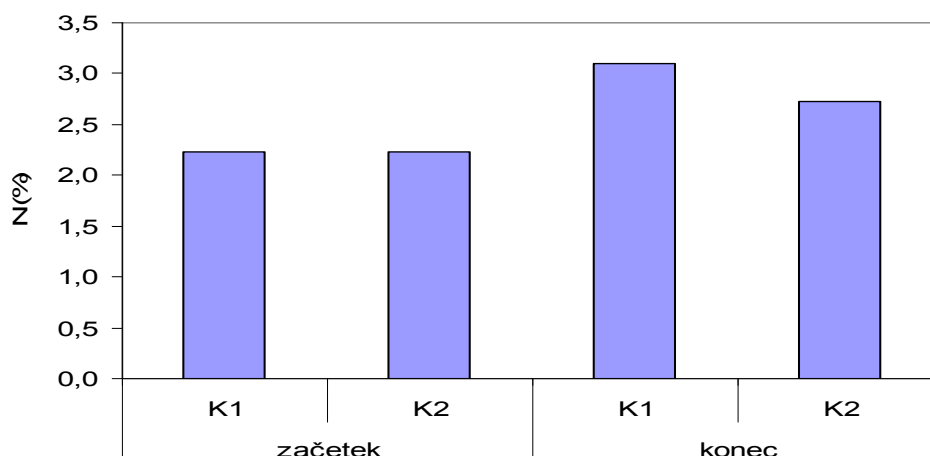
Na slikah 9, 10 in 11 je prikazana vsebnost organske snovi, dušika in razmerje C/N v kompostu na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja.



Slika 9: Organska snov komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja



Slika 10: C/N razmerje komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in na koncu aktivne faze kompostiranja



Slika 11: Dušik komposta iz kompostnikov K1 in K2 na začetku in ob koncu aktivne faze kompostiranja

Vlaga je bila na začetku kompostiranja velika (84 – 86%), kompostna mešanica je bila maksimalno nasičena. Potem ko sta bila kompostnika napolnjena, se je del vode gravitacijsko odcejal nekaj dni iz kompostnikov. Kompost se je zelo slabo sušil, tako, da se v vsem času kompostiranja relativna vsebnost vlage ni dosti zmanjšala. Še 27. dan kompostiranja je bila vlaga na nivoju 80 - 85% (pregl. 5). Vlaga je v kompostnikih zastajala tudi zaradi konstrukcije eksperimentalnega kompostnika, ki ima le majhno odprtino na pokrovu, s čimer dosežemo bolj enakomerne pogoje v celi prostornini kompostnika. V praksi je odprtih delov bodisi v kompostnih reaktorjih, še posebej pa v kupih na prostem, bistveno več, izhajanje vlage pa zato bolj intenzivno. Verjetno bi bilo sušenje v praksi intenzivnejše, kar je s tehnološkega stališča nujno. Kompost je potrebno pred pakiranjem presejati. Sejemo in meljemo pa lahko le primerno osušen kompost. Kompost za pakiranje mora imeti po mnenju Maje Gunstek, vodje komunalne kompostarne Vrhnika le 60% vlage, da je primeren za uspešno sejanje in pakiranje.

Vlage je bilo tudi dovolj morda celo preveč, za optimalen mikroben proces. Kljub temu anaerobnih procesov, med katerimi se tvorijo reducirane hlapne substance, ki povzročajo neugodne vonjave (merkaptani, sulfidi, amoniak,...), nismo zabeležili. Med kompostiranjem neugodnih vonjav, razen prva dva dneva (značilen vonj po gnojevki), ni bilo.

4.6 MASNA BILANCA

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

$$(\%s.s.)_i = 100 - (\%p_z \times 100 / \% p_k)$$

% p_z : odstotek pepela na začetku procesa

% p_k : odstotek pepela na koncu procesa

Že v 27 dneh se je razgradilo v povprečju skoraj 50% suhe snovi. Kompostna gmota se je v kompostnikih močno posedla (iz 2,3 m višine na 1,3 m ob koncu kompostiranja). S tem se je obenem povečala gostota komposta. Delež organskih snovi pa je bil kljub intenzivni razgradnji ob koncu poskusa še vedno velik (82%). V kompostni mešanici je bilo veliko hitro razgradljivih substanc. Pri hitri razgradnji se sprošča veliko toplote, ki omogoča hitro doseganje visoke temperature ter s tem higienizacijo komposta.

Masna bilanca je pomembna s stališča načrtovanja potrebne velikosti kompostnika (zasedenost prostora), dimenzije uporabljenih strojev in opreme ter za ekonomiko kompostiranja. Iz poskusa se da sklepati, da v praksi iz 100 kg sušine začetne mešanice pridobimo samo 20 kg sušine komposta.

Iz ene tone zračno suhega sena, ki je prelito s prašičjo gnojevko, dobimo od 5000 do 6000 kg začetne kompostne mešanice. Po koncu aktivne faze kompostiranja bi dobili 1000 do 1200 kg komposta s 50 % vlago.

Lahko rečemo da iz ene tone sena + 5 m³ gnojevke dobimo 1 tono tržnega komposta. Tak kompost (s 50% vlage) bi že po sorazmerno kratkem času kompostiranja (po enem mesecu) imel dvakrat večjo vsebnost hranil in organske snovi, kot dozorel hlevski gnoj v sveži snovi. Vrednost komposta je zato glede na vsebnost hranil dvakrat večja kot vrednost hlevskega gnoja. Kompost je tudi higieniziran (garantirano brez patogenih organizmov in plevelov) ter brez fitotoksičnih substanc.

4.7 VSEBNOST TEŽKIH KOVIN V KOMPOSTU

Iz obeh kompostnikov smo pripravili po dva vzorca in jih analizirali na vsebnost težkih kovin. Analiza je pokazala, da imata oba vzorca manjšo vsebnost težkih kovin kot je po Uredbi o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla predpisana za kompost z neomejeno uporabo. Pravila, ki sedaj veljajo so ena najstrožjih na svetu. Pridobljeni kompost ima preveliko vsebnost cinka. Zato ne moremo uvrstiti tega komposta v razred I po Pravilniku o predelavi biološko razgradljivih odpadkov v kompost (Uredba..., 2008), ampak med kompost z omejeno rabo (2 razred), za katerega mora povzročitelj obremenitve (proizvajalec oz. uvoznik komposta) od ministrstva, pristojnega za okolje, v soglasju z ministrstvom, pristojnim za kmetijstvo pridobiti dovoljenje za vnos blata ali komposta z omejeno uporabo na kmetijskem zemljišču. V preglednici 6 so podatki o vsebnosti težkih kovin v obeh kompostnikih (K1, K2) ob koncu kompostiranja.

Preglednica 6: Vsebnost težkih kovin v obeh kompostnikih (K1, K2) ob koncu kompostiranja

Vsebnost težkih kovin (mg/kg s.s)	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Cr
K1	68	<1	385	<10	6	7
K2	50	<1	237	<10	5	5
Kompost z neomejeno uporabo (1. razred) (Uredba ..., 2008)	100	0,7	200	80	50	80
Kompost z omejeno uporabo (2. razred) (Uredba ..., 2008)	300	1,5	1200	250	75	200

4.8 SOLVITA TEST NA ZRELOST KOMPOSTA

Zrelost komposta smo opravili z »Solvita« testom, to je primernost za uporabo v kmetijstvu glede na razgradljivost organske snovi. Rezultati testa so prikazani v preglednici 7.

Preglednica 7: Solvita test za zrelost komposta

Vzorec komposta	Test na CO ₂ (1=zelo veliko; 8=zelo malo)	Test na NH ₃ (1=zelo veliko; 5=zelo malo)	Solvita indeks zrelosti (1=zelo slabo zrel; 8=zelo dobro zrel)
K1 spodaj	4	5	4
K1 sredi	4	5	4
K1 zgoraj	6	5	6
K2 spodaj	5	5	5
K2 sredi	4	5	4
K2 zgoraj	6	5	6

Solvita indeks zrelosti je pokazal, da prostega amoniaka praktično ni, kar je dobro tako glede širjenja neprijetnih vonjav, kot možnih fitotoksičnih učinkov. Kompost se na stopnji zrelosti uvršča od 4 do 6 kar pomeni:

Stopnja 4: kompost je v srednji ali zmerni stopnji aktivne razgradnje. Potrebno je nadaljevanje dozorevanja in kontrole;

Stopnja 5: kompost je v prehodu med aktivno fazo in fazo dozorevanja. Lahko zmanjšamo aktivnost nadzora.

Stopnja 6: stadij dozorevanja; potrebe po zračenju so zmanjšane, kompost je pripravljen na tvorbo višjih in večjih kupov; občutno zmanjšane potrebe po nadzoru.

Kompost je po stopnji razgrajenosti podoben organskim gnojilom (hlevskemu gnoju) in je zato zelo primeren za uporabo v poljedelstvu, za tople grede in rastlinjake ter tudi za sadovnjake, vinograde, travnike in pašnike. Za pripravo rastnih substratov, kamor se pravilno umeša večje količine komposta (10 – 30%), je manj primeren oz. bi ga morali še dozoreti.

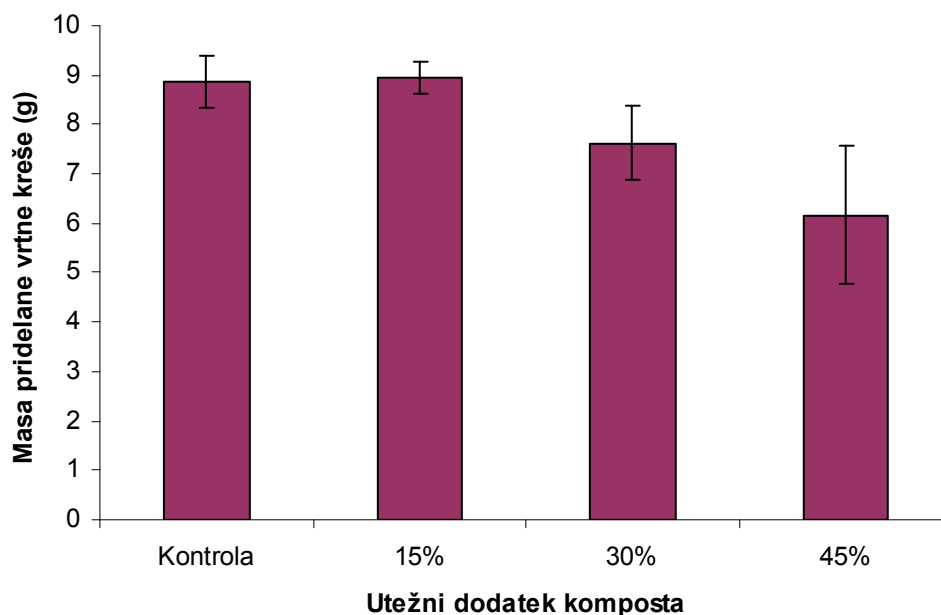
4.9 KALILNI TEST (TEST NA FITOTOKSIČNOST)

Posledica hitre razgradnje nezrelega komposta v tleh je zmanjšanje koncentracije kisika v porah. To vodi do anaerobnih razmer ter s tem nezaželenih redukcijskih procesov, ki med drugim povečajo dostopnost nekaterih težkih kovin. Opozoriti je potrebno, da se s kompostiranjem ne da odstraniti negativnega vpliva prevelike koncentracije težkih kovin in se pojavljajo predvsem v kompostih iz nekaterih gošč čistilnih naprav ali mestnih smeti (Anid, 1986).

Pripravili smo rastne substrate z utežnimi odstotki 15, 30, 45% komposta, ki smo ga umešali v inerten kremenčev pesek. V te substrate smo posejali vrtno krešo (*Lepidium Sativum L.*). Deveti dan po saditvi smo ugotavljali prirast kreše (preglednica 8).

Preglednica 8: Kalilno rastni test komposta z vrtno krešo (*Lepidium Sativum L.*) (masa rastlin v g)

Vzorec	Kontrola	15 %	30 %	45 %
K1 spodaj	11,58	10,74	9,34	8,35
K1 zgoraj	11,50	11,16	10,55	8,45
K2 spodaj	10,51	11,57	9,11	8,15
K2 zgoraj	10,76	11,15	8,80	5,47
Povprečno	11,09	11,15	9,45	7,60



Slika 12: Kalilno rastni test na fitotoksičnost komposta

Majhen dodatek komposta ni negativno vplival na kalitev in rast vrtno kreše (slika 13), medtem ko sta dodatka 30 in 45 % komposta povzročila značilno zmanjšan pridelek. Rezultat se sklada z zgoraj zapisanim glede Solvita zrelostnega testa. Kompost je primeren za uporabo kot organsko gnojilo, ne pa kot sestavina rastnega substrata z velikim deležem v takem substratu. Opozoriti je potrebno, da že 15 % dodatka predstavlja veliko količino komposta. Tak dodatek bi v ornici, globoki 20 cm, na površini 1 ha predstavljal kar okoli 400 ton komposta. Odmerki komposta v poljedelstvu so vsaj 10x do 20x manjši, zato lahko trdimo, da se pri normalni uporabi komposta kot organskega gnojila ni treba bati fitotoksičnih učinkov.



Slika 13: Kalilno rastni test komposta z vrtno krešo (*Lepidium Sativum* L.)

5 SKLEPI

- Kompostiranje mešanice pozno košene trave z Ljubljanskega barja in prašičje gnojevke je možno in z vidika obdelanosti krajine primerna možnost za zaslužek.
- S procesi, ki se začnejo odvijati v kupu se masa segreje, kar uniči patogene MO, zatire se kaljivost semen.
- V kompostu med hranili prevladuje dušik, ki pa je skoraj v celoti organsko vezan in se bo v tleh sproščal postopno z mineralizacijo.
- Masa kupa, ki se kompostira, se močno zmanjša, vlaga komposta je 50%.
- Kompost ima že po sorazmerno kratkem času kompostiranja dvakrat večjo vsebnost hranil in organske snovi, kot dozorel hlevski gnoj. Vrednost komposta je zaradi vsebnosti hranil dvakrat večja kot vrednost hlevskega gnoja. Kompost je higieniziran (garantirano brez patogenih organizmov in semen plevelov) ter brez fitotoksičnih substanc.
- Kompost vsebuje po naših predpisih (ki pa so ene najostrejših na svetu) preveč cinka, zato ga ni mogoče uvrstiti v razred 1 (Pravilnik ..., 2008), lahko pa je kompost z omejeno rabo, za katerega mora povzročitelj obremenitve od ministrstva, pristojnega za okolje v soglasju z ministrstvom, pristojnim za kmetijstvo, pridobiti dovoljenje za vnos komposta z omejeno uporabo na kmetijskem zemljišču.

6 POVZETEK

Na prostoru Ljubljanskega barja je veliko travnikov, ki so neprimerni za intenzivno rabo v kmetijstvu. Da se ne bi zarasle bi jih bilo primerno enkrat letno pokositi. Kompostiranje barjanskega sena je primerno za pripravo dobrega komposta. Seno je vlakninast, suh material (14 % vlage), ki vpije veliko vode (1 kg sena absorbira kar 4 do 6 litrov vode), kljub temu pa zaradi votlih bilk tudi relativno vlažna mešanica ohrani ugodno razmerje med vodo in zrakom. Pozno košeno seno je podobno slami in je idealen strukturni material za mešanje z mulji in gnojevko ne samo s fizikalnega, ampak tudi s kemijskega vidika; hranilna razmerja (npr. C/N) obeh materialov se odločno dopolnjujejo.

V kompost smo združili dve snovi: seno iz pozno košene trave z Ljubljanskega barja in prašičjo gnojevko. Gledano tržno sta sedaj oba materiala nezanimiva, vendar predelana v kompost pa lahko tržno zanimiva. Mešanje sena in gnojevke je bilo zamudno (teden dni) in bi zahtevalo določene priprave in izkušnje. Seno vodo zelo počasi vpija. Gnojevko in seno moramo mešati, da ne ostane notranjost suha. Namakanje mešanice z velikim deležem sena je zato problematično, posebno v prvih dneh, dokler se seno še ne zmehča in to traja vse do takrat dokler seno ni preraščeno z kolonijami mikroorganizmov, ki razgradijo celulozno povrhnjico. Paziti je potrebno tudi, da ne pride do izcejanja iz komposta, ker pri tem izgubimo hranila (predvsem dušik in kalij). Gnojevko bi bilo zato smiselno dodajati postopno in ob mešanju.

Z mešanjem so se ustvarile ugodne fizikalne razmere (vlažnost, zbitost, zračnost), ki so pospešili mikroben proces razgradnje. Mešanje komposta iz travne biomase je zato pomembna. V praksi bi morali mešati pogosto in to vsaj enkrat tedensko. V obeh kompostnikih se je temperatura zelo hitro povzpela in je že po treh dneh dosegla in na posameznih predelih celo presegla mejno vrednost 55°C. Aktivna faza s temperaturo nad 30 °C je trajala približno 4 tedne. Temperatura je bila v obeh kompostnikih v celotni površini zadosti visoka, da je zatrla kaljivost semen. V travni biomasi je bilo pred kompostiranjem veliko semen, ker je bilo seno iz pozno košene trave ljubljanskega barja.

Ob koncu aktivne faze smo kompost testirali na prisotnost patogenih mikroorganizmov (salmonele, šigele) in na prisotnost jajčec parazitov. Ti organizmi so lahko prisotni v gnojevki. Testi so pokazali, da kompost teh patogenih MO nima. Uničila jih je temperatura, ki je trajala dovolj dolgo, da niso preživel in tako se je dosegla higienizacija.

Razmerje med glavnimi hranili po koncu aktivne faze je bilo: $N:P_2O_5:K_2O = 2,9:1,3:1,7$. V kompostu je najbolj zastopan dušik, ki pa je skoraj ves organsko vezan in se bo v tleh sproščal postopno z mineralizacijo. Vlaga je bilo dovolj za optimalen mikroben proces. Anaerobnih procesov, kjer bi se lahko tvorile hlapne substance, ki povzročajo neugodne vonjave (merkaptani, sulfidi, amoniak...) ni bilo. Bile so le vonjave po gnojevki in še te le prvih nekaj dni. V 27 dneh se je razgradilo skoraj 50 % suhe snovi. Kompostna gmota se je v kompostnikih močno posedla (iz 2,3 m višine na začetku na 1,3 m višine ob koncu aktivne faze).

Kompost s 50 % vlage bi že po sorazmerno kratkem času kompostiranja (po enem mesecu) imel dvakrat večjo vsebnost hranil in organske snovi kot dozorel hlevski gnoj v sveži snovi. Zato je vrednost komposta glede na vsebnost hranil dvakrat večja kot vrednost hlevskega gnoja. Poleg tega je kompost higieniziran (ni patogenih mikroorganizmov in ni semen plevelov) ter brez fitotoksičnih substanc. Kompost je po zrelosti podoben hlevskemu gnoju in je zato primeren za uporabo v poljedelstvu, za tople grede in rastlinjake in tudi za sadovnjake, vinograde, travnike in pašnike. Pri normalni uporabi komposta kot organskega gnojila ne bi prišlo do fitotoksičnih učinkov.

7 VIRI

- Anid P.J. 1986. Evaluating Maturity and Metal Transfer of MSW Compost Biocycle, 27, 1: 46-47
- Bačovnik K. 1995. Vpliv različnih dodatkov na hitrost in kvaliteto kompostiranja lignoceluloznih vrtnih odpadkov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 78 str.
- Chen Y., Ynbar Y. 1993. Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. V: Science and Engineering of Composting. Columbus, The Ohio State University: 551-660
- Cooper R.C., Golueke C.G. 1982. Survival of Enteric Bacteria and Viruses in Compost and its Leachate. Composting. Emmaus, Penna, The JG Press, Inc.: 41-53
- Čop J., 2004. Analiza travinja ljubljanskega barja z vidika alternativne rabe. V: Alternativna raba travinja na ljubljanskem barju. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 3-16
- De Bertoldi M., Zucconi F. 1986. Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste. V: Compost Production, Quality and Use. Proceedings of a symposium, Udine, Italy. London and New York, Elsevier Applied Science: 30-50
- De Bertoldi M., Zucconi F., Civilini M. 1988. Temperature, pathogen control and product quality. Biocycle, 29, 2: 43-50
- De Bertoldi M., Civilini M., Comi G. 1990. MSW compost standards in the European community. Biocycle, 31, 8: 60-62
- Fermor T.R., Randle P.E., Smith J.F. 1985. Compost as a Substrate and its Preparation. The Biology and Technology of the Cultivated Mushroom. New York, John Wiley and Sons: 81-110
- Finsten M.S., Miller F.C. 1984. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness. V: Composting of Agricultural and Other Wastes. London, Elsevier Applied Science Publishers: 13-26
- Finsten M.S., Miller F.C., Hogan J.A., Strom P.F. 1987a. Analysis of EPA Guidance on Composting Sludge. Part II – Biological Process Control. Biocycle, 28, 2: 42-47
- Finsten M.S., Miller F.C., Hogan J.A., Strom P.F. 1987b. Analysis of EPA Guidance on Composting Sludge. Part IV – Facility Design and Operation. Biocycle, 28, 4: 57-61

- Finsten M.S., Miller F.C., Hogan J.A., Strom P.F. 1987c. Analysis of EPA Guidance on Composting Sludge. Part III – Oxygen, Moisture, Odor, Pathogens. *Biocycle*, 28, 3: 38-44.
- Golueke C. 1990. Understanding the Basic of Composting. *Biocycle*, 31, 4: 56-60
- Haug R.T. 1980. *Compost Engineering*. Ann Arbor Science: 650 str.
- Jeris J.S., Regan R.W. 1973a. Controlling environmental parameters for optimum composting (part 1). *Compost Science*, 14, 1: 10-15
- Jeris J.S., Regan R.W. 1973b. Controlling environmental parameters for optimum composting (part 2). *Compost Science*, 14, 2: 8-15
- Jeris J.S., Regan R.W. 1973c. Controlling environmental parameters for optimum composting (part 3). *Compost Science*, 14, 3: 16-22
- Juvančič M. 2003. Okoljska problematika živalskih farm. Seminarska naloga. Ljubljana: 17 str.
- Kirchman H. 1990. Nitrogen Interactions and Crop Uptake from Fresh and Composted Poultry Manure. *Journal of Soil Science*, 41, 3: 379-386
- Manios V.I., Tsikalas P.E., Siminis H.I., Verdonk O. 1989. Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration. *Biological Wastes*, 27, 4: 307-318
- Mihelič R. 1991. Kompostiranje gošče komunalne čistilne naprave Ajdovščina in lubja iglavcev. Diplomski naloga. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 100 str.
- Mihelič R. 2004. Travnna biomasa kot kompost. V: *Alternativna raba travinja na ljubljanskem barju*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 46-78
- Miller F.C., Harper E.R., Macauley B.J. 1989. Field Examination of Temperature and Oxygen Relationships in Mushroom Composting Stacks. Consideration of Stack Oxygenation Based on utilization and supply. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 29: 41-50
- Morel J.L., Colin F., Germon J.C., Godin P., Juste C. 1984. Methods for the evolution of the maturity of municipal refuse compost. V: *Composting of Agricultural and Other Wastes*. London, Elsevier Applied Science Publishers: 56-72
- Mustin M. 1987. *Le Compost: gestion de la matiere organique*. Edition Paris Dubusc, Francois: 951 str.
- Nuntagij A., De Lassus C., Sayag A., Andre L. 1989. Aerobic Nitrogen Fixation during the Biodegradation of Lignocelluloses Wastes. *Biological Wastes*, 29, 1: 43-61

Pravilnik o predelavi biološko razgradljivih odpadkov v compost. Ur.l. RS št. 42-1886/04

Singh C.P. 1987. Preparation of high grade compost by an enrichment on organic matter decomposition. *Biological Agriculture and Horticulture*, 5: 41-49

Tarre S., Raviv M., Shelef G. 1987. Composting of Fibrous Solids from Cow Manure and An aerobically Digested Manure. *Biological Wastes*, 19, 4: 299-308

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov. Ur.l. RS št. 62-2628/08

Willson G.B., Parr J.F., Epstein E., Marsh P.B., Chaney R.L., Colacicco D., Burge W.D., Sikora L.J., Tester C.F., Hornick S. 1980. Manual for composting sewage sludge by the Beltsville aerated-pile method. EPA-600/8-80-022. Cincinnati, Ohio, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development: 65 str.

Zucconi F., Forte M., Monaco A., De Bertoldi M. 1981a. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 22, 4: 27-29

Zucconi F., Pera A., Forte M., De Bertoldi M. 1981b. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 22, 2: 54-57

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Francu Lobniku za ves čas in dobro voljo pri izdelavi diplomske naloge.

Predvsem se zahvaljujem somentorju doc. dr. Roku Miheliču za vso strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Vedno, ko sem ga potreboval si je vzel čas in mi zelo rad pomagal.

Zahvaljujem se vsem sodelovcem s Centra za pedologijo in varstvo okolja, ki so mi pomagali pri praktičnem delu.

Zahvaljujem se Ani Šavli, ki mi je prevedla povzetek.

Zahvala tudi vsem sodelavcem, ki so me moralno podpirali, predvsem Jani Čuk, ki mi je tudi pomagala z nasveti ob izdelavi diplomske naloge.

PRILOGE

Priloga A:

Kemijska analiza komposta

KEMIJSKE ANALIZE KOMPOSTA IZ BARJANSKEGA SENA IN PRAŠIČJE GNOJEVKE

Lab oznaka	Oznaka vzorca	pH	EC (mS/cm)	org.snov	%pepela	% razgrajene ss	%razgr. OS	N (%)	C/N	P2O5 (mg/kg)	K2O (mg/kg)	% vlage	Cu	Cd	Zn	Pb	Ni	Cr
9/04/3/2	A1	6,82	2,16	91,7	8,3			2,18	22,7	4008	11737	84						
10	A2	6,51	2,11	91,1	8,9			2,22	22,2	5553	10527	82						
11	A3	6,69	2,02	91,9	8,1			2,29	21,6	4523	11072	86						
12	B1	6,93	2,23	89,3	10,7			2,45	19,7	11221	12524	86						
13	B2	6,61	2,02	86,0	14,0			2,13	21,8	11794	10467	86						
14	B3	6,66	2,12	93,1	6,9			2,10	24,0	4695	11495	85						
15	Azg	7,7	2,96	81,1	18,9	56,1	61,2	3,65	12,0	12366	19723	89						
16	As	7,04	2,7	80,5	19,5	54,4	59,7	3,05	14,2	13683	15246	77	68	<1	385	<10	6	7
17	Asp	7,1	2,88	86,9	13,1	38,2	41,5	2,61	18,0	10763	17848	80						
18	Bzg	7,36	2,22	74,8	25,2	57,5	64,4	2,40	16,8	16660	14702	84						
19	Bs	7,29	2,38	85,1	14,9	36,1		2,72	16,9	9847	14520	86	50	<1	237	<10	5	5
20	Bsp	7,34	3,05	83,2	16,8	58,9	63,3	3,05	14,7	12309	18392	84						
6/04/3/2	kompostBF03			81,9	18,1	50,2	58,0						50	<1	199	28	12	75
6b/04/3/2	kompostBF03												16	<1	78	<10	7	5

Priloga B:

Kemijska sestava komposta na začetku in koncu kompostiranja

	začetek		konec	
	K1	K2	K1	K2
pH	6,7	6,7	7,3	7,3
EC	2,10	2,12	2,85	2,55
OS	91,6	89,5	82,8	81,1
N	2,23	2,22	3,11	2,72
C/N	22,2	21,8	14,7	16,1
P2O5	4695	9236	12271	12939
K2O	11112	11495	17606	15871
vlaga	84	86	82	85

Priloga C:

Kalilno rastni test s krešo

KALILNO RASTNI TEST S KREŠO

Vzorec/	Kontrola	15%	30%	45%
K1spodaj	11,58	10,74	9,34	8,35
K1zgoraj	11,5	11,16	10,55	8,45
K2spodaj	10,51	11,57	9,11	8,15
K2zgoraj	10,76	11,15	8,8	5,47
Povprečno	8,87	8,95	7,62	6,17
ST.D.	0,5	0,3	0,8	1,4
INT.Z.	0,52	0,33	0,75	1,40