

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Colja, M., 2014. Ekološko recikliranje bioloških odpadkov iz gospodinjstva z avtomatskim kompostnikom. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kompare, B., somentor Panjan, J.): 64 str.

Datum arhiviranja: 07-07-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Colja, M., 2014. Ekološko recikliranje bioloških odpadkov iz gospodinjstva z avtomatskim kompostnikom. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kompare, B., co-supervisor Panjan, J.): 64 pp.

Archiving Date: 07-07-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

MATIJA COLJA

**EKOLOŠKO RECIKLIRANJE BIOLOŠKIH ODPADKOV
IZ GOSPODINJSTVA Z AVTOMATSKIM
KOMPOSTNIKOM**

Diplomska naloga št.: 234/VKI

**ECOLOGICAL RECYCLING OF HOUSEHOLD
BIOWASTE IN AUTOMATIC COMPOSTER**

Graduation thesis No.: 234/VKI

Mentor:

prof. dr. Boris Kompare

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:

izr. prof. dr. Jože Panjan
dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič

Član komisije:

doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 03. 07. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani **MATIJA COLJA**, z vpisno številko **26300089**, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**“EKOLOŠKO RECIKLIRANJE BIOLOŠKIH ODPADKOV IZ GOSPODINJSTVA Z
AVTOMATSKIM KOMPOSTNIKOM”.**

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 12. junij 2014

.....

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU DIPLOMSKE NALOGE

Diplomsko nalogo so pregledali naslednji profesorji:

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 628.473(043.2)
Avtor: Matija Colja
Mentor: prof. dr. Boris Kompare
Somentor: izr. prof. dr. Jože Panjan
zn. sod. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič
Naslov: Ekološko recikliranje bioloških odpadkov iz gospodinjstva z avtomatskim kompostnikom
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 64 str., 17 pregl., 17 sl., 4 pril.
Ključne besede: biološki odpadki, avtomatski kompostnik, kompost, kompostni proces, posip za biološke odpadke

Izveleček

V diplomskem delu predstavljamo sodobno rešitev kompostiranja. Raziskali smo razgradnjo bioloških odpadkov iz gospodinjstva, z uporabo avtomatskega kompostnika. Prvi del predstavlja teoretična spoznanja o kompostiranju in avtomatskem kompostniku. Drugo, analitično področje, nas seznanja z dvema poizkusoma, ki sta bila izvedena po predpisanih postopkih doziranja.

Na osnovi eksperimentalnega dela lahko povzamemo, da uporaba avtomatskega kompostnika ponuja hitro zmanjšanje količin bioloških odpadkov. Hkrati omogoča predelavo odpadkov na mestu njihovega nastanka. Pridelan končni produkt je kompost, ki ne predstavlja obremenitve za okolje in je primeren za nadaljnjo uporabo.

Z uporabo avtomatskega kompostnika pripomoremo k uresničevanju pomembnega cilja t.i. zmanjšanje odpadkov na mestu njihovega nastanka. S tem temeljno prispevamo k nižjim degradacijskim NIMBY ("not in my back yard", prevedeno "ne na mojem dvorišču") efektom in botrujemo k trajnostnemu varovanju okolja, ki je v sodobnem času izjemno pomembno.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 628.473(043.2)
Author: Matija Colja
Supervisor: Prof. Boris Kompare
Co-supervisor: Assoc. Prof. Jože Panjan
Res. Assoc. Aleksandra Krivograd Klemenčič
Title: Ecological recycling of household biowaste in automatic composter
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 64 p., 17 tab., 17 fig., 4 ann.
Keywords: household biowaste, automatic composter, compost, compost process, grit for biowaste

Abstract

This thesis presents a modern solution of composting. We have investigated the degradation of household biowaste, by using automatic composter. The first part of thesis presents the theoretical insights of composting and automatic composter. The second part, analytical, inform us with two retries, performed by using prescribed dosage procedures.

Based on the experimental work, we can summarize, that use of automatic composter offers rapid reduction of biowaste quantities. It also enables waste processing of biowaste at the place of its formation. The final product is compost, which does not constitute a burden for the environment and is suitable for further use.

The use of automatic composter contributes to very important goal that is reducing waste at the place of its formation. With this we fundamentally contribute to lower degradation NIMBY (“not in my back yard”) effect and we provide sustainable protection of the environment, which is extremely important nowadays.

ZAHVALA

Iskreno zahvalo si zaslužijo:

- *prof. dr. Boris Kompare za mentorstvo,*
- *zn. sod. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič ter izr. prof. dr. Jože Panjan za somentorstvo,*
- *podjetje ECHO d.o.o. za izposajo e-kompostnika,*
- *dr. Polonca Brglez za pomoč in svetovanje pri izvajanju praktičnega dela diplome,*
- *laborant Renato Babič, inž. kem. teh., laborantka Suzana Košenina, dipl. inž. kem. teh. (UL, Zdravstvena fakulteta) ter Klara Jarni, univ. dipl. biol. za pomoč pri izvajanju laboratorijskih meritev,*
- *prof. dr. Goran Turk za pomoč pri oblikovanju diplomske naloge v novem programskem orodju \LaTeX ,*
- *vsi profesorji, ki so v štirih letih delili z mano lastne izkušnje, koristna navodila ter vse ostale pozitivne smernice,*
- *sestra Anja in njen mož Črt za svetovanje ter*
- *moja družina za podporo med študijem.*

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
Namen raziskave	2
Cilj raziskave	2
Delovne hipoteze	2
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1 Ekološko recikliranje bioloških odpadkov ali kompostiranje	3
2.2 Uporaba komposta in vplivi na okolje	4
2.3 Kompostni proces	5
2.3.1 Substrati	5
2.3.2 Razmerje med ogljikom in dušikom	6
2.3.3 Mikroorganizmi v kompostu	7
2.3.4 Faze kompostnega procesa in termodinamika kompostiranja	8
2.3.5 Zračenje in ustrezna koncentracija kisika v kompostniku	9
2.3.6 Vlažnost komposta	10
2.3.7 pH vrednost komposta	10
2.3.8 Masna bilanca	11
2.3.9 Zrelost in stabilnost komposta	11
2.3.10 Fitotoksičnost komposta	12
2.3.11 Elektroprevodnost komposta	12
2.3.12 Prisotnost težkih kovin	12
2.4 Pospeševanje kompostiranja s posipom za biološke odpadke	14

2.5	Avtomatski kompostnik	16
2.5.1	Namen uporabe avtomatskega kompostnika	16
2.5.2	Sestavni deli avtomatskega kompostnika	17
2.5.3	Tehnične lastnosti avtomatskega kompostnika	18
2.5.4	Načini delovanja avtomatskega kompostnika	18
2.5.5	Namestitev avtomatskega kompostnika	19
2.5.6	Polnjenje in praznjenje avtomatskega kompostnika	20
3	MATERIALI IN METODE DELA	23
3.1	Poizkusi na avtomatskem kompostniku	23
3.1.1	Mesto izvajanja poizkusov	23
3.1.2	Trajanje poizkusov	23
3.1.3	Izbira načina kompostiranja	24
3.1.4	Uporabljeni substrati in dodatki	24
3.2	Vzorčenje komposta	26
3.3	Izvajanje fizikalnih in kemijskih meritev	27
4	REZULTATI	31
4.1	Masna bilanca	31
4.2	Temperatura	32
4.3	Koncentracije kisika v kompostu	33
4.4	pH komposta	34
4.5	Koncentracija organskih in anorganskih snovi v kompostu	35
4.6	Vlažnost komposta	35
4.7	Elektroprevodnost komposta	36
4.8	Kalitveni test	37
4.9	Vizualne spremembe komposta med posameznimi poizkusi	38
4.10	Barva komposta	40
4.11	Vonj komposta	40

4.12 Hranila v kompostu	40
4.13 Koncentracija težkih kovin	42
4.14 Vlažnost kletnega prostora	42
5 RAZPRAVA	45
5.1 Masna bilanca	45
5.1.1 Odlaganje odpadkov	45
5.1.2 Masa pridobljenih snovi	45
5.2 Temperatura	47
5.3 Koncentracija kisika v kompostniku	48
5.4 Vonj komposta	49
5.5 Vlažnost komposta	49
5.6 Velikosti delcev komposta	50
5.7 Barva komposta	51
5.8 Hitrost razgradnje odpadkov	51
5.9 Elektroprevodnost komposta in kalitveni test	51
5.10 Preživetje patogenih mikroorganizmov	52
5.11 Razmerje C/N	53
5.12 Težke kovine	53
5.13 Fizikalna onesnaževala	54
5.14 Zrelost in stabilnost komposta	54
5.15 Uporaba pridobljenega komposta	54
5.16 Težave in priporočila	55
6 SKLEPI	57
7 ZAKLJUČEK	59
VIRI	61

KAZALO PREGLEDNIC

2.1	Največje dovoljene vrednosti težkih kovin v kompostu [40]	13
3.1	Količine odloženih substratov in dodatkov za posamezen dan (P1)	25
3.2	Količine odloženih substratov in dodatkov za posamezen dan (P2)	25
3.3	Masa odloženih substratov in dodatkov	26
3.4	Metode določevanje skupnega ogljika, dušika in fosforja	29
3.5	Metode določevanja težkih kovin	30
4.1	Masa pridobljenega komposta	31
4.2	Masa in pH vrednost pridobljene tekočine	32
4.3	Vsebnosti anorganskih in organskih snovi (P1)	35
4.4	Vsebnosti anorganskih in organskih snovi (P2)	35
4.5	Spremembe vlažnosti komposta	36
4.6	Spremembe elektroprevodnosti	36
4.7	Masa prirasta vrtno kreše	37
4.8	Spremembe koncentracij hranil (P1)	40
4.9	Spremembe koncentracij hranil (P2)	41
4.10	Meritve težkih kovin	42
5.1	Masa pridobljenega komposta	45

KAZALO SLIK

2.1	Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition [31]	16
2.2	Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition in sestavne komponente [31]	17
4.1	Potek zunanjih temperatur	32
4.2	Potek temperatur v kompostniku	33
4.3	Spremembe koncentracij kisika	34
4.4	Spremembe pH komposta	34
4.5	Kalitveni test (Poizkus P1)	37
4.6	Kalitveni test (Poizkus P2)	37
4.7	Odlaganje odpadkov (Poizkus P1)	38
4.8	Odlaganje odpadkov (Poizkus P2)	38
4.9	Kompost (Poizkus P1)	38
4.10	Kompost (Poizkus P2)	38
4.11	Kompost (Poizkus P1)	39
4.12	Kompost (Poizkus P2)	39
4.13	Delci komposta (Poizkus P1)	39
4.14	Delci komposta (Poizkus P2)	39
4.15	Spremembe vlažnosti kletnega prostora	43

1 UVOD

Biološki odpadki iz gospodinjstva so odpadki naravnega izvora. Sodijo med hitro razgradljive odpadke [4]. Zanje je značilno, da so nestabilni [4], ker razpadajo ob prisotnosti kisika ali brez njega. Ko so pomešani skupaj z ostalimi gospodinjskimi odpadki (plastične vrečke, pločevinke, steklo, ostanki zdravil itd.) so nekoristni in neuporabni. Pomembno je, da jih ustrezno ločujemo in tako povečamo možnost nadaljnje predelave. Biološko razgradljivi odpadki iz gospodinjstva so koristen material in ne odpadki, ki jih lahko nadalje obdelujemo na preprost način, brez posebnih naprav ali strojev. Pomembno je poudariti, da se jih glede na ostale odpadke najlažje in povsem enostavno razgrajuje. Predelujemo jih lahko doma, brez dodatnih stroškov prevoza ali drugih oblik prenašanja. Poleg tega jih po predelavi lahko koristno uporabimo npr. v kmetijstvu, vrtnarstvu, živinoreji, gradbeništvu itd.

Najbolj učinkovito rešitev [4] za zmanjšanje bioloških odpadkov iz gospodinjstva predstavlja proces kompostiranja. Kompostiranje velja za najbolj ekološki način razgradnje bioloških odpadkov. Gre za naravni, aerobni proces, pri katerem mikroorganizmi pretvarjajo organske snovi v biološko neoporečen, humusu podoben kompost. [4] Končni produkt je koristen material, ki ne predstavlja obremenitve za okolje, temveč pomeni rodovitno prst za bogatenje tal.

V vaških naseljih biološki odpadki iz gospodinjstva običajno ne predstavljajo težav. Nekateri jih odlagajo na gnojni kup, drugi jih kompostirajo in jih na takšen ali drugačen način predelajo. Problemi nastajajo predvsem v mestnih predelih, v stanovanjskih četrtih, kjer biološki odpadki (zaradi visoke koncentracije prebivalstva) nastajajo v ogromnih količinah. Biološki odpadki prihajajo v kompostarno ali na odlagališča pogostokrat pomešani z ostalimi odpadki, kar izničuje možnost njihovega ločevanja in nadaljnje predelave. Idealna rešitev za odpravo omenjenih težav je avtomatski kompostnik.

Avtomatski kompostnik je inovativna naprava, z lepim, modernim izgledom. V primerjavi s klasičnim vrtnim kompostnikom zaseda manjši prostor in vrši proces kompostiranja zelo hitro. Napravo natančneje predstavljamo in podrobneje obravnavamo v nadaljevanju diplomskega dela. Na primeru razgradnje bioloških odpadkov iz kuhinje prikažemo potek dveh poizkusov. S pričujočimi poizkusi potrjujemo, da je predelava biorazgradljivih gospodinjskih odpadkov z avtomatskim kompostnikom zelo enostavna, hitra in kakovostna. Avtomatski kompostnik omogoča razgradnjo odpadkov in ponovno uporabo pridelanega organskega materiala blizu mesta njihovega nastanka. S tem zmanjšamo možnosti, da se v kuhinji nastali

biološki odpadki pomešajo med ostale odpadke ali pristanejo na neprimernem odlagališču.

Namen raziskave

Poglavitni namen raziskave je:

- razumeti delovanje avtomatskega kompostnika,
- proučiti proces razgradnje bioloških odpadkov iz gospodinjstva z avtomatskim kompostnikom,
- prikazati uporabnost avtomatskega kompostnika kot inovativno napravo za recikliranje bioloških odpadkov in
- ugotoviti v čem so prednosti sodobnega načina kompostiranja z avtomatskim kompostnikom v primerjavi s klasičnim načinom kompostiranja.

Dobljeni rezultati bodo v pomoč širši javnosti z vidika seznanjenosti z avtomatskim kompostnikom. Nekaterim bo lažja odločitev o morebitnem nakupu kompostnika, spet drugim pri razumevanju dejavnikov, ki vplivajo na proces kompostiranja.

Cilj raziskave

Neposredno iz namena raziskave izhajajo temeljni cilji raziskave, ki so:

- ugotoviti spreminjanje merjenih parametrov (mase, temperature, koncentracije kisika, pH, koncentracije organskih/anorganskih snovi, koncentracije hranil, vlažnosti, elektroprevodnosti, koncentracije težkih kovin) med razgradnjo bioloških odpadkov iz gospodinjstva v avtomatskem kompostniku,
- ovrednotiti učinkovitost dodajanja Biogen posipa za biološke odpadke v avtomatski kompostnik ter
- ugotoviti ustreznost pridelanega komposta za nadaljnjo uporabo.

Delovne hipoteze

Predpostavili smo:

- Kompostiranje z avtomatskim kompostnikom poteka hitreje od klasičnega načina kompostiranja.
- Dodajanje posipa za biološke odpadke pospeši proces kompostiranja.
- Pridobljeni kompost bo glede na analizo vsebnosti težkih kovin uvrščen v prvi kakovostni razred, t.j. kompost z neomejeno uporabo (Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla).

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Ekološko recikliranje bioloških odpadkov ali kompostiranje

Ekološko recikliranje bioloških odpadkov oz. kompostiranje je predelava bioloških odpadkov na okolju prijazen način ter njihova priprava za nadaljnjo uporabo.

Kompostiranje je naraven [10], aerobni proces biološke razgradnje in mineralizacije organskega materiala [18] [25]. Glavni končni produkt razgradnje so ogljikov dioksid, voda, minerali in stabilizirana organska snov (kompost) [18]. Bolj kot je pestra sestava začetnega materiala, bolj je bogata kompostna mineralno-organska materija.

Ustrezno pridelan kompost nima škodljivega ali motečega učinka na okolje in ga lahko zato namenimo nadaljnji uporabi. Nasprotje kompostnega procesa predstavljajo anaerobni procesi. Med takšne uvrščamo gnitje, alkoholno vrenje, kisanje . . .

Kompostiranje štejemo za naravno metodo recikliranja. Recikliranje kot tako pomeni postopek predelave, v katerem se odpadne snovi ponovno predelajo v proizvode, materiale ali snovi, za prvotni ali drug namen [41]. V primeru procesa kompostiranja, poteka razgradnja bioloških odpadkov s pomočjo naravno prisotnih mikroorganizmov [46], ki se hranijo z organskimi odpadki in jih preko metabolizma predelujejo v stabilno biomaso [10]. Primerni organski odpadki iz gospodinjstva, ki jih lahko uporabljamo za kompostiranje, so ostanki sadja in zelenjave, ostanki hrane in drugi podobni odpadki.

Proces kompostiranja je v naravi stalno prisoten. Zaradi koristnosti končnega produkta se je ta uveljavil v vsakdanji praksi človeka. Zgodovinsko gledano sega postopek kompostiranja že v daljno preteklost, v začetke človeške civilizacije in urbanizacije [21]. Že takrat so bili poznani postopki recikliranja, ko so naši predniki zbirali biološke odpadke in jih predelovali v gnoj, ki so ga kasneje uporabljali na poljih. O omenjenih aktivnostih pričajo jame za shranjevanje organskih odpadkov iz sumerskih mest (izpred 6000 let) in še danes ohranjena dobra praksa kompostiranja iz časov stare Kitajske (3000 let pr. n. št.) [21].

Proces kompostiranja je v primerjavi s fizikalno-kemijskimi postopki obdelave bioloških odpadkov (sežig, toplotna obdelava . . .) veliko bolj naraven, organizacijsko bolj preprost, pa tudi oprema in delovanje zah-

tevata manjši denarni vložek. Omenjena metoda recikliranja odpadnih snovi v svetu vse bolj prednjači. [21] V ta namen so se razvili številni sistemi in naprave za opravljanje procesa kompostiranja. Daleč najbolj znan nam je seveda klasičen način kompostiranja na vrtu ter dandanes se vse bolj uveljavljene modernejše metode (npr. kompostiranje z avtomatskim kompostnikom).

2.2 Uporaba komposta in vplivi na okolje

Uspešno pridelan kompost, ki je že dovolj zrel, je zaradi širokega spektra koristnosti vsekakor primen za nadaljno uporabo. Primarni cilj uporabe takšnega komposta je za potrebe gnojenja rastlin in izboljšanja kvalitete prsti. Kompost je namreč visokovredno naravno gnojilo, ki je nepogrešljivo na cvetličnih in zelenjavnih vrtovih, njivah, vinogradih, gredicah, zelenicah, sadovnjakih, za izboljšanje prsti okrog dreves in grmov, kot osnova pri postavitvi novega kompostnega kupa ... Ker nima neprijetnih vonjav, ga lahko uporabimo tudi za gnojenje sobnih in balkonskih rastlin. Pridelovalci hrane in vrtničarji se komposta radi poslužujejo, ker oskrbuje prst s hranili (ogljik, dušik, fosfor), organskimi snovmi ter koristnimi mikroorganizmi. Tla postanejo bolj rodovitna, kar ugodno deluje na dolgoročno plodnost rastlin. Obenem kompost v tleh veže nase strupene snovi iz zemlje in dviguje pH tal na idealno območje za rast rastlin [16]. Rastline so zato bolj zdrave in odporne na bolezni in škodljivce [35].

Poleg tega, da s kompostiranjem gnojimo rastline, izboljšujemo tudi fizične lastnosti prsti [16] [1]. Zemlja, ki je gnojena s kompostom ima boljšo agregacijo ter je bolj prezračena [11]. Ker jo mikroorganizmi rahljajo je zmanjšana njena zbitost. Rahla prst ima izboljšano sposobnost zadrževanja vlage. S tem blaži posledice suš ali vplive nizkih temperatur. Takšna prst daje rastlinam bistveno prednost-to je, da se rastline lažje ukoreninjajo, ker za to dejanje potrebujejo manj energije. Rastline postanejo stabilnejše [35]. Slednjo lastnost se zato pogostokrat izkorišča za preprečevanje erozije (talne, veterne in vodne), predvsem na strmih pobočjih, kjer je potrebno tla stabilizirati, utrditi z vegetacijo in na ta način preprečiti polzenje materiala [29] (npr. pri stabilizaciji cestnih ali rečnih brežin).

Hkrati se kompost uporablja pri obnovi same vegetacije na slabo rodovitnih tleh, rekultivaciji površin, kamnolomov, pridobivanju novih kmetijskih zemljišč, v primeru gradnje na mokriščih in tudi kot pokrivni oziroma vmesni sloj na odlagališčih odpadkov.

Pri procesu kompostiranja nastaja tudi tekoči stranski produkt, izcedna voda, ki je fermentirani ekstrakt komposta [32]. Ravno tako kot kompost, lahko izcedno vodo uporabljamo za gnojenje rastlin in izboljšanje kvalitete prsti. V izcedni vodi so prisotni koristni mikroorganizmi, ki zavirajo patogene na listih rastlin, zavirajo rast gliv in drugih bolezni v tleh. Izcedno vodo pogosto uporabljamo za namakanje ali zalivanje rastlin ter za škropljenje rastlinskih listov. Znano je tudi, da v tleh izboljšuje mikrobo diverzitetu, ki zagotavlja mikro in makro hranila, potrebna za uspešno rast rastlin. [30]

Uporaba komposta ne ogroža zdravja ljudi in ne povzroča onesnaženja narave. Zato ima uporaba komposta veliko okoljsko prednost pred uporabo alternativnih umetnih gnojil. Ker je kompost 100 % naravno gnojilo, omogoča ekološko in trajnostno kmetovanje, ki je v sožitju z naravo. Kompost je v primerjavi z umetnimi gnojili tudi cenovno ugodnejši. Pridelujemo ga lahko doma, povsem sami. [29]

2.3 Kompostni proces

Na potek kompostiranja v največji meri vplivajo [47]: razmerje med ogljikom (C) in dušikom (N), koncentracija vlage in kisika, velikosti delcev-odpadkov, pH in temperatura.

2.3.1 Substrati

Vsebinsko kompostnika sestavljajo substrati rastlinskega izvora. Na kompostnik lahko odlagamo [43]:

- a) Zeleni vrtni odpad, zlasti:
zdravo odpadno vejevje, trava, listje, stara zemlja lončnic, rože, plevel, sadje, lesni pepel,
- b) Kuhinjski odpadki:
zelenjavni in sadni odpadki vseh vrst, jajčne lupine, kavna usedlina, filter vrečke, pokvarjeni prehrambeni izdelki, kuhani ostanki hrane, papirnati robčki, brisače in papirnate vrečke.

Na kompostnik ne smemo odlagati odpadkov, ki se v okolju ne razgrajajo, ki poslabšajo kakovost komposta in vsebujejo nevarne snovi. Mednje spadajo: plastika, steklo, kovine, keramika, kosti, maščobe, ostanki tekstila, vsebin vrečk za sesalce, zdravila, oblanci in žagovina obdelanega lesa, mačji in pasji iztrebki, plenice. [43]

Organske odpadke moramo pred odlaganjem na kompostnik razrezati ali zdrobiti na manjše delce. Primerna velikost delcev je 10 cm ali manj [31] (ne v prah). Manjši delci imajo večjo skupno površino (kot nerazdrobljena celota) za naselitev organizmov in s tem omogočajo hitrejši potek kompostiranja [10]. Po kompostu se tudi enakomerneje razporejajo in ustvarjajo bolj izravnano aktivno celoto.

Tehnika pravilnega vrtnega kompostiranja (plasti kompostnega kupa)

Odpadke na vrtni kompostni kup odlagamo v določenem zaporedju. Najprej pričnemo (1) s plastjo grobega materiala, nanj odlagamo (2) kuhinjske in vrtno odpadke pomešane s strukturnim materialom (veje, zeleni obrez). Nato sledi še (3) plast vrtno prsti, listja ali trave. [41] V kompostnik nato izmenično odlagamo plasti kuhinjskih in vrtnih odpadkov (pomešanih s strukturnimi odpadki) ter plasti vrtno zemlje, listja ali trave, do višine 1,5 m. Na višini 1,5 m je priporočljivo, da se nalaganje na kompostni kup konča. Previsok kompostni kup se prične zaradi teže sesedati. Zaradi sesedanja prihaja do iztiskovanja zraka in nastanka anaerobnih pogojev, ki vodijo v gnitje biološkega materiala. [5]

(1) Plast grobega materiala

Plast grobega materiala je osnovna plast kompostnega kupa. V glavnem jo sestavljajo zdrobljene veje (debelejši ostanki grmovja, živih mej in slame), ki poskrbijo za dobro prezračevanje od spodaj in hkrati za dreniranje viška vode. Plast ima neposreden stik s tlemi, kar pomeni, da imajo tudi mikroorganizmi lažji prehod iz tal v kompostni kup. [41]

(2) Plast kuhinjskih in vrtnih odpadkov

Kuhinjski in vrtni odpadki morajo biti premešani s strukturnim materialom, t.j. razrezanimi ostanki lesnih vej. S tem se zagotovi dobro zračenje kompostnega materiala in nemoten potek procesa kompostiranja. [41]

(3) Plast vrtno zemlje, listja ali trave

To je pokrivni sloj, s katerim preprečimo neprijetne vonjave ter privabljanje neželenih živali (podgane, ptiči, muhe). [41] Pokrivni sloj ima obenem vlogo preprečitve uhajanja toplote iz kompostnika. Hkrati ščiti posamezne plasti pred poletno izsušitvijo in obilnimi padavinami.

Če nimamo na voljo dovolj materiala za pokrivanje odloženih odpadkov, lahko odpadke zagrebemo v notranjost kompostnika. [41]

Priporočen minimalni volumen kompostnega kupa je 1 m^3 (1 m x 1 m x 1 m). Takšna velikost zagotavlja dobro izolacijo kompostnega kupa, notranjost kompostnika se lahko ustrezno segreje in zadrži potrebno toploto za uspešno higienizacijo komposta. [16]

2.3.2 Razmerje med ogljikom in dušikom

Biološki odpadki na kompostniku so vir hrane in energije za mikroorganizme, ki opravljajo njihovo razgradnjo (bakterije, glive, praživali . . .). Bilanca hranil je v kompostniku določena z ustreznim ravnovesjem ogljika (C) in dušika (N) [10]. Razmerje C/N je eden izmed pomembnih dejavnikov, ki vplivajo na proces kompostiranja, kot tudi na lastnosti končnega produkta [22]. Optimalno razmerje C/N je od 25:1 do 30:1 [22] [10] [6].

Mikroorganizmi s svojim metabolizmom izkoristijo 30 delov ogljika za en del dušika. Če je razmerje C/N prenizko, prihaja do presežka dušika, ki se pretvarja v amonijev plin (amoniak) ter povzroča neprijetne vonjave [10]. V tem primeru razmerje C/N zvišamo in vzpostavimo na ustrezno raven z dodajanjem odpadkov z večjo vsebujejo ogljika-rjavi odpadki (papirnati robčki, jajčne lupine, suho listje, lesna masa itd.).

V primeru previsokega razmerja C/N je prisoten presežek ogljika. Ob takšnih pogojih se v kompostu zmanjša biološka aktivnost zaradi pomanjkanja dušika, ki predstavlja vir hrane za rast in razmnoževanje

mikroorganizmov. Posledično pride do nižje stopnje razgradnje organskega materiala. Razmerje C/N znižamo na ustrezno raven z dodajanjem odpadkov z večjo vsebnostjo dušika-zeleni odpadki (olupki sadja, solatni listi, pokošena trava itd.). [6]

2.3.3 Mikroorganizmi v kompostu

Mikroorganizmi so prisotni v odpadnem materialu in v atmosferi okrog kompostišča. [21] Število in vrste mikroorganizmov so odvisne od kompostnega materiala [17] in temperature. Glede odnosa do temperature se mikroorganizmi ločijo v tri skupine [21]:

1. Psihrofilni, optimalna temperatura pod 30 °C.
2. Mezofilni (najštevilčnejši), optimalna temperatura med 30 °C in 40 °C.
3. Termofilni, prisotni so med 45 °C in 90 °C z optimalno temperaturo med 50 °C in 60 °C.

Bakterije

Bakterije so enocelični mikroorganizmi, velikosti od 0,1 do 10 mikronov [21], ki v največji meri pripomorejo k razkroju substrata in dvigu temperature v kompostniku. V kompostnem kupu predstavljajo večino mikroorganizmov [28]. Raziskovalci pripisujejo bakterijam med kompostiranjem 80 - 90 % mikrobne aktivnosti [21]. 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 nizko in če je okolje zadosti vlažno. [21] Pri določenih kompostnih procesih, kot je kompostiranje komunalnih odpadkov, so na začetku bakterije celo pomembnejše od gliv. Če je temperatura v kompostniku pod 60 °C, se s pomočjo bakterij razgradi več kot 40 % trdnih snovi že v prvih sedmih dneh. [18]

Med pomembnejšimi bakterijami, ki sodelujejo v procesu kompostiranja so: aktinobakterije, aktinomycete, bakterije rodu *Bacillus* itd. [28].

Glive

Glive so heterotrofni organizmi [21] in veljajo za najbolj pomembne primarne razgrajevalce lignina in celuloze [28]. V substratih prevladujejo, če je razmerje C/N visoko (nad 30). [21] V začetni fazi kompostiranja glive tekmujejo z bakterijami za lahko dosegljive substrate, kot so sladkorji in proteini. Ker je maksimalna specifična rast bakterij večja od gliv, so glive kmalu v manjšini. [18]

Glive so prisotne v največjem številu, ko je v kompostniku zmerena temperatura in vlaga v nižjih koncentracijah. [28] Pri tem pa je pomembno, da kompostnik dobro prezračujemo in zagotavljamo dovoljšnjo koncentracijo kisika v njem, da lahko glive preživijo. [18]

Praživali

Praživali predstavljajo majhen delež mikrobne biomase v kompostu. V procesu kompostiranja imajo pomembno vlogo pri razgradnji organskih snovi, pri zatiranju bolezni in pri kroženju hranil (dušika). [28] Najbolj pogoste praživali, ki sodelujejo v procesu kompostiranja so migetalkarji (paramecij), korenožci (ameba) in bičkarji (euglena). [19]

2.3.4 Faze kompostnega procesa in termodinamika kompostiranja

Kompostni proces lahko razdelimo na štiri faze: (1) mezofilna faza, (2) termofilna faza, (3) faza hlajenja (druga mezofilna faza) in (4) faza zorenja. [18] Vsak uspešno razgrajen organski odpadek se kompostira preko vseh štirih faz kompostiranja in se tako pridela v koristen končni produkt-vrtno zemljo.

Trajanje posameznih faz je zelo različno in odvisno od temperature. Na temperaturo vplivajo številni dejavniki (vlaga, zračenje, odpadki, letni čas itd.), ki so med seboj soodvisni. Navadno je celoten proces kompostiranja v vrtnem kompostniku zaključen v roku 6. mesecev, lahko pa traja še dlje [5].

(1) Mezofilna faza (25-40 °C)

V mezofilni fazi poteka hitra razgradnja topnih in lahko razgradljivih spojin (sladkorji in proteini) [28] s pomočjo bakterij in gliv [18]. Na račun razgradnje (metabolizma mikroorganizmov) prične temperatura v kompostniku naraščati. Ko se temperatura dvigne nad 40 °C, termofilni mikroorganizmi nadomestijo mezofilne. [28]

Če so mehanski vplivi (kot je obračanje komposta) v času mezofilne faze majhni, se v kompostnem kupu lahko razvijejo pršice, stonoge in ostala mezofavna, ki v glavnem deluje kot katalizator kemijskih reakcij (pospeševanje). [18]

(2) Termofilna faza (35-65 °C)

Razgradnja organskih snovi pod vplivom termofilnih mikroorganizmov hitro napreduje dokler ni dosežena temperatura 62 °C. Termofilne glive imajo uspešno rast med 35 in 55 °C, medtem ko višje temperature zavirajo njihovo rast. Termotolerantne in termofilne bakterije so aktivne tudi pri višjih temperaturah. Kljub uničenju večine mikroorganizmov nad 65 °C, temperatura lahko naraste in prekorači 80 °C. Verjetno je, da to končno višanje temperature ne nastane zaradi mikrobne aktivnosti, temveč je efekt abiotičnih eksotermnih reakcij pri kateri so prisotni termperaturno stabilni encimi aktinobakterij. [18]

Termofilna faza je ena od najpomembnejših faz v kompostiranju. Visoke temperature omogočajo razgraditi mikrobom proteine, maščobe in kompleksne ogljikove hidrate (celuloza, hemiceluloza), večje strukturne molekule v rastlinah. Termofilna faza omogoča higienizacijo materiala, semen plevelov, ličink

insektov in patogenih organizmov (virusi, bakterije, glive, praživali in višji paraziti), ki so škodljivi človeku, živalim in rastlinam, na nivo, pri katerem ne predstavljajo več nevarnosti za zdravje [18] [28]. Za higienizacijo so pomembne tudi aktinobakterije zaradi proizvodnje antibiotikov [18].

Termofilna faza se prične zaključevati, ko se razpoložljivost organskih snovi v kompostniku zmanjša. Temperatura se prične zaradi manjše aktivnosti mikroorganizmov zniževati. [28]

(3) Faza hlajenja (druga mezofilna faza)

Termofilne mikroorganizme nadomestijo mezofilne bakterije in glive, ki razgrajujejo preostali škrob in celulozo [18].

(4) Faza zorenja

Med fazo zorenja se v kompostniku zmanjša kakovost substrata (izčrpanje substrata). Spremeni se mikrobiološka sestava prisotne združbe. Poveča se delež gliv in zmanjša delež bakterij. Prevladujoče postanejo težko razgradljive snovi (ligninsko-humusni kompleks). [18]

2.3.5 Zračenje in ustrezna koncentracija kisika v kompostniku

Uspešen potek kompostiranja je pogojen tudi z ustrešno koncentracijo kisika v kompostnem kupu. Kisik je nujno potreben za rast, razmnoževanje in dihanje prisotnih aerobnih organizmov. Optimalna koncentracija kisika v sredini kompostne mase je med 15-20 % [6]. V primeru, da koncentracija kisika v sredini kompostnega kupa pade pod mejo 15 %, pričnejo prevladovati anaerobni mikroorganizmi. V takšnih primerih prihaja v kompostnem kupu do nezaželene anaerobne respiracije in fermentacije [6].

Potrebe po kisiku so v začetku kompostiranja minimalne, kasneje se zaradi aerobne razgradnje, rasti mikrobne populacije in večanja hitrosti reakcij povečujejo. Največja potreba po svežem in hladnejšem zraku je pri najvišji temperaturi. Takrat se zrak porablja tudi za hlajenje mešanice. Potrebe za hlajenje so v tem času povprečno 10x večje kot potrebe za oksidacijo organskih snovi. [21] V kompostniku zagotovimo ustrezno prezračevnost in s tem ustrešno koncentracijo kisika s premetavanjem in obračanjem celotne kompostne mase. Organsko maso, ki je v nižjih predelih, dvigujemo v višje predele in obratno. S tem v kompostni masi povečamo število zračnih por.

V kompostnem kupu med razgradnjo organskih snovi poteka tudi deformacija (sprememba oblike) organskih delcev [6]. Posledično se kompostni kup seseda, zmanjšuje se tudi delež zračnih por. Iztiskovanje zraka ter morebitno anaerobno okolje lahko preprečimo že v začetku sestavljanja komposta, tako, da med posamezne sloje postavljamo vejice drevja in grmičevja, večje lesene odpadke ali slamo. Ti odpadki potrebujejo več časa, da se razgradijo in sesedejo, zato med njimi ostaja več prostora skozi

katerega lahko prodira sveži zrak.

Ustrezno koncentracijo kisika v kompostnem kupu zagotavljamo tudi s posebnimi napravami za avtomatsko vpihovanje zraka ali vsesavanje zraka skozi kompostno maso [21].

2.3.6 Vlažnost komposta

Vlaga je v kompostu nujno potrebna za mikroorganizme. Pomembna je za transport hranilnih snovi, ki so potrebne za fiziološke in presnovne aktivnosti mikroorganizmov [23] [22] ter za lažjo razgradnjo substratov [16].

Optimalna vlažnost v kompostu je odvisna od fizikalno-kemičnih in bioloških lastnosti materiala, ki se kompostira. [23] V začetku kompostiranja je koncentracija vlage navadno višja, nad 60 %. Med procesom kompostiranja se zaradi aktivnosti mikroorganizmov in visokih temperatur vlaga znižuje. Splošno priporočilo je, da vzdržujemo vlago med 40 % in 65 % [10]. Na koncu kompostnega procesa pa naj bi bila vsebnost vlaga nižja, z namenom preprečitve nadaljne biološke aktivnosti v že biološko stabiliziranem materialu. [6]

Pri previsoki vlažnosti komposta se material zleplja v skupke, kar povzroči zmanjšan pretok kisika skozi kompostni kup in manjši delež zračnih por. Pomanjkanje kisika povzroča anaerobne razmere. Takšen proces razgradnje je počasen in dobljeni končni produkt ni kakovosten. Moker kompost uravnotežimo s prezračevanjem kompostnega kupa [23] ali z dodajanjem suhega materiala. Suhi material je sposoben vpiti odvečno vlago [21] (suha žagovina, papirnati robčki in vrečke, slama itd.) in ob enem daje strukturnost kompostni mešanici (ohranjanje zračnih por med delci komposta). [6]

Pomanjkanje vlage pomeni zgodnjo dehidracijo kompostne mase. Pri 8 % do 12 % vlage preneha tudi mikroba aktivnost [6] in aktivna razgradnja. Suho kompostno maso uravnotežimo na primerno vlažnost z dodajanjem vode [10].

2.3.7 pH vrednost komposta

Kompostna masa ima sorazmerno nizko pufersko sposobnost, zato se med kompostiranjem pH močno spreminja. Najprej (mezofilna faza) se pH znižuje zaradi intenzivne produkcije CO₂ in organskih kislin (predvsem mlečne in očetne). Vzporedno z višanjem temperature (termofilna faza) se pojavijo termofilni amonifikatorji, ki proizvajajo amonijak (baza). pH se zato zviša. V tretji oz. četrti fazi, ko postane razmerje C/N nizko so reakcije počasnejše. Del amoniaka (NH₃) izhlapi v zrak, del pa ga porabijo mikrobi za biosintezo. Na koncu kompostnega procesa se pH ustali pri vrednostih med 7 in 8 pH. [21]

Optimalen razpon pH vrednosti za uspešen proces kompostiranja znaša med 5,5 in 8,0 pH[6]. Previsoke in prenizke vrednosti pH zavirajo mikrobnost aktivnost [23]. Bakterije bolje uspevajo v nevtralnem pH, medtem ko imajo glive raje kislo okolje. [6] Neustrezen pH zato povzroča počasnejšo razgradnjo odpadkov [23], neprijetne vonjave, nižjo kvaliteto komposta in težave pri doseganju visokih temperatur za potek higienizacije komposta. [37]

Vrednosti pH komposta lahko med procesom uravnavamo na primerno raven (višanje puferske kapacitete oz. sposobnosti). Če so vrednosti pH prenizke, dodajamo v kompost drobljene jajčne lupine ali puferske snovi (npr. sodo bikarbono [31], drobljeni apnenec [35]), medtem ko previsoke vrednosti pH uravnavamo z dodajanjem kislih odpadkov, z aluminijevim sulfatom ali žveplovo kislino [16].

2.3.8 Masna bilanca

Odloženi odpadki imajo določeno strukturo in dajejo kompostnemu kupu značilno obliko. Zaradi procesa razgrajevanja odpadkov, je na koncu kompostnega procesa dobljena masa popolnoma spremenjena, neprepoznavna, sesedena in posušena. Volumsko in masno je končnega produkta manj v primerjavi z začetnim. Glede na podatke iz literature se v procesu kompostiranja masa in volumen organskih odpadkov zmanjšata za 50 % ali več ([10] [18] [23]).

Poleg komposta dobimo na koncu kot stranski produkt kompostiranja tudi izcedno vodo. V primeru kompostiranja sadja in zelenjave, dobimo tekočine več, ker so odpadki precej vlažni, medtem ko pri kompostiranju posušenega listja in drugih suhih odpadkov, je nastane manj.

2.3.9 Zrelost in stabilnost komposta

Cilj kompostiranja je pridobiti zrel in stabilen kompost. Ustrezen kompost je drobljiva mešanica, temnorjave do črne barve, ki ima prijeten svež vonj po zemlji in gozdu. Izvornega materiala v njem ne moremo več opredeliti. Nova vsebina je po videzu enotna [29], krhka, na otip rahlo vlažna in ohlajena na temperaturo okolice [18].

Po mnenju raziskovalcev ([6]) je priporočljivo opravljati teste zrelosti in stabilnosti komposta, ker nam sam videz komposta ne daje vedno realnega stanja. Čeprav je izgled komposta lahko primeren (barva, vonj itd.), ni nujno, da je kompost stabilen. Ustrezeni produkt je bistven pri nadaljni uporabi in preprečevanju širjenja obolenj na rastline, prst in tudi človeka. Predlagane metode za določanje stabilnosti komposta so sledeče [6]: končni padec temperature, zmožnost samoogrevanja, količina razgradljivih in nerazgradljivih organskih snovi v materialu, poraba kisika idr.

2.3.10 Fitotoksičnost komposta

Pri gnojenju tal se je potrebno izogniti toksičnim učinkom na okolje, posebno če uporabljamo komunalno goščo, kompostirane organske odpadke, tekoča gnojila in druge substrate za gnojenje rastlin. Organizmi, ki so takoj in najbolj vidni na udaru toksinov, so višje rastline. Zato je fitotoksičen vpliv določenih materialov lahko uporaben kot indikator, če ni drugih vidnih vzrokov za propad rastlin. Fitotoksičnost je definirana kot zamik kalitve semena, inhibitor rasti rastlin ali kakršenkoli negativni učinek na rastline, povzročen zaradi specifičnih substanc (fitotoksinov). [17] Analizo fitotoksičnosti komposta se izvaja na koncu kompostnega procesa, ko predvidimo, da je kompost zrel in stabilen ter primeren za uporabo.

Med primerne metode za ugotavljanje fitotoksičnosti komposta sodijo biološke metode. Čeprav so biološke metode dolgotrajne, veljajo za najbolj zanesljive pokazatelje primernosti komposta za rast rastlin. Fitotoksičnost se ocenjuje s primerjavo kaljenja in rasti hitro rastočih testnih rastlin (kreša, solata, fižol, kuruza ...) v substratu z in brez dodatka komposta. [21]

2.3.11 Elektroprevodnost komposta

Elektroprevodnost (EC) je pokazatelj skupne vsebnosti topnih soli oziroma kationov in anionov v vodni raztopini.[21] Višja je koncentracija soli, večja je elektroprevodnost. Prevelike vsebnosti soli v kompostu ($EC > 3,0$ mS/cm) negativno vplivajo na kalitev semen [21]. V primeru gnojenja rastlin s takšnim kompostom prihaja do t.i. ožiga, kar se izkaže kot venenje konic in robov listov. Rastline so zato tudi bolj izpostavljene raznim okužbam in boleznim [35].

2.3.12 Prisotnost težkih kovin

Težke kovine (baker, cink, kadmij, krom, nikelj, svinec, živo srebro ...) spadajo med pomembnejša onesnaževala okolja. Znano je, da težke kovine prispejo v okolje tudi s kompostom (v primeru kompostiranja komunalnih gošč [44] ali zaradi vsebnosti tiskanega papirja v kompostu). Mnogokrat zato obstajajo številni pomisleki in zaskrbljenosti glede njihovega vstopanja v prehrambeno verigo živilskih pridelkov, kjer je kompost uporabljen kot gnojilo [8]. V ta namen je bila leta 2008 v Sloveniji sprejeta Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov (Ur. l. RS, št. 62/2008), ki določa način ravnanja pri obdelavi biološko razgradljivih odpadkov ter pogoje za njihovo uporabo [40].

Po omenjeni Uredbi o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov poznamo naslednje razrede uporabnosti komposta: 1. razred - kompost z neomejeno uporabo, 2. razred - kompost z omejeno uporabo in 3. razred - kompost za neketijsko uporabo. Razredi uporabnosti komposta in meje vsebnosti posameznih kovin v komposti so prikazani v preglednici 2.1.

Preglednica 2.1: Največje dovoljene vrednosti težkih kovin v kompostu [40]

Parameter	Kompost z neomejeno uporabo (1. razred)	Kompost z omejeno uporabo (2. razred)	Kompost za neketijsko uporabo
	[mg/kg s.s.]	[mg/kg s.s.]	[mg/kg s.s.]
Baker [Cu]	70	300	600
Cink [Zn]	200	1200	2000
Kadmij [Cd]	0,7	2	5
Krom [Cr]	70	150	500
Nikelj [Ni]	25	70	80
Svinec [Pb]	45	100	500
Živo srebro [Hg]	0,4	2	5

2.4 Pospeševanje kompostiranja s posipom za biološke odpadke

Kompostni proces pospešujemo z namenom, da se organski odpadki hitreje razgradijo in predelajo v humus.

Posipi za biološke odpadke so biološko aktivne snovi, sestavljene iz otrobov pomešanih s sladkorno melaso ter oplemenitene s koristnimi, nepatogenimi učinkovitimi mikroorganizmi (EM), kot so mlečno-kislinske bakterije, kvasovke, glive in encimi aktivnih gliv [4].

V posipu za biološke odpadke so prisotni tako aerobni kot anaerobni organizmi. V Sloveniji je trenutno zelo aktualen Biogen posip za biološke odpadke (v tujini poznan kot Bokashi), ki ga proizvaja podjetje EM Tehnologija d.o.o. Promoviran je predvsem za kompostiranje bioloških odpadkov iz kuhinje. Za razliko od klasičnega kompostnika, odlagamo biološke odpadke vključno s posipom v kompostno posodo, v kateri vzpostavljamo anaerobne razmere. Zaradi anaerobnih razmer in prisotnih učinkovitih mikroorganizmov, se v kompostni posodi prične proces fermentacije. Fermentacija pomeni razgradnjo bioloških odpadkov v enostavne produkte (aminokisliline, alkohole, minerale, vitamine ...), ki jih rastline lažje absorbirajo [13]. Pri tem ne prihaja do nastanka neprijetnih vonjav [9]. V primerjavi s klasičnim kompostiranjem, se fermentacija vrši pod nižjimi temperaturnimi pogoji (do 30 °C). Zato prihaja v procesu razgradnje do manjših izgub hranil (dušik). Pri klasičnem kompostiranju se dušik v končni kompostni masi obdrži v zelo nizkih koncentracijah. Zaradi oksidnih pogojev se pretvarja v nitrat, ki z drenažo prehaja v tla. Poleg tega klasično kompostiranje spremljajo tudi visoke temperature, pri katerih se dušik pretvarja v amoniak, ki prehaja v ozračje.

V primeru anaerobnega kompostiranja z uporabo posipa za biološke odpadke (fermentacija) se dušik vgrajuje v organsko maso [13] in je kasneje na voljo rastlinam v večjih količinah. Hkrati se dušik zaradi anaerobnih pogojev med fermentacijo tudi ne oksidira in tako ne izgublja z drenažo.

Dobljen končni produkt anaerobnega kompostiranja s posipom za biološke odpadke je fermentirana organska masa, obogatena s hranili in minerali. V masi so odpadki spremenjeni-zmehčani in delno posušeni, vendar še vedno prepoznavni. Fizični razkroj v humusno obliko se zgodi šele z dodajanjem fermentirane mase v zemljo. S premešanjem fermentirane mase in zemlje, nastane humus, ki ima visoko vrednost in v primerjavi s klasično pridobljenim kompostom prispeva k večjemu donosu in boljši kakovosti pridelkov [36].

Pri kompostiranju odpadkov z uporabo posipa za biološke odpadke prihaja tudi do produkcije antibiotikov. Antibiotiki se s fermentirano maso prenašajo tudi v prst, kjer imajo zaviralni učinek na razvoj talnih patogenov in s tem rastlinskih bolezni. [13]Kompostiranje z dodajanjem posipa za biološke odpadke

je modernejša metoda pospeševanja kompostiranja. V znanstvenih krogih velja prepričanje, da je uporaba EM varna in trajnostna metoda, ki je tudi ekološko prijaznejša [36] [45] in daleč boljša od klasičnega kompostiranja. Razgradljive organske odpadke se zaradi zgoraj omenjenih prednosti shranjuje in prede-luje bližje njihovem izvoru (kuhinja, shramba, klet), brez neželenih stranskih učinkov in na povsem enostaven način [45].

Posip za biološke odpadke lahko uporabljamo tudi za pripravo komposta na vrtnem kompostniku. Z do-dajanjem posipa osvežimo mikrobno kulturo v kompostni masi. S tem pospešimo proces mineralizacije organskega materiala [15] in tako pospešimo proces klasičnega kompostiranja ter pridobivanje primerne humusne mase. Dodajanje koristnih mikroorganizmov povečuje vsebnost makro in mikro hranil v kom-postu. Kompost pridelan s pomočjo EM vsebuje več hranil (dušika, fosforja, kalija) in je koristnejši od tistega, kjer EM ne uporabljamo [26]. Takšen kompost nadalje povečuje mikrobiološko diverzitetu v tleh, pripomore k boljši kvaliteti in rodovitnosti tal ter boljši rasti rastlin. [26]

2.5 Avtomatski kompostnik

2.5.1 Namen uporabe avtomatskega kompostnika

Avtomatski kompostnik je naprava namenjena kompostiranju biološko razgradljivih odpadkov iz gospodinjstva. Razgradnjo bioloških odpadkov vrši avtomatsko. Od klasičnega vrtnega kompostnika se razlikuje v tem, da ima širši spekter uporabnikov, je hitrejša, priročna, bolj praktična in preprostejša za uporabo.

Na sliki 2.1 je prikazan avtomatski kompostnik, ki ga izdeluje podjetje NatureMill (model HC52 - PRO Edition).



Slika 2.1: Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition [31]

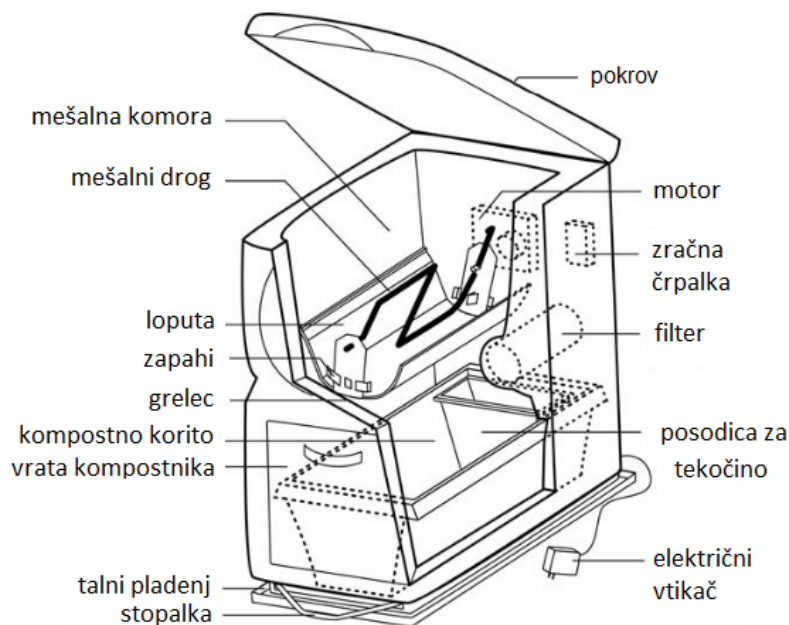
Glavna ciljna skupina uporabnikov avtomatskega kompostnika NatureMill, HC52 - PRO Edition, je prebivalstvo iz urbanih območij. Naprava je zato manjših dimenzij, da jo lahko lažje umestimo v stanovanjski prostor-kuhinjo, shrambo ... (več o tem v poglavju Namestitve avtomatskega kompostnika).

Avtomatski kompostnik je zelo priročen in praktičen. S svojimi lastnostmi lajša vsakodnevno odnašanje bioloških odpadkov iz stanovanja v zabojnik, na ekološki otok. Poleg tega je tudi izjemno preprost za upravljanje in uporabo. Po odlaganju odpadkov in izbiri načina kompostiranja omogoča kontrolirano mešanje, konstantno aeracijo in ohranjanje toplote znotraj kompostnika. Omenjene lastnosti bistveno pospešujejo hitrost procesa kompostiranja. V roku dveh tednov, (kar je precej hitreje od klasičnega kompostiranja) pridelamo sveži kompost. Dobljeni kompost (in tekočino, ki pri tem nastane) lahko namenimo zunanji uporabi, za gnojenje lončnic, zelenice, dreves ...

2.5.2 Sestavni deli avtomatskega kompostnika

Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition je zgrajen iz dveh komor. Zgornja komora je mešalna, medtem ko je spodnja odlagalna. V zgornji mešalni komori je nameščen mešalni drog, ki meša dodane odpadke. Ko napolnimo mešalno komoro do končne kapacitete, izberemo ustrezno funkcijo na nadzorni plošči, da se vmesna loputa dvigne in kompost strese v odlagalno komoro (kompostno korito). V odlagalni komori pustimo kompost še 3-5 dni [31], da dozori ter ga nato vzamemo ven.

Zgradbo avtomatskega kompostnika in njegove sestavne dele predstavlja slika 2.2, medtem ko je zasnova kompostnika - njegova velikost ter velikost posameznih delov priložena v prilogi C.



Slika 2.2: Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition in sestavne komponente [31]

mešalna komora	→	prostor v katerega odlagamo odpadke
mešalni drog	→	drog, ki meša odložene odpadke v mešalni komori
motor	→	služi vrtenju mešalnega droga
zračna črpalka	→	služi prepihanju zraka skozi mešalno komoro
zračni filter	→	filter za čiščenje zraka / preprečuje vstop mrčesa
nadzorna plošča	→	preklapljanje med načini kompostiranja
loputa	→	pregrada med mešalno komoro in kompostnim koritom
vrata kompostnika	→	odstranjevanje svežega komposta
kompostno korito	→	odlaganje nastalega komposta

2.5.3 Tehnične lastnosti avtomatskega kompostnika

Avtomatski kompostnik NatureMill, HC52 - PRO Edition je škatli podobno oblikovana konstrukcija, iz povsem recikliranih materialov [31] - plastike in nerjavečega jekla. Naprava je tehnično tako dovršena, da med samim delovanjem ne zahteva dodatnega dela ali drugih posegov. Potrebno je le ročno dodajanje odpadkov in ustreznih naravnih materialov (žagovine, naravne prsti, sode bikarbone) za vzpostavljanje ravnovesja v samem kompostniku [31].

Karakteristike kompostnika NatureMill, HC52 - PRO Edition

Velikost: 52 cm x 28 cm x 48 cm

Masa: 8 kg

Zunanost kompostnika: iz polipropilena

Notranje komponente: iz nerjavečega jekla

Barva kompostnika: črna, zelena, modra, rdeča, bela

Prostornina mešalne komore: 12 litrov

Prostornina kompostnega korita: 12 litrov

Delovanje

Načini kompostiranja: 1. hiter, 2. splošen, 3. ekonomičen

Vrtenje mešala: odvisno od načina kompostiranja (splošen način: vsake 4 ure po 6 minut)

Zračenje: stalno prezračevanje kompostne mase, v odvisnosti od načina delovanja

Hrup: tišje brnenje zračne črpalke

Razgradnja odpadkov

Zmanjšanje volumna odloženih odpadkov: 70 %

Zmanjšanje teže odloženih odpadkov: do 70 %

Vzdrževanje

Menjava zračnega filtra: na 5 let

Napajanje: 220 V

Potrošnja električne energije: približno 5 kWh na mesec (odvisno od načina kompostiranja)

2.5.4 Načini delovanja avtomatskega kompostnika

Pri kompostiranju z NatureMill, HC52 - Pro Edition imamo na voljo tri načine delovanja: hitro, splošno, in ekonomično. [31]

1. Hitro kompostiranje - *ang. Heavy Duty mode:*

Hiter način kompostiranja izberemo, ko v kompostnik odlagamo večje količine odpadkov, predvsem trših odpadkov. Ta način omogoča hitrejše obračanje mase, močnejše preprihovanje in ogrevanje ter s tem hitrejši razpad organskega materiala. Delovanje spremlja tudi višja stopnja hrupa.

2. Splošen/klasičen način kompostiranja - *ang. Regular mode*:

Splošen način je najpogosteje uporabljen način kompostiranja z avtomatskim kompostnikom. Namenjen je za vsakodnevno kompostiranje, z zmernim dodajanjem odpadkov, zmernim mešanjem, ogrevanjem in stopnjo pretoka zraka.

3. Ekonomično kompostiranje- *ang. Energy Save mode*:

Uporabljamo ga, če odpadkov ne dodajamo redno v kompostnik (v primeru daljše odsotnosti od doma) ali ko je kompost pogosto osušen. Razgradnja odpadkov je upočasnjena zaradi vrtenja mešalne lopute na daljše časovne intervale ter zaradi počasnega prezračevanja celotne vsebine. Ekonomičen način kompostiranja zmanjšuje porabo energije za 75 %.

2.5.5 Namestitev avtomatskega kompostnika

Avtomatski kompostnik ne zahteva posebnih namestitev. Enota stoji povsem samostojno in ne potrebuje dodatnega pritrdjevanja. Pomembno je, da jo postavljamo na ravna tla, z zadnjim delom vsaj 2,5 cm stran od stene. [31] Da ne mažemo okolice, jo postavljamo na talni pladenj. V pladnju se občasno zbere voda, ki nastane zaradi prekomerne vlažnosti znotraj enote in njenega uhajanja pod pokrovom kompostnika.

Enostavna oblika avtomatskega kompostnika bistveno poenostavlja možne načine umestitve enote v prostor. Večina lokacij postavitve ne predstavlja težav, zato lahko kompostnik postavljamo v zaprte prostore ali na prosto [31]. V primeru zaprtih prostorov se priporoča postavitve v kuhinjo, shrambo, na hodnik, v kotlovnico ali garažo. Izmed vseh naštetih so kuhinjski predeli (postavitev v stranski kot, ob omaro, v omaro ...) najbolj priročni. Kompostnik je na tem mestu izjemno lahko dosegljiv in najbližje območju nastajanja ostankov hrane.

Avtomatski kompostnik je zaprta posoda, ki pri pravilnem delovanju v okolico ne spušča neprijetnih vonjav. Posledično ne privablja insektov. Če se nam zaprti prostori ne zdijo primerni, imamo tudi možnost postavitve kompostnika na prosto. Lahko je to zunanja okenska polica, balkon, veranda, vrtna uta... Priporočeni so predvsem zunanji deli stanovanja, kjer je napajanje z električno energijo lahko dosegljivo in kjer ne pričakujemo ekstremnih vremenskih vplivov.

Ker je konstrukcija kompostnika iz polipropilenskega materiala, je notranjost zaščitena pred zunanjimi

vplivi. Zaščitena je pred nizkimi temperaturami okoliškega zraka ter pred vdorom padavinske vode v notranje predele. Kompostnik sicer deluje v širokem razponu sprememb zunanjih temperatur, od -18°C do 50°C . Zaradi vodotesnosti konstrukcije je po navedbah proizvajalca lahko izpostavljen tudi snegu in dežju [31]. V zimskem času, se zaradi nastopa nižjih temperatur proces kompostiranja delno upočasni, medtem ko je v toplejših mesecih ravno obratno. Zaradi višjih temperatur se razgradnja pospeši. Iz tega lahko sklepamo, da je postavitve kompostnika v notranjih prostorih primernejša. Tu so temperature višje oz. konstantne preko celega leta in zato se kompostiranje hitreje izvaja. Posledično zaradi hitre razgradnje odpadkov, prihranimo tudi na manjši porabi električne energije.

2.5.6 Polnjenje in praznjenje avtomatskega kompostnika

V avtomatskem kompostniku lahko recikliramo le biološko razgradljive odpadke. Primerni so [31]:

- sadje in zelenjava,
- testenine, kruh, piškoti, pecivo,
- mlečni proizvodi,
- mleta kava, čajni listi,
- meso, hrustanec, ribe in ribje kosti,
- jajca in jajčne lupine in
- ostanki limone, limete, pomaranče, grenivke, ananasa v omejenih količinah (2-3 kose na vsako polnjenje).

Pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom se moramo izogibati [31]:

- brokoli, cvetača in zelje - povzročajo močne vonjave,
- vlaknasti delci (olesenela stebela rastlin, lupina koruze, limonska trava, vlakna, sukanec, lasje in dlake) - lahko povzročijo zastoj kompostnika,
- trdi delci (koruzni storži, kosti mesa, koščice breskev, pluta, lupina jastoga in rakovice, orehove lupine ...) - se ne razgrajujejo,
- papir (časopisni papir, papirnati lončki, kavni filtri, čajne vrečke) - vsebuje nevarne kemikalije in povzroča neprijeten vonj,
- preobilne tekočine - lahko povzročijo plesen,
- umetni delci (plastika, kovina, steklo, guma, rabljene obveze, kemikalije, konzervansi, mila, kozmetika, zdravila ...).

Za vsako odlaganje ustreznih bioloških odpadkov je potrebno dodati tudi žagovino ter sodo bikarbono v sledečem razmerju [31]:

5 – 10 skodelic hrane [1, 3 – 2, 5 l ostankov hrane] + 1 skodelica žagovine [250 ml] + 15 ml sode bikarbone

Žagovina more biti suha, iz neobdelanega in nepobarvanega lesa. Za to so primerni lesni peleti (npr. NatureMill) in tudi oblanci iz okoliških lesno predelovalnih centrov. [31] Z žagovino uravnavamo vlago v kompostu, izboljšujemo njegovo kvaliteto in zmanjšujemo neprijeten vonj, ki nastane zaradi nepravilne sestave komposta in posledičnega gnitja. Z dodajanjem žagovine dodamo tudi potreben vir ogljika. [4]

S sodo bikarbono se pri kompostiranju uravnava pufersko kapaciteto in s tem kislost komposta. [4] Soda bikarbona je natrijev hidrogenkarbonat (NaHCO_3), beli prah, ki se ga dandanes uporablja v kuhinji, v zdravstvu, za čiščenje, osebno higieno ipd. predvsem za nevtraliziranje kislin.

Aktivacija kultur v kompostniku

Ob prvem kompostiranju z avtomatskim kompostnikom je potrebno v njem aktivirati naravne kompostne mikrobiološke kulture, ki razgrajujejo odložene odpadke. To storimo tako, da poleg organskih odpadkov, žagovine in sode bikarbone, dodamo v kompostnik tudi naravno prst (zunanja vrhnja plast prsti), v kateri živijo mikroorganizmi, ki opravljajo proces razgradnje organskih snovi. Dodati je potrebno 500 ml. [31]

Po aktivaciji kompostnih kultur lahko v kompostnik odlagamo ostanke hrane kadarkoli želimo. V naslednjih tednih aktivacija organizmov ni več potrebna, ker lahko zemljo nadomestimo z že pridelanim kompostom, ki vsebuje željene organizme.

Prenos komposta

V avtomatski kompostnik lahko odložimo 8-15 litrov bioloških odpadkov tedensko (idealno za 5 člansko družino). [31] Seveda pa je polnjenje odvisno od izbranega načina delovanja kompostnika (hiter, splošen in ekonomičen način).

Ko je mešalna komora polna, se na nadzorni plošči vklopi lučka *Full*. S pritiskom na gumb *ang. Push to Transfer*, prenesemo kompost iz mešalne v odlagalno komoro (kompostno korito). V odlagalni komori ga pustimo še 3-5 dni, kjer se prične še zadnji del kompostnega procesa. V tej stopnji so v kompostu bolj aktivne aktinomicete [4]. Kompost izgublja vlago in dozoreva v pravi kompost.

Medtem ko imamo kompost v odlagalni komori, lahko nove kuhinjske bioodpadke nemoteno odlagamo v mešalno komoro. [4]

3 MATERIALI IN METODE DELA

3.1 Poizkusi na avtomatskem kompostniku

V okviru diplomskega dela smo izvedli dva poizkusa (prvi poizkus **P1** in drugi poizkus **P2**), z namenom proučiti delovanje avtomatskega kompostnika, poteka razgradnje bioloških odpadkov in ugotoviti učinkovitost izvajanja kompostnega procesa.

3.1.1 Mesto izvajanja poizkusov

Avtomatski kompostnik smo želeli postaviti v prostor, kjer se temperatura in vlažnost spreminjata zelo počasi. S tem bi zagotovili zelo podobne pogoje za oba poizkusa in zmanjšali morebitna odstopanja in razlike, ki bi nastali zaradi vpliva zunanjih dejavnikov.

Avtomatski kompostnik smo postavili v klet stanovanjske hiše, v Škrbini pri Komnu (priloga B). Klet je v celoti vkopana v zemljo. Tla v kleti so betonirana, na stenah so položene keramične ploščice. Ker je prostor večino časa zaprt, se temperatura in vlažnost v njem spreminjata zelo počasi (v primerjavi z ostalimi višje ležečimi prostori stavbe).

3.1.2 Trajanje poizkusov

Poizkusa P1 in P2 sta trajala enako dolgo, vsak po 15 dni. Poizkus P1 je potekal v obdobju od 29.3.2014 do 12.4.2014, poizkus P2 pa v obdobju od 6.4.2012 do 20.4.2014. Pri obeh poizkusih smo v avtomatski kompostnik odlagali odpadke prvih 6 dni. Ker 7. in 8. dan odpadki še niso bili razgrajeni, smo jih pustili v mešalni komori kompostnika do 9. dne. 9. dan smo pridobljeno kompostno maso stresli iz kompostnika v kompostno korito (v našem primeru plastično posodo) in jo pustili v njej do 15. dne.

Po navodilih proizvajalca kompostnika je predvideno zadrževanje komposta v kompostnem koritu od 3 do 5 dni (v naših primerih 11. in 13. dan poizkusov). Zaradi kontrole in dodatne primerjave poteka kompostnega procesa smo zadrževanje podaljšali še za dva dni (v naših poizkusih do 15. dne).

3.1.3 Izbira načina kompostiranja

Odločili smo se za vsakodnevno odlaganje odpadkov v avtomatski kompostnik, v zmernih količinah (480 g). Organski odpadki so bili mehki, brez trših delcev, ki smo jih pred odlaganjem še dodatno razrezali na manjše koščke. Po navodilih proizvajalca avtomatskega kompostnika je za takšno odlaganje in sestavo odpadkov primeren splošen način kompostiranja (*ang. Regular mode*). Splošen način kompostiranja smo uporabili tudi mi.

Odpadke, ki smo jih odlagali v kompostnik so bili zaradi uporabe splošnega načina kompostiranja zmerno premešani, preprihovani in ogrevani.

3.1.4 Uporabljeni substrati in dodatki

Za osnovno sestavino oz. substrat smo pri poizkusih uporabili odpadne organske snovi iz kuhinje. Dodatki, ki smo jih osnovni sestavini prilagali so bili: žagovina, soda bikarbona ter posip za biološke odpadke (samo v P1).

Podrobnosti o uporabljenih substratih in dodatkih:

- Odpadne organske snovi:

Za oba poizkusa smo organske ostanke pridobili v domači kuhinji. Uporabljeni so bili naslednji odpadki: zelenjava (radič, regrat, korenje, peteršilj, kumare, fižol, paprika, repa, paradižnik, krompir, bučke, beluši, čebula, česen in gobe), sadje (banane, jabolka, marelice, slive, hruške), testenine, riž, kruh, koruzni kosmiči, ribje kosti, koščki sira, koščki kuhanega mesa, jajčne lupine, usedlina pri kuhanju črne kave ter šipek in čajne zeli.

Prevelike odpadke smo razrezali na manjše koščke, na priporočeno velikost (do 10 cm). Z zmanjšanjem smo povečali hitrost in učinkovitost njihove razgradnje (povečanje površine na enoto volumna) ter preprečili morebiten zastoj avtomatskega kompostnika. [31] Ob vsakem odlaganju smo jih razporejali po celotni odlagalni površini, da so se čim bolj premešali z ostalimi odpadki.

- Lesni peleti:

Uporabljali smo lesne pelete podjetja Gimborn. Peleti Gimborn so popolnoma naravni, izdelani na osnovi prešanih lesnih vlaken. Imajo visoko kapaciteto vpijanja tekočine. [12] Povprečna velikost peletov je bila 1-3 cm in premer 0,6 cm. Peleti so bili brez vonja in se niso prašili.

- Soda bikarbona:

Po vsakem odlaganju odpadkov smo sodo bikarbono potresali po kompostni masi, da bi nevtrali-

zirali vplive kislih odpadkov (regulator kislosti) in s tem preprečili nastanek neprijetnih vonjav. Uporabljali smo sodo bikarbono proizvajalca Podravka d.d.

- Posip za biološke odpadke:

V poizkusu P1 smo za kompostiranje uporabili naravni organski posip za biološke odpadke-Biogen, proizvajalca EM Tehnologija d.o.o. Sestavljajo ga različni biogeni materiali, sladkorni sirup, koristni učinkoviti mikroorganizmi in minerali. Posip ne vsebuje gensko spremenjenih mikroorganizmov. [7].

Dnevni potek odlaganja substratov in dodatkov:

Pri odlaganju substratov in dodatkov smo upoštevali navodila proizvajalca avtomatskega kompostnika ([31]). Količine dnevno odloženih substratov in dodatkov prikazujemo v preglednicah 3.1 in 3.2, za vsak poizkus posebej.

Preglednica 3.1: Količine odloženih substratov in dodatkov za posamezen dan (P1)

Zap. dan	Količine substratov in dodatkov
1 - 6	480 g bioloških odpadkov + 160 g peletov + 15 g sode bikarbone + 25 g posipa za biološke odpadke

Preglednica 3.2: Količine odloženih substratov in dodatkov za posamezen dan (P2)

Zap. dan	Količine substratov in dodatkov
1	480 g bioloških odpadkov + 160 g peletov + 15 g sode bikarbone + 140 g komposta iz poizkusa P1
2 - 3	480 g bioloških odpadkov + 160 g peletov
4 - 6	480 g bioloških odpadkov + 160 g peletov + 15 g sode bikarbone

Dnevno smo odlagali 480 g bioloških odpadkov, 160 g lesnih peletov in 15 g sode bikarbone. Za razliko od P2, smo v P1 po vsakem odlaganju odpadkov dodajali še 25 g Biogen posipa za biološke odpadke (po navodilih proizvajalca EM Tehnologija d.o.o.). Za takšno zasnovo poizkusa P1 smo se odločili, ker smo želeli ugotoviti vpliv dodajanja posipa za biološke odpadke na hitrost procesa kompostiranja ter njegov vpliv na samo kakovost končnega produkta.

Dodatna razlika med poizkusoma (v odlaganju substratov) je nastala zaradi predvidene aktivacije kompostnih mikroorganizmov. V poizkusu P1 ni bilo potrebno posebej skrbeti za aktivacijo kompostnih mikroorganizmov. Ti so bili prisotni že v Biogen posipu za biološke odpadke. Za aktivacijo mikroorganizmov smo morali dodatno poskrbeti v poizkusu P2. Zagotovili smo jih tako, da smo v kompostnik v prvem dnevu poizkusa dodali še 140 g komposta iz poizkusa P1 (3.2).

Zaradi kontrole nad procesom kompostiranja (meritve pH, temperatura), smo lahko vplivali na odlaganje

substratov in dodatkov. V P1 ni bilo potreb po zmanjšanju/dodajanju kompostnih dodatkov med procesom kompostiranja. Ustrezno smo morali ukrepati samo v poizkusu P2. Iz preglednice 3.2 je razvidno, da smo 2. in 3. dan poizkusa prekinili z odlaganjem sode bikarbone. Za takšen ukrep smo se morali odločiti, ker smo izmerili visok pH kompostne mešanice.

Skupna masa odloženih substratov in dodatkov:

Točne količine substratov in dodatkov, ki smo jih dajali v kompostnik prikazujemo v preglednici 3.3.

Preglednica 3.3: Masa odloženih substratov in dodatkov

	Poizkus P1	Poizkus P2
Masa odpadkov [g]	2880	2880
Masa peletov [g]	960	960
Masa Biogen posipa [g]	150	0
Masa sode bikarbone [g]	90	60
Masa že pridelanega komposta [g]	0	140
Skupna masa [g]	4080	4040

V poizkusih P1 in P2 smo v kompostnik odložili enako količino bioloških odpadkov (2880 g) ter peletov (960 g). Razlike so nastale predvsem pri odlaganju Biogen posipa, sode bikarbone ter pridelanega komposta. Skupna masa snovi, ki smo jih odložili v avtomatski kompostnik je znašala za P1 4080 g, za P2 4040 g.

Odloženi organski odpadki so bili dovolj vlažni, zato vode ni bilo potrebno dodajati.

3.2 Vzorčenje komposta

Vzorke komposta smo odvezemali 9., 11., 13. in 15. dan izvajanja poizkusov. Vzorčenje smo izvajali po metodi, določeni s standardom SIST EN 12579 iz Uredbe o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (priloga 3).

Potek vzorčenja:

Posamezne vzorce komposta smo odvezemali na več mestih. Združili smo jih v en vzorec. Ta vzorec smo dobro premešali in ga razdelili na četrtine. Dve nasproti ležeči četrtini vzorca smo zavrgli (dali nazaj v kompostnik), ostali dve četrtini vzorca smo ponovno zmešali. Postopek smo ponavljali dokler preostali četrtini vzorca nista zadostovali željeni količini zbirnega vzorca. [42]

Zaradi nerazpoložljivosti opreme, smo določene analize komposta opravljali v laboratoriju (na Zdravstveni fakulteti in na Inštitutu za zdravstveno hidrotehniko na FGG). V tem primeru smo vzorčenje komposta izvedli kot je opisano zgoraj, s to razliko, da smo kompost po odvzemu hermetično zaprli v steklene kozarce. Kozarce smo postavili v hladilnik, dokler nismo pričeli z izvajanjem laboratorijskih analiz.

3.3 Izvajanje fizikalnih in kemijskih meritev

V poglavju predstavljamo postopke izvajanja fizikalnih in kemijskih meritev. Nekatere meritve smo opravljali vsakodnevno (temperatura, koncentracija kisika, pH, vlažnost kleti), preostale samo določene dneve (tehtanje, določevanje organskih in anorganskih snovi, elektroprevodnost, skupni ogljik, dušik in fosfor, koncentracijo težkih kovin) (priloga A).

Masna bilanca

Masno bilanco vseh odloženih substratov in dodatkov ter dobljenih produktov, smo določevali s tehtnico Soehnle 65840.

Tehtanje dobljenega komposta smo izvajali 9., 11., 13. in 15. dan poizkusov. Maso dobljenega komposta smo merili tako, da smo 9. dan (ob prenosu komposta iz avtomatskega kompostnika v kompostno korito-plastično posodo) vsebino razdelili na dva dela. Prvi del smo uporabili za vzorčenje (za merjenje pH, določanje koncentracije organskih in anorganskih snovi, koncentracije hranil), medtem ko smo drugi del uporabili za spremljanje zmanjšanja mase komposta. Pri tem smo prevzeli, da odstotek zmanjšanja mase komposta (iz drugega dela) velja za celotno maso komposta.

Temperatura

Temperaturo smo merili s temperaturnim senzorjem LM35, proizvajalca Texas Instruments. Pri poizkusih smo uporabili dva takšna senzora. Z enim smo merili temperaturo okolice, z drugim temperaturo v kompostniku. Zunanji senzor smo pozicionirali na mizo, tik ob kompostniku, medtem ko smo notranji senzor pozicionirali v notranji del kompostnika (priloga B). Slednjega smo namestili v mešalno komoro, tik pod pokrov kompostnika, da se ni dotikal mešalnega droga.

Merjenje temperature po višini, v notranjosti kompostnika (t.j. po posameznih plasteh kompostne mase), ni bilo smiselno, ker je bil kompost mešan v rednih časovnih intervalih. Predvidevali smo, da je bila temperatura po vsej notranjosti kompostnika enaka.

Z merjenjem temperature smo pričeli že prvi dan, ob prvem odlaganju odpadkov v kompostnik. Temperatura smo merili dokler so bili odpadki še v mešalni komori (do 9. dne). Meritve so se izvajale avtomatsko, vsako minuto. Rezultati so se beležili na računalniku.

Koncentracija kisika

Merjenje koncentracije kisika v kompostniku smo izvajali s kisikovim senzorjem Vernier. Meritve smo izvajali vsakodnevno. Eno uro pred odlaganjem odpadkov smo senzor namestili v mešalno komoro, tik nad kompost. Iz vmesnika na katerem je bil kisikov senzor priključen, smo čez 30 minut odčitali koncentracijo kisika.

Vrednosti pH

Merjenje vrednosti pH komposta smo izvajali s pH senzorjem Vernier.

Vzorec komposta za merjenje pH smo pridobili po predpisanem postopku vzorčenja (poglavje 3.2). Najprej smo posamezne vzorce, ki smo jih odvzemali na več mestih, združili v en vzorec. Ta vzorec smo dobro premešali in razdelili na četrtine. Dve nasproti ležeči četrtini vzorca smo zavrgli (dali nazaj v kompostnik), ostali dve četrtini vzorca smo ponovno zmešali. Postopek smo ponavljali dokler preostali četrtini vzorca nista zadostovali količini zbirnega vzorca, 10 g. Nato smo vzorec prelili s 100 ml destilirane vode. Približno en dan smo ga pustili stati, da se je vzorec dobro omočil in nato smo v ekstrakcijski raztopini merili pH.

Meritve pH smo izpustili le prvi dan, ko smo odpadke in ostale substrate šele odlagali v kompostnik. Preostale dni so bili odpadki že mehansko obdelani in popolnoma premešani. Spremenjeni so bili v pravo kompostno maso, iz katere smo lahko odvzemali vzorce za izvajanje meritev pH.

Koncentracija organskih in anorganskih snovi (SIST ISO 11923)

Najprej smo žarilni lonček postavili v sušilnik na 105 °C. Po 20 minutah smo lonček vzeli iz sušilnika in ga postavili v eksikator, da se je ohladil na temperaturo okolice. Ko se je lonček ohladil, smo ga stehali in vanj dodali določeno količino vzorca komposta. Žarilni lonček z vsebino smo nato za tri ure prestavili v žarilno peč na 550 °C (organske snovi so pri tem zgorele, ostale so le anorganske v obliki pepela). Po treh urah smo žarilni lonček ponovno postavili v eksikator, da se je ohladil na temperaturo okolice. Po ohladitvi smo dobljeno vsebino stehali in določili koncentracijo anorganskih snovi. Po preračunu smo nadalje določili še koncentracijo organskih snovi (organske snovi [%] = 100% - anorganske snovi [%]).

Vlažnost komposta

Vlažnost komposta smo določevali z analizatorjem vlažnosti HB43-S (podjetja Mettler Toledo), po predpisanih navodilih proizvajalca. Meritve smo izvajali 9., 11., 13. in 15. dan poizkusov.

Elektroprevodnost komposta (SIST ISO 11265)

Vzorec komposta (10 g) smo z mlinčkom razsekali na zelo majhne delce. Ekstrahirali smo ga z destilirano vodo v razmerju 1:10 ter postavili na stresalnik (IKA-Werke GmbH & Co.KG). Po 24 urah smo

vzorec ekstrakta prefiltrirali (filtrirni papir Sartorius Stedim Biotech, 84 g/m², grade 389) in v ekstrakcijski raztopini merili elektroprevodnost. Elektroprevodnost (EC) smo merili s testerjem DiST 5 (HI 98311), podjetja Hanna Instruments. Meritve elektroprevodnosti smo izvajali 9., 11. 13. in 15. dan poizkusov.

Kalitveni test (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 zemlje in različnih dodatkih komposta, pridelanega po 15. dneh kompostiranja. Kontrolni substrat je bil iz čiste zemlje, testni substrati pa so imeli zemlji dodanih 15 %, 30 % in 45 % komposta (utežno). S testom smo določili fitotoksičnost. Substrat smo dali v cilindrične posodice (h=7 cm, d=11 cm), 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 stehali priraslo biomaso. [21]

Skupni ogljik, dušik in fosfor

Vzorec komposta (10 g) smo z mlinčkom razsekali na zelo majhne delce in ga za tem v ustreznih čašah ekstrahirali z destilirano vodo, v razmerju 1:100 (1000 ml H₂O). Čašo smo nato oddali na stresalnik (IKA-Werke GmbH & Co.KG) za 24 ur. Po 24 urah smo kompostni ekstrakt prefiltrirali (filtrirni papir Sartorius Stedim Biotech, 84 g/m², grade 389). Sledilo je spektrofotometrično določevanje vsebnosti hranil, s pomočjo kivetnih testov (preglednica 3.4).

Preglednica 3.4: Metode določevanje skupnega ogljika, dušika in fosforja

Parameter	Metoda	Oprema
Skupni ogljik (TOC)	EN 1484	spektrofotometer HACH LANGE DR 2800
Skupni dušik (TN)	DIN 38405-D9	spektrofotometer NANOCOLOR UV/VIS
Skupni fosfor (TP)	DIN EN ISO 6878-D11	spektrofotometer NANOCOLOR UV/VIS

Koncentracija vlage

Vlago v kleti (kjer smo imeli postavljen avtomatski kompostnik) smo merili z analognim vlagomerom EXO-TERRA. Meritve smo opravljali enkrat dnevno.

Koncentracija težkih kovin

Ob koncu kompostiranja (t.j. 15. dan), smo pri vsakem poizkusu vzeli dodaten vzorec komposta. Namenili smo ga določevanju prisotnosti težkih kovin. Pri določevanju težkih kovin smo si pomagali s spektrofotometrom Hach Lange DR 2800. Meritve smo izvajali po metodah navedenih v preglednici 3.5.

Preglednica 3.5: Metode določevanja težkih kovin

Parameter	Metoda
Kadmij, Cd	SIST ISO 9174
Krom, Cr _{tot}	SIST ISO 11083
Nikelj, Ni	SIST ISO 8288
Svinec, Pb	SIST ISO 8288
Baker, Cu	SIST ISO 8288
Cink, Zn	SIST ISO 8288

4 REZULTATI

4.1 Masna bilanca

Masa pridobljenega komposta

V 9. dnevnu smo iz mešalne komore pretresli kompost v kompostno korito (plastično posodo). Zaradi poteka stabilizacije smo maso pustili v plastični posodi vse do konca poizkusa (15. dne). Maso komposta smo posamezne dneve stehali in dobili sledeče rezultate (preglednica 4.1):

Preglednica 4.1: Masa pridobljenega komposta

	Poizkus P1	Poizkus P2
Masa dobljenega komposta (9. dan) [g]	2000	2350
Masa dobljenega komposta (11. dan) [g]	1972	2284
Masa dobljenega komposta (13. dan) [g]	1924	2230
Masa dobljenega komposta (15. dan) [g]	1886	2192

Iz preglednice 4.1 je razvidno, da se je masa komposta od 9. do 15. dne, v obeh poizkusih zmanjševala. Končna masa komposta je zanašala pri poizkusu P1 1886 g, medtem ko je bila pri P2 nekoliko višja, 2192 g.

Masa dobljenega komposta se je glede na začetno stanje mase odloženih snovi (preglednica 3.3) v poizkusu P1 zmanjšala za 52,8 % (iz 4080 g na 1886 g), medtem ko se je pri poizkusu P2 zmanjšala za 44,8 % (iz 4040 g na 2192 g).

Masa pridobljene tekočine

Pri posameznem poizkusu kompostiranja je kot stranski produkt nastala tudi izcedna voda. Zbirala se je v posebni posodici za tekočino, v kompostnem koritu. Količine ter pH vrednosti dobljenega digestata prikazujemo v preglednici 4.2.

Iz preglednice 4.2 razberemo, da se je v poizkusu P1 zbralo v posodici za tekočino več izcedne vode kot v poizkusu P2. V obeh poizkusih je imela voda temno rjavo barvo. Tekočina je imela v poizkusu P1

zatohel vonj. Izmerjena pH vrednost kaže na to, da je bila tekočina tudi izjemno alkalna (pH=8,6). V poizkusu P2 pa je bila brez posebnega vonja, s pH vrednostjo 7,3 (rahlo bazična).

Preglednica 4.2: Masa in pH vrednost pridobljene tekočine

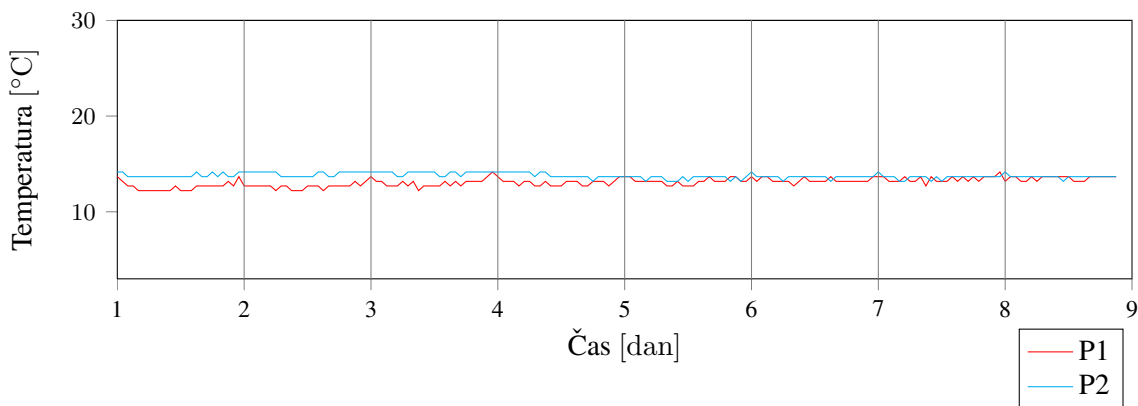
	Poizkus P1	Poizkus P2
Masa tekočine [g]	536	287
pH tekočine	8,6	7,3

4.2 Temperatura

Merjenje temperature v kompostniku in izven njega smo izvajali prvih 9 dni, dokler je bila kompostna masa še v mešalni komori. Zaradi boljše preglednosti, prikazujemo le urne podatke.

Zunanja temperatura

Na sliki 4.1 prikazujemo potek temperature izven kompostnika.



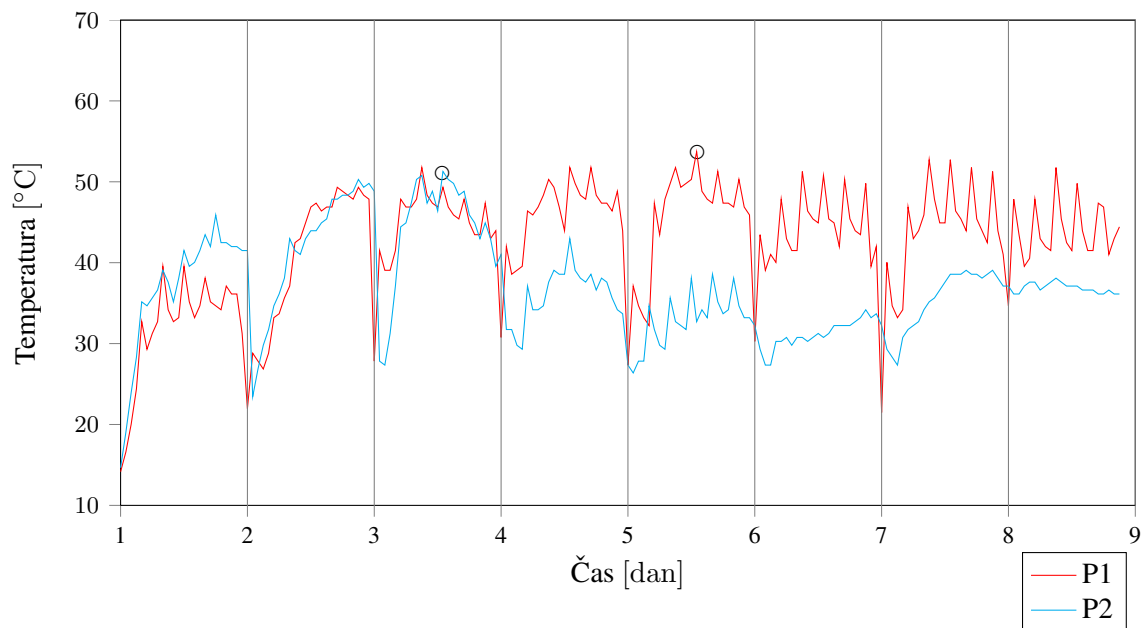
Slika 4.1: Potek zunanjih temperatur

Iz slike 4.1 razberemo, da je bila temperatura izven kompostnika od 1. do 9. dne izjemno konstantna, v obeh primerih izvajanja poizkusov kompostiranja. Konstantna temperatura je značilna za kletne prostore (postavljeno merilno mesto).

Zunanja temperatura je bila v poizkusu P2 ves čas 14 °C. V primerjavi s poizkusom P1 so bile beležene minimalne razlike. V začetku poizkusa P1 je temperatura nihala med 12 °C in 14 °C. Od šestega dne naprej pa je bila večinoma konstantna in izenačena z zunanjo temperaturo iz poizkusa P2.

Temperatura v kompostniku

Potek temperature v kompostniku v času trajanja poizkusov P1 in P2 prikazujemo na sliki 4.2.



Slika 4.2: Potek temperatur v kompostniku

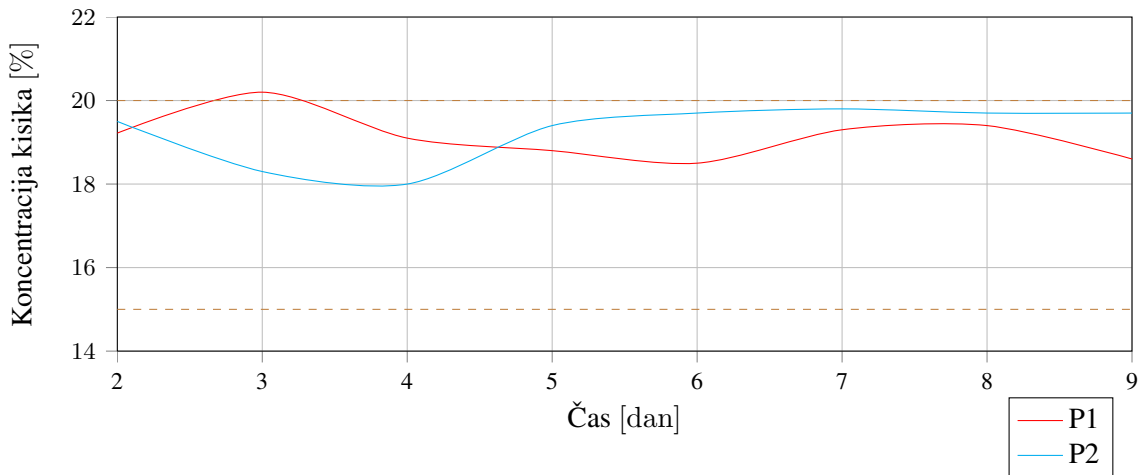
Iz slike 4.2 razberemo precejšnja nihanja temperature v kompostniku, s hitrimi spremembami, tako v poizkusu P1 kot v poizkusu P2. V obeh primerih se je temperatura v prvem dnevu dvignila zelo hitro. V roku štirih ur je temperatura narasla iz 14 °C nad 30 °C. Temperaturni maksimum je bil v poizkusu P1 dosežen 5. dan (označeno z \circ) in sicer 55,4 °C. Maksimalna vrednost temperature v P2 pa je bila dosežena že tretji dan (označeno z \circ), in sicer 53,7 °C. Iz slike 4.2 je razvidno, da so si bile temperature v kompostniku, med poizkusoma P1 in P2, do četrtega dne izjemno podobne, z manjšimi odstopanji. Od četrtega do devetega dne pa so opazne večje temperaturne razlike. V poizkusu P2 je bila temperatura nižja od P1, v povprečju za 9 °C.

Med procesom kompostiranja se temperatura v kompostniku ni nikoli spustila na temperaturo okolice. Enkrat dnevno je bil padec temperature sicer izrazitejši (ob vertikalnih označbah dnevov). Takrat smo odpirali pokrov kompostnika zaradi izvajanja meritev. Temperatura se je znižala, vendar ne tako nizko, da bi dosegla temperaturo okolice. Ob zaprtju pokrova je temperatura hitro narasla.

4.3 Koncentracije kisika v kompostu

Spreminjanje koncentracije kisika med poizkusoma P1 in P2 prikazujemo na sliki 4.3.

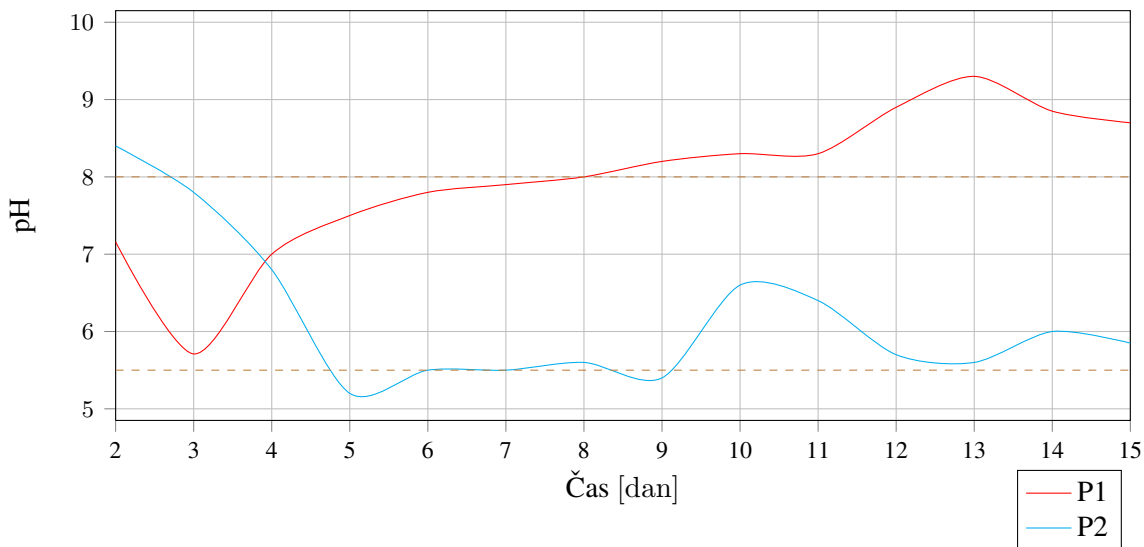
Skozi celotno trajanje procesov kompostiranja, je bilo kisika v mešalni komori avtomatskega kompostnika vedno dovolj. Pritok svežega kisika je zagotavljala vgrajena črpalka, ki je konstantno prepihovala kompostno mešanico. Najnižja koncentracija kisika je bila v poizkusu P1 izmerjena v šestem dnevu, medtem ko je bila pri P2 izmerjena že četrty dan. Minimum je pri P1 znašal 18,5 %, pri P2 pa 18 %.



Slika 4.3: Spremembe koncentracij kisika

4.4 pH komposta

Na sliki 4.4 prikazujemo spreminjanje vrednosti pH kompostne mase, za vsak poizkus posebej.



Slika 4.4: Spremembe pH komposta

V poizkusu P1 smo drugi dan kompostiranja izmerili pH vrednost komposta 7,1 pH. Z naslednjim dnevom je vrednost pH padla na 5,7 pH. To je bil tudi izmerjen minimalni pH celotnega poizkusa P1. Za tem dnevom se je pH vrednost komposta zviševala vse do 13. dneva. V 13. dnevu je bil dosežen maksimalni pH, 9,3 pH. Na koncu poizkusa je pH vrednost pridelanega komposta znašala 8,7 pH. Kompost je bil izrazito bazičen.

V poizkusu P2 je bil potek pH vrednosti komposta v primerjavi s poizkusom P1 nekoliko drugačen. V začetku poizkusa je bil kompost izjemno alkalen (8,4 pH). Za tem je pH vrednost komposta tri dni

izrazito padala in dosegla vrednost 5,2 pH. To je bil tudi najnižji izmerjeni pH v poizkusu P2. Šele z 9. dnev, ko smo kompost stresli iz kompostnika, se je pH vrednost pričela opazneje dvigovati. V 10. dnev, smo izmerili pH vrednost 6,6 pH. Naslednje dni se pH ni več dvignila nad to vrednost. Pridelani kompost je bil kisel (5,8 pH).

4.5 Koncentracija organskih in anorganskih snovi v kompostu

Z določanjem koncentracije žarine smo dobili pomemben podatek o tem kolikšen je delež organskih in anorganskih snovi v kompostu. Njihove koncentracije prikazujemo v preglednici 4.3 za poizkus P1 in v preglednici 4.4 za poizkus P2.

Preglednica 4.3: Vsebnosti anorganskih in organskih snovi (P1)

	Dan	9	11	13	15
Vsebnost anorganskih snovi [% s.s.]	3,65	4,18	2,85	3,78	
Vsebnost organskih snovi [% s.s.]	96,34	95,81	97,14	96,21	

Preglednica 4.4: Vsebnosti anorganskih in organskih snovi (P2)

	Dan	9	11	13	15
Vsebnost anorganskih snovi [% s.s.]	3,53	3,27	3,32	3,93	
Vsebnost organskih snovi [% s.s.]	96,46	96,73	96,7	96,06	

Iz preglednic 4.3 in 4.4 je razvidno, da so bili deleži anorganskih snovi v kompostu izjemno majhni. Gibali so se med 3 % in 4,2 %. Za razliko od koncentracij anorganskih snovi, so bile koncentracije organskih snovi v kompostu preko vseh dni izjemno visoke. Presegale so vrednosti 95 %.

4.6 Vlažnost komposta

Rezultate vlažnosti komposta poizkusov P1 in P2 predstavljamo v preglednici 4.5.

Preglednica 4.5: Spremembe vlažnosti komposta

Dan	Poizkus P1	Poizkus P2
	[%]	[%]
9	34,09	40,38
11	40,92	38,63
13	40,41	39,68
15	40,16	36,77

Pri poizkusu P1 je bila izrazitejša sprememba koncentracije vlage med 9. in 11. dnem. Koncentracija se je povečala iz 34,09 % na 40,9 %. Preostale dni so vrednosti rahlo padale. Končna vlažnost komposta je v P1 znašala 40,2 %.

V 9. dnevu poizkusa P2 je koncentracija vlage komposta znašala 40,38 %. Naslednje dni je bila vlažnost nižja. Izmerjena končna vrednost vlažnosti je znašala 36,77 %.

4.7 Elektroprevodnost komposta

Spremembe elektroprevodnosti kompostnega ekstrakta prikazujemo v preglednici 4.6.

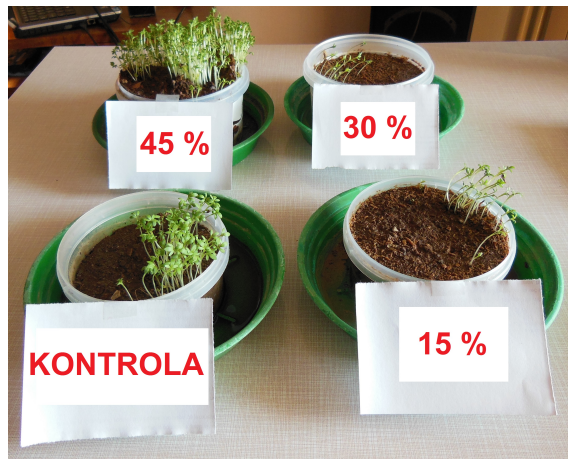
Preglednica 4.6: Spremembe elektroprevodnosti

Dan	Poizkus P1	Poizkus P2
	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]
9	5610	6000
11	5020	5310
13	5400	5180
15	4550	5580

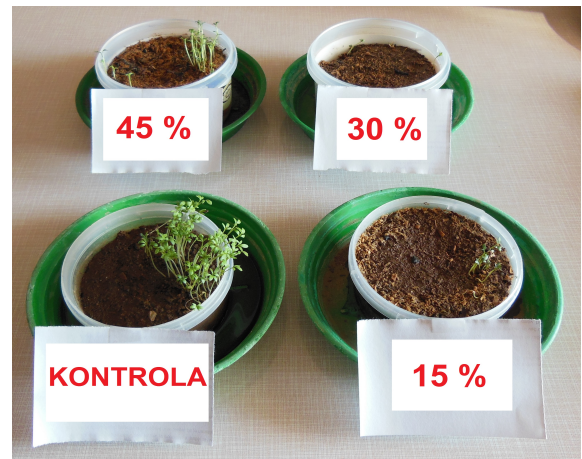
Koncentracija topnih soli je bila v vodni raztopini komposta izjemno visoka. Maksimalna vrednost elektroprevodnosti je bila v obeh poizkusih izmerjena 9. dan. V poizkusu P1 je ta znašala 5610 $\mu\text{S}/\text{cm}$, medtem ko v poizkusu P2 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Končne vrednosti elektroprevodnosti so bile na koncu poizkusov nižje. V poizkusu P1 smo izmerili elektroprevodnost 4550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, medtem ko v poizkusu P2 5580 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.8 Kalitveni test

Prirast vrtna kreše glede na utežne odstotke komposta prikazujemo na sliki 4.5 in 4.6.



Slika 4.5: Kalitveni test (Poizkus P1)



Slika 4.6: Kalitveni test (Poizkus P2)

Iz slik 4.5 in 4.6 je razvidno, da je posajena vrtna kreša slabo klila. Ne glede na poizkus, je bila njena prirast zelo nizka. Mase prirasti vrtna kreše prikazujemo v preglednici 4.7.

Preglednica 4.7: Masa prirasta vrtna kreše

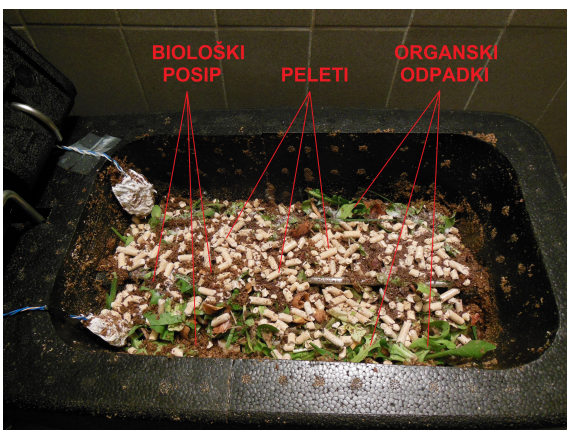
Odstotek komposta	Poizkus P1	Poizkus P2
	[g]	[g]
Kontrola (0 %)	0,92	0,74
15 %	0,70	0,15
30 %	0,13	0,08
45 %	9,28	0,50

V vseh vzorcih poizkusa P1 je bilo stehtane kreše več kot v vzorcih poizkusa P2. Vrtna kreša je v poizkusu P1 najuspešneje klila v vzorcu s 45 % komposta, medtem ko je v poizkusu P2 najuspešneje klila v kontrolnem vzorcu, kjer ni bilo dodanega komposta. V obeh poizkusih kompostiranja je kreša klila najslabše pri vzorcih s 30 % komposta, zato sta bili v teh primerih dobljeni masi prirasta najmanjši.

4.9 Vizualne spremembe komposta med posameznimi poizkusi

Na spodnjih slikah prikazujemo vizualne spremembe komposta med izvajanjem obeh poizkusov. Za prikaz lastnosti komposta smo izbrali 2. dan, ko smo odpadke odlagali v kompostnik, 9. dan, preden smo odpadke prenesli iz kompostnika in 13. dan, ko naj bi bil kompost zrel in primeren za uporabo.

Dan 2:



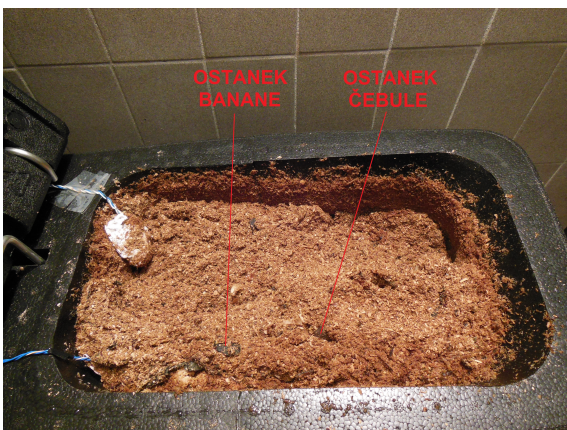
Slika 4.7: Odlaganje odpadkov (Poizkus P1)



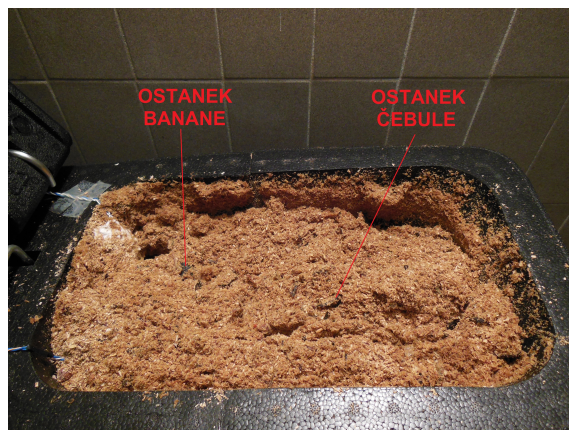
Slika 4.8: Odlaganje odpadkov (Poizkus P2)

Sliki 4.7 in 4.8 sta bili posneti drugi dan kompostiranja, ko smo v kompostnik odlagali sveže odpadke, pelete, sodo bikarbono ter posip za biološke odpadke. Odpadki so imeli v obeh primerih še prepoznavno obliko. Lepo so razvidni lesni peleti, ki so bili svetlejše barve, Biogen posip (samo na sliki 4.7), ki je bil temno rjave barve ter nekateri organski odpadki (solata in bučke).

Dan 9:



Slika 4.9: Kompost (Poizkus P1)



Slika 4.10: Kompost (Poizkus P2)

Na slikah 4.9 in 4.10 je prikazana kompostna masa, ki se je izoblikovala do 9. dne kompostiranja. Odpadki, ki smo jih odlagali prvih 6 dni, so bili 9. dan neprepoznavni. Razgrajeni so bili na drobne delce in med seboj dobro premešani. Vidni so ostali le koščki bananinih in čebulnih olupkov.

Dan 13:



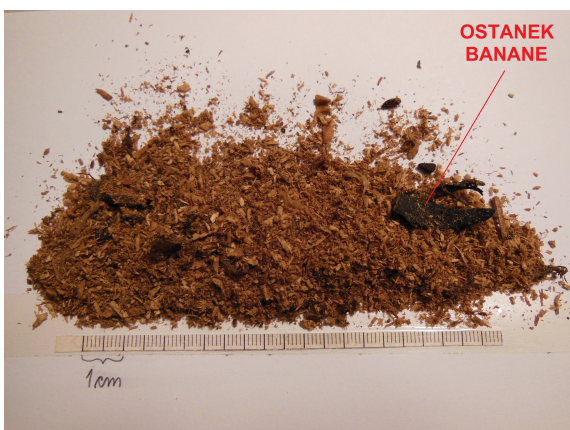
Slika 4.11: Kompost (Poizkus P1)



Slika 4.12: Kompost (Poizkus P2)

Sliki 4.11 in 4.12 prikazujeta dobljen končni produkt. V obeh poizkusih smo dobili povsem rahel in sipast kompost, brez tvorjenih skupkov. Material je bil na otip mehak kot zemlja, vlažen, toda ne moker. Odloženi odpadki so bili neprepoznavni, razen koščkov bananinih in čebulnih olupkov (delci temnejše barve).

Velikosti delcev dobljenega komposta



Slika 4.13: Delci komposta (Poizkus P1)



Slika 4.14: Delci komposta (Poizkus P2)

V dobljenem kompostu iz poizkusov P1 in P2 so prevladovali delci v velikosti nekaj 3-10 milimetrov. Večjih velikosti so ostali le trši bananini ostanki. Struktura celotne kompostne mase nakazuje na to, da

so odpadki popolnoma razpadli in se dobro mešali.

4.10 Barva komposta

V obeh poizkusih je bila barva komposta rjava. V primeru P1 je bila barva nekoliko temnejša kot v poizkusu P2, kar je razvidno s primerjavo slik 4.11 in 4.12.

4.11 Vonj komposta

Vonj pridelanega komposta je bil v poizkusu P1, od 6. dne naprej rahlo neprijeten. Dišal je po zatohlem. V poizkusu P2 je kompost dišal povsem prijetno, po sveži gozdni prsti.

4.12 Hranila v kompostu

Med procesoma kompostiranja smo spremljali tudi koncentracije skupnega fosforja (TP), dušika (TN) in ogljika (TOC).

Poizkus P1

Spremembe koncentracij hranil prikazujemo v preglednici 4.8.

Preglednica 4.8: Spremembe koncentracij hranil (P1)

Dan	TP [mg/l P ₂ O ₅]	TN [mg/l N]	TOC [mg/l TOC]	C/N
9	25,04	22,0	304	13,8
11	4,922	18,1	272	15,03
13	9,25	14,8	294	19,9
15	6,4	25	310	12,4

Koncentracija skupnega fosforja je v zadnjih 6. dneh poizkusa P1 v glavnem vpadala. Iz 25,04 mg/l P₂O₅, ki smo jo izmerili 9. dan, smo 15. dan dobili le 6,4 mg/l P₂O₅.

Koncentracija skupnega dušika je 9. dan poizkusa P1 znašala 22 mg/l N. Do 13. dne se je koncentracija skupnega dušika zmanjševala. V 13. dnevu pa je pričela naraščati, vse do 15. dne. Končna koncentracija TN je znašala 25 mg/l N.

Glede na rezultate analize hranil, je bilo razmerje v kompostni mešanici ob koncu poizkusa:

N : P₂O₅ = 0,25 : 0,06 v ekstrahiranem kompostu.

Koncentracija skupnega organskega ogljika je 9. dan kompostiranja znašala 304 mg/l TOC. Do 11. dne se je zniževala in dosegla vrednost 272 mg/l TOC. Za tem pa je pričela naraščati in zadnji dan kompostiranja dosegla vrednost 310 mg/l TOC.

Razmerje C/N se je med kompostiranjem izrazito spreminjalo. Vrednosti so se gibale med 13 in 20.

Poizkus P2

Spremembe koncentracij hranil za poizkus P2 prikazujemo v preglednici 4.9.

Preglednica 4.9: Spremembe koncentracij hranil (P2)

Dan	TP [mg/l P ₂ O ₅]	TN [mg/l N]	TOC [mg/l TOC]	C/N
9	14,1	12,6	450	35,7
11	7,6	13,5	374	27,7
13	8,2	9	346	38,4
15	11,45	14,5	354	24,4

Koncentracija skupnega fosforja je v zadnjih 6. dneh poizkusa P2 najprej padala. Iz 14,1 mg/l P₂O₅, je koncentracija TP padla na 7,6 mg/l P₂O₅. V naslednjih dneh je pričela naraščati in 15. dan dosegla vrednost 11,45 mg/l P₂O₅.

Koncentracija skupnega dušika se je v kompostu spreminjala zelo neenakomeerno. Dosežena končna vrednost je znašala 14,5 mg/l N.

Glede na rezultate analize hranil, je bilo razmerje v kompostni mešanici ob koncu poizkusa:

N : P₂O₅ = 0,14 : 0,11 v ekstrahiranem kompostu.

Koncentracija skupnega organskega ogljika je 9. dan kompostiranja znašala 450 mg/l TOC. Do 13. dne se je koncentracija TOC zniževala. Po tem se je ponovno dvignila in 15. dan dosegla vrednost 354 mg/l TOC.

Razmerje C/N se je med stabilizacijo komposta izrazito spreminjalo. Vrednosti so se gibale med 24 in 39.

Primerjava koncentracij hranil med poizkusoma P1 in P2

Rezultati iz preglednice 4.8 in 4.9 kažejo na to, da je bilo skupnega dušika v kompostu pri poizkusu P1 več kot pri poizkusu P2. Drugačne vrednosti smo izmerili pri skupnem fosforju in ogljiku. Koncentracije skupnega ogljika so bile v poizkusu P1 nižje kot v poizkusu P2, medtem ko so bile koncentracije fosforja med poizkusi spreminjajoče. Končne koncentracije fosforja so bile v poizkusu P2 višje kot v poizkusu P1.

Izmerjeno C/N razmerje je bilo v poizkusu P2 višje kot v P1.

4.13 Koncentracija težkih kovin

Zadnji dan kompostiranja smo na vzorcu komposta izvedli test prisotnosti težkih kovin, za vsak poizkus posebej. Meritve so nam služile za določitev razreda, v katerega bo razvrščen pridelani kompost. Dobljene rezultate prikazujemo v preglednici 4.10.

Preglednica 4.10: Meritve težkih kovin

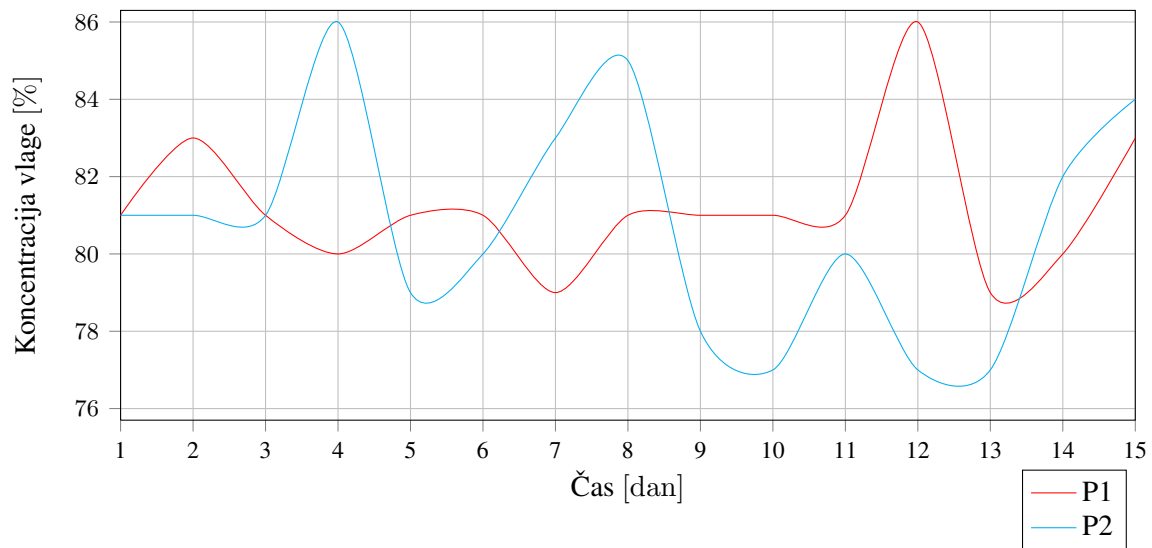
Parameter	Poizkus P1 [mg/kg s.s.]	Poizkus P2 [mg/kg s.s.]	MDK (1. razred) * [mg/kg s.s.]
Baker [Cu]	21,46	19,01	70
Cink [Zn]	9,51	23,33	200
Kadmij [Cd]	0,676	0,484	0,7
Krom [Cr tot]	16,38	12,01	70
Nikelj [Ni]	14,80	19,87	25
Svinec [Pb]	24,84	22,29	45

*Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (Ur. l. RS, št. 84/05)

Preglednica 4.10 prikazuje, da so bile vrednosti za posamezno težko kovino, za oba poizkusa v mejah dovoljenih koncentracij (MDK). Vrednosti koncentracije težkih kovin, z izjemo kadmija, so bile krepko pod predpisanimi mejami. Glede na Uredbo o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (Ur. l. RS, št. 84/05), pomeni, da je bil pridelani kompost uvrščen v prvi kakovostni razred, z neomejeno uporabo.

4.14 Vlažnost kletnega prostora

V času poizkusov kompostiranja smo spremljali tudi vlažnost kletnega prostora, kjer smo imeli postavljeno merilno mesto. Pridobljene meritve prikazujemo na sliki 4.15, za vsak poizkus posebej.



Slika 4.15: Spremembe vlažnosti kletnega prostora

V poizkusu P1 je bila maksimalna vlažnost v prostoru dosežena 12. dan. Izmerjena vlažnost je znašala 86 %. Minimum vlažnosti, 79 %, smo izmerili takoj naslednji dan.

V poizkusu P2 je bila maksimalna vlažnost dosežena četrty dan (86 %), medtem ko je bil minimum vlažnosti izmerjen proti koncu procesa kompostiranja, 12. dan (77 %).

5 RAZPRAVA

5.1 Masna bilanca

5.1.1 Odlaganje odpadkov

Pri vsakem procesu kompostiranja je potrebno skrbeti za ustrezno količino zelenih in rjavih odpadkov, t.j. zagotavljanje primerne C/N razmerja. Pri polnjenju avtomatskega kompostnika smo se zato morali držati predpisanih navodil proizvajalca (NatureMill). Poleg organskih odpadkov, ki vsebujejo nekoliko več dušika, je predpisano, da se v kompostnik doda tudi ustrezno količino peletov za uravnavanje ogljika (peletov je za tretjino manj). Na mešanico se nato potresa še sodo bikarbono za uravnavanje kislosti.

Pri odlaganju odpadkov in dodatkov v avtomatski kompostnik, ni bilo potrebno skrbeti na sestavljanje posameznih slojev, tako kot je potrebno pri klasičnem kompostiranju na vrtu ([41]). Odpadki so se v kompostniku dnevno večkrat premešali, dobro segreli, prezračili in strnjevali v enotno celoto. Zaradi avtomatskega segrevanja mešanice, ni bilo potrebno skrbeti za minimalni volumen/maso odloženih odpadkov. Za razliko od kompostiranja z avtomatskim kompostnikom je pri klasičnem vrtnem kompostniku potrebno urediti kompostni kup v priporočeni velikosti 1m^3 [16]. S tem se zagotovi izolativnost, da se material lahko segreje [16], da poteče temperaturna higienizacija.

5.1.2 Masa pridobljenih snovi

Masa pridobljenega komposta

Odložene snovi so se v kompostniku, v roku 15. dni povsem stisnile (posedle) in razpadle v neprepoznavno maso. Zmanjšale so se masno kot tudi volumsko.

Preglednica 5.1: Masa pridobljenega komposta

	Poizkus P1	Poizkus P2
Masa odloženih snovi [g]	4080	4040
Masa dobljenega komposta (15. dan) [g]	1886	2192

Iz preglednice 5.1 vidimo, da smo pri poizkusu P1 odložili 4080 g snovi in iz tega dobili 1886 g svežega

komposta, medtem ko smo pri P2 odložili 4040 g snovi in dobili 2192 g svežega komposta. Zmanjšanje mase gre predvsem na račun izgube vode v bioloških odpadkih. Zmanjšanje mase na račun oksidacije organske snovi v anorgansko, je bilo v naših primerih zanemarljivo. To vidimo tudi iz preglednic 4.3 in 4.4, ki potrjujejo dejstvo, da je v kompostu ostal velik delež organskih snovi.

V obeh poizkusih kompostiranja smo pričakovali večji odstotek zmanjšanja mase odpadkov. Zmanjšanje je bilo v P1 53,8 %, medtem ko je bilo pri P2 45,7 %. Glede na navodila proizvajalca avtomatskega kompostnika, bi se masa odloženih odpadkov in snovi morala zmanjšati za več kot 70 % prvotne mase ([31]).

Za primerjavo lahko omenimo še klasično vrtno kompostiranje, za katerega je značilno zmanjšanje mase za 50 % ali več ([10] [18] [23]). Če bi prevzeli omenjene vrednosti tudi za kompostiranje z avtomatskim kompostnikom, ugotovimo, da so bile v poizkusu P1 vrednosti celo presežene, medtem ko so bile v P2 pod vrednostjo 50 %.

Iz rezultatov razgradnje opazimo, da smo v P1 dosegli večji odstotek razgradnje kot v P2. Intenzivnejša razgradnja odpadkov v P1 ni posledica višje temperature v kompostniku v času izvajanja poizkusa P1 (4.2). Temperatura v P1 je bila večinoma v termofilnem območju (35-65 °C), medtem ko je bila v P2 večinoma v mezofilnem območju (25-40 °C). Za razkroj oz. razpad odpadkov so v glavnem krivi mezofilni mikroorganizmi (mezofilna faza), medtem ko je termofilna faza pomembna za samo higienizacijo komposta in uničenje semen plevelov [16]. Na podlagi zadnje trditve bi pričakovali višjo razgradnjo v poizkusu P2 kot v P1. Razloge za drugačne rezultate je mogoče utemeljiti na več načinov.

1.

V poizkusu P1 smo odlagali več sadja. Sadje vsebuje ogromen delež vode. Voda je zaradi visoke temperature izhlapela in odpadki so se zato bolj stisnili in zmanjšali.

2.

V poizkusu P1 smo v času odlaganja odpadkov vsakodnevno dodajali v kompostnik tudi Biogen posip. Biogen posip vsebuje visoke koncentracije koristnih mikroorganizmov, kar je za prvi poizkus pomenilo, da je razgradnja potekala intenzivneje.

3.

V P2 je bilo razmerje med ogljikom in dušikom precej visoko, in sicer nad $C/N > 30$ (4.9). Zaradi pomanjkanja dušika se je biološka aktivnost močno zmanjšala [6] [10]. Mikroorganizmi niso imeli idealnih pogojev za življenje, za kar razgradnja ni potekala povsem optimalno. V P1 pa je bilo dušika dovolj. Mikroorganizmi so imeli dovolj hrane. Razgradnja je bila popolnejša kot v poizkusu P2.

Masa pridobljene tekočine

Pri vsakem kompostiranju nastaja kot stranski produkt tudi izcedna voda. V našem primeru se je digestat zbiral v posebni posodici kompostnega korita. Za razliko od klasičnega kompostnika, digestat odteka v tla.

Digestat se lahko uporablja kot gnojilo za rastline [35]. Rastlinam med drugim zagotavlja tudi boljšo obrambo pred boleznimi. Količina digestata je navadno odvisna od raznolikosti bioloških odpadkov. V našem primeru je bilo v poizkusu P1 odloženega več sadja, zato je bilo digestata na koncu poizkusa nekoliko več kot v poizkusu P2. V splošnem ima sadje v sebi večji odstotek vode kot preostali organski odpadki iz kuhinje (riž, testenine, kruh ...).

Digestat je imel v obeh poizkusih zelo visok pH. V poizkusu P1 8,2 pH, medtem ko v poizkusu P2 9 pH. Poleg tega je bil v obeh primerih temnorjave barve, kar je znak vsebnosti velike koncentracije organskih snovi. Takšna tekočina ima navadno zaradi agresivnosti zaviralni učinek na kalitev semen in rast rastlin (povzroča ožig rastlinskih korenin). V primeru nadaljne uporabe, npr. za gnojenje rastlin, bi jo morali redčiti z vodo [30] [34].

5.2 Temperatura

Zunanja temperatura

Zunanje temperature imajo velik vpliv na potek kompostnega procesa, saj lahko vplivajo na aktivnost razgradnje odpadkov. Razgradnje odpadkov je pri nižjih zunanjih temperaturah počasnejša [31] in obratno.

Pri klasičnem vrtnem kompostniku ima zunanja temperatura nekoliko večji vpliv na razgradnjo bioloških odpadkov kot pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom. Čeprav ima avtomatski kompostnik vgrajeno zračno črpalko, ki nenehno črpa zrak iz okolice in prezračuje vsebino v notranjosti kompostnika, ima v notranjosti vgrajen tudi grelec, ki zrak segreva. Zaradi teh lastnosti, lahko avtomatski kompostnik namestimo v prostoru, kjer zunanje temperature nihajo (od -18°C do 50°C) [31].

Med poizkusoma P1 in P2 smo imeli kompostnik nameščen v kleti, kjer se je zunanja temperatura gibala med 12°C in 14°C (slika 4.1). Temperatura ni imela negativnega vpliva na življenje mikroorganizmov in na izvajanje poizkusov kompostiranja.

Temperatura v kompostniku

V splošnem velja, da je spreminjanje temperature v notranjosti kompostnika temeljni pokazatelj učinkovitosti procesa v kompostniku [46]. Temperatura se pri kompostiranju na vrtnem kompostniku dviguje na račun aktivnosti mikroorganizmov. Doseže lahko precej visoke vrednosti (celo nad 70°C) in na teh

vtztraja tudi dalj časa. Temperatura se spreminja zelo počasi in bolj enakomerno.

Za razliko od klasičnega kompostiranja na vrtu, se pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom temperature dvigujejo predvsem na račun delovanja vgrajenega grelca. Iz dobljenih rezultatov ne moremo trditi, da so se dvigi temperature vršili zaradi aktivnosti mikroorganizmov. Poleg tega iz slike 4.2 opazimo, da je temperatura v kompostniku izrazito nihala (v obeh poizkusih, vseh 9 dni merjenja). Nihanja so nastala zaradi vrtenja mešalnega droga (mešanje odpadkov) ter zaradi delovanja zračne črpalke (prezračevanje mešanice z zunanjim zrakom, z nižjo temperaturo). Na sliki je vsakodnevno zabeleženih tudi 6 nekoliko izrazitejših padcev in ponovnih dvigov temperature. Za to je kriv splošen način kompostiranja, ki smo ga uporabljali v poizkusih. Zanj je značilno, da se mešalo vrtil vsake štiri ure. Takrat so se odpadki mešali in med nje je vstopil sveži zrak, z nižjo temperaturo kot je bila v mešalni komori.

Iz slike 4.2 opazimo, da se je temperatura v prvem dnevu dvignila zelo hitro. Proces kompostiranja je že v prvem dnevu vstopil v termofilno fazo kompostiranja (nad 35 °C). V P1 je termofilna faza trajala vse do 9. dne, medtem ko se je pri P2 od 4. dne naprej večinoma izmenjevala z mezofilno fazo (pod 35 °C).

Izmerjena temperatura v kompostniku je bila nižja od pričakovane temperature, 60 °C [31] (za oba poizkusa). Upamo si trditi, da zaradi nižjih temperatur, higienizacija komposta ni potekala dovolj temeljito. Več o tem v poglavju 5.10.

5.3 Koncentracija kisika v kompostniku

Kompostiranje je oksičen proces in mora v takem okolju tudi potekati. Če ni prisotnega molekularnega kisika, ni oksičnih procesov in prihaja do gnitja oz. kislinskega ali metanskega vrenja. Aerobni mikroorganizmi nimajo v takšnih razmerah idealnih pogojev za življenje. Termofilna faza, t.j. temperatura nad 45 °C, se zaradi slabe aktivnosti mikroorganizmov ne razvije. Higienizacija kompostirane mase zato ne poteče, kar pomeni, da ne pride do zatiranja patogenih mikroorganizmov. Poleg tega je končni produkt nestabilna organska preperina, ki je neustrezno in ne celostno predelana.

Za zračenje odpadkov je bilo v avtomatskem kompostniku dobro preskrbljeno. Graf 4.3 izkazuje, da so preko vseh dni bile koncentracije kisika v željenih mejah, od 15 do 20 % ([6]). Splošen način kompostiranja, z zmernim mešanjem in preprihovanjem je zadostoval za zagotavljanje ustrezne koncentracije kisika v mešalni komori. Anaerobnih pogojev v kompostniku nismo zaznali. Do procesa gnitja ni prihajalo. Koncentracije kisika so bile v obeh poizkusih v mejah normale. V kompostniku so bili zagotovljeni optimalni pogoji za oksidacijo preko vseh dni poizkusov.

Pri kompostiranju na vrtnem kompostniku prihaja med potekom procesa pogosto do sesedanja materiala in zmanjševanja zračnih žepkov v kompostnem kupu. Posledično je v kupu zmanjšana koncentracija kisika. Material je potrebno zato pogostoma ročno premešati in s tem prezračiti, da se prepreči proces gnitja. Za razliko od vrtnega kompostiranja, se pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom sesedanje odpadkov ter pojav anaerobnih pogojev ne more zgoditi. V avtomatskem kompostniku je vgrajena črpalka, ki dovaja zrak v mešalno komoro, poleg tega pa je v mešalni komori vgrajen tudi mešalni drog, ki ima funkcijo mešanja in s tem dodatnega prezračevanja kompostne mase.

5.4 Vonj komposta

Poizkus P1

S 6. dnem se je v kompostniku pričel pojavljati neprijeten vonj. Večina raziskovalcev priča o tem, da so neprijetne vonjave pogosto posledica sproščanja dušika (v obliki amoniaka), ki se zgodi ob visokih pH vrednostih komposta in hkrati visoki temperaturi [16] [6]. Takšne pogoje smo v kompostniku imeli tudi mi (slika 4.2 in slika 4.4). Na presežek koncentracij dušika v P1 kaže tudi C/N razmerje (preglednica 4.8), ki je bilo v P1 od 9. do 15 dne precej nizko ($C/N < 25$).

Neprijeten vonj komposta je trajal vse do konca poizkusa, kljub temu, da smo od 9. dne naprej imeli kompost izven kompostnika (kjer so bile temperature nižje).

Poizkus P2

V poizkusu P2 nismo zaznali neprijetnih vonjav. Kompost je dišal povsem prijetno, po sveži prsti.

5.5 Vlažnost komposta

Ustrezna vlažnost komposta oz. vsebnost vode je pri vsakem kompostiranju zelo pomembna. Potrebna je za preživetje mikroorganizmov, ki sodelujejo v procesu razgradnje odpadkov.

Vlažnost v avtomatskem kompostu, ko je bila kompostna masa še v mešalni komori kompostnika, je bila zelo velika (odpadna hrana iz kuhinje ima navadno visoko vlažnost [23]). Prvih 6. dni (ko smo odlagali odpadke) se je velik delež vode iz odpadkov, na račun visoke temperature uparil. Mešalna komora je bila zaradi tega precej mokra in kompostna masa vseeno dovolj vlažna. Kljub visoki vlažnosti, se na kompostni masi ni nikoli pojavila plesen, ki bi nakazovala prekomeren delež vode v kompostniku.

Po 6. dnevu, ko v kompostnik nismo več odlagali odpadkov, se je zaradi visokih temperatur mešanica začela izsuševati. Visoka vlaga je začela vpadati. V 9. dnevu je vlažnost v P1 že padla pod minimalno

priporočenih 40 % [10], medtem ko je pri P2 padla na 40,38 %. V P2 se je vlažnost v naslednjih dneh še zmanjševala, medtem ko se je v P1 nekoliko celo povečala (najverjetneje zaradi prenosa komposta v kompostno korito). Končna vlažnost je v P1 znašala 40,16%, medtem ko je bila pri P2 36,77 %. Vsebnost vlage je bila pri P1 na meji dovoljene koncentracije, medtem ko je bila v P2 pod dovoljeno mejo. Večjo vlažnost komposta bi morali uravnnavati z dodajanjem vode.

Dovoljšnjo koncentracijo vlage v kompostu bi morali še vedno vzdrževati v obeh poizkusih. To bi bilo potrebno predvsem zaradi preživetja mikroorganizmov, ki opravljajo mineralizacijo komposta. Rezultati razkroja organskih in anorganskih snovi (sliki 4.3 in 4.4) nakazujejo na to, da mineralizacija komposta ni bila še popolna v nobenem poizkusu.

Vpliv vlažnosti prostora

Izmerjene koncentracije vlage v kletnem prostoru, kjer smo imeli postavljeno merilno mesto niso vplivale na izsuševanje mešanice. Dokaz za to je slika 4.15, ki prikazuje, da so bile koncentracije vlage v prostoru izjemno visoke.

5.6 Velikosti delcev komposta

Mehaničen razpad odpadkov v mešalni komori avtomatskega kompostnika je potekal nemoteno. Mešalni drog se ni nikoli zatikal, ker smo odpadke razrezali na dovolj majhne koščke. Nikoli ni prišlo niti do izpada električne energije, da bi bilo mešanje ustavljeno. Mešanje je potekalo neprekinjeno.

Velikosti delcev pridelanega komposta so bile v dovoljenih mejah, med 3 in 10 mm. To so primerne velikosti delcev za končni kompostni produkt ([10]).

Na slikah 4.13 in 4.14 so vidni tudi črni delci, ki so se nahajali v kompostu in so bili večji od 1 cm. To so bili koščki bananinih in čebulnih ostankov, ki se niso popolnoma razgradili, zaradi vsebnosti težje razgradljivih snovi. Kljub manjšemu odstopanju v velikosti delcev, bi lahko takšen kompost namenili nadaljni uporabi (gnojenju na vrtu ali pakiranju v vreče).

Odpadke, ki smo jih odlagali v avtomatski kompostnik, so sestavljali biološki odpadki iz kuhinje. Le ti vsebujejo manj lignina in več vode kot običajni vrtni odpadki. Zaradi omenjenih lastnosti lažje razpadejo. Visoke temperature, ki so bile v avtomatskem kompostniku prisotne, so prispevale k hitrejšemu razpadu odpadkov. Voda iz odpadkov se je med procesom hitro uparila. Odpadki so se stisnili in zaradi vrtenja lopute lažje razdrobili.

Za razliko od klasičnega kompostiranja na vrtnem kompostniku, kjer je končna masa bolj grudasta, z več

skupki, je bila kompostna masa pridobljena z avtomatskim kompostnikom povsem enotna in celostna.

5.7 Barva komposta

Pridobljeni kompost iz poizkusov P1 in P2 je bil rjave barve. Takšna barva izkazuje pravilnost poteka procesa kompostiranja. Vseeno pa rjava barva ne izkazuje stabilnosti komposta, saj je lahko dosežena še preden kompost uspešno dozori [6].

5.8 Hitrost razgradnje odpadkov

Kompostiranje z avtomatskim kompostnikom poteka zelo pospešeno v primerjavi s kompostiranjem na vrtnem kompostniku. Na vrtnem kompostniku je potreben daljši čas za razgradnjo odpadkov. Ta lahko znaša približno leto dni [5].

Pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom so bili odpadki zaradi termičnega in mehanskega razkroja že naslednji dan po odlaganju večinoma neprepoznavni (v obeh poizkusih). Kljub temu, da so bili neprepoznavni, je mineralizacija odpadkov potekala zelo slabo oz. zelo počasi. V dobljenem kompostu smo za posamezen poizkus izmerili zelo visok delež organskih snovi. Preglednici 4.3 in 4.4 prikazujeta, da se od 9. do 15. dne delež organskih snovi ni bistveno spremenil. To pomeni, da je stopnja mineralizacije ostajala izjemno majhna, nepopolna. Po nekaterih standardih za kompostiranje na vrtnem kompostniku, bi moral končni kompost vsebovati približno 45 % organskih snovi ([11]). V naših primerih so bile te vrednosti krepko presežene (preko 95 %). Dobljeni material je bil še svež in nepopolno skompostiran.

Z dodajanjem posipa za biološke odpadke smo hoteli v poizkusu P1 razgradnjo in mineralizacijo dodatno pospešiti. Glede na zmanjšanje mase odpadkov nam je pohitritev razgradnje uspela, saj smo ob koncu dobili nekoliko manj komposta v P1 kot v P2 (preglednica 5.1). Vseeno pa so končni deleži organskih snovi ostali zelo podobni v obeh poizkusih. Sklepamo lahko, da pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom ni potrebe po dodajanju posipa za biološke odpadke.

5.9 Elektroprevodnost komposta in kalitveni test

Elektroprevodnost je bila v poizkusih P1 in P2 krepko presežena čez priporočeno mejo 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ([21]). To pomeni, da je bila v kompostu zelo visoka koncentracija soli (kar kaže na nepopolno mineralizacijo komposta).

Visoke koncentracije soli v kompostu zavirajo kalitev semen in rast rastlin v primeru, da se takšen kompost uporablja kot gnojilo [35]. V dokaz sta tudi kalitvena testa, kjer smo pridelani kompost iz P1 in P2 uporabili kot gnojilo za izboljšanje rasti vrtna kreše (sliki 4.5 in 4.6). Iz slik je razvidno, da je v posodicah, z različnim utežnim odstotkom vrtna kreša slabo klila (razen poizkus P1, pri 45 %). Viden je majhen odstotek klivih semen ter majhna rastlinska prirast glede na kontrolni vzorec. V posamezno posodico smo odlagali po 1,50 g semen kreše (med 200 in 400 semen). Od tega jih je pri P2 vzknilo malo, medtem ko jih je pri P1 vzknilo več (še posebej pri vzorcu 45 %). Za odstopanje pri poizkusu P1 (45 %) je najverjetneje krivo slabo premešanje zemlje in dodanega komposta. Semena kreše so bila večinoma v zemlji, kjer so imela idealne pogoje za klitje.

Kompost je deloval fitotoksično tudi na nadaljno rast vzknilih semen vrtna kreše. Ratline so imele zaradi visoke koncentracije soli v kompostu otežen dostop do vode ([35]).

V praksi se visoko elektroprevodnost uravnava na primerno raven z mešanjem komposta z večjo količino drugih substratov [35]. Za to so primerni navadna prst, pesek in podobne sestavine [35]. Pri nas se je mešanica tudi s 15 % komposta izkazala kot neprimerna za gnojenje rastlin. Ustrezna bi bila mešanica z manjšo vsebnostjo pridelanega komposta.

Nekateri avtorji omenjajo, da se vpliv prevelike elektroprevodnosti kaže tudi na samih rastlinah. Med pogostejše znake, ki se pojavijo na rastlinah zaradi visoke koncentracije soli v substratu spada venenje listov rastlin ter pojav nekrotičnih listov (ožig, rjave pege). [35] V naših poizkusih so rastline dajale videz dokaj uspešne rasti. Čeprav njihovo steblo ni povsem kompaktno in močno, so bili listi rastlin povsem zeleni in zdravi. Nobena rastlina ni med poizkusom propadla ali dajala videz ovenelosti.

5.10 Preživetje patogenih mikroorganizmov

V svežih odpadkih obstaja možnost prisotnosti potencialnih patogenov (virusi, bakterije ...). Testov na preživetje patogenih mikroorganizmov v kompostu nismo izvajali, lahko pa iz dobljenih rezultatov in meritev ugotovimo določene stvari.

Pridobljen kompost se navadno med kompostiranjem temperaturno higienizira. Za popolno higienizacijo kompostne mešanice mora biti temperatura več dni zapored konstantno nad 55 °C [10]. V naših poizkusih je bila temperatura 55 °C le kratkotrajno dosežena (P1) ali sploh ne (P2). Sklepamo lahko, da teremična higienizacija ni potekala dovolj dobro ter večina patogenov ni poginila.

Zdravju škodljivi patogeni, ki jih pogosto srečamo v kompostniku sta tudi Salmonella in E. Coli. Raziskave kažejo, da E. Coli preživi vsaj 9 dni na temperaturi 60-70 °C v kompostu, ki vsebuje biološke

odpadke hrane, medtem ko Salmonella preživi vsaj 9 dni na temperaturi nad 60 °C v biološkem kompostu, ki vsebuje odpadke hrane. [14] Torej, če sta bili v našem kompostu prisotni, ju zagotovo nismo uničili.

Iz grafa notranje temperature (slika 4.2) lahko predvidevamo, da je bila temeljitejša higienizacija komposta v poizkusu P1, kot pa v P2. Preko vseh dni je bila temperatura v P1 nekoliko višja kot v P2, še posebej od 5. dne naprej, saj je v P2 le redko dosegla 40 °C.

5.11 Razmerje C/N

Razmerje C/N se je gibalo različno glede na poizkus.

Poizkus P1

Razmerje C/N je bilo od 9. do 15. dne nizko ($C/N < 25$). To pomeni, da je bilo v kompostu preveč zelenih odpadkov, ki vsebujejo več dušika. Kot smo že omenili v poglavju 5.4., se je višek dušika sproščal v ozračje. To pomeni, da se je zmanjševala vsebnost dušika tudi v končnem produktu, kar pomeni zmanjšanje njegove vrednosti. Izguba dušika ni cilj pridelovalca komposta, ker s tem izgublja bogata rastlinska hranila.

Zaradi nizkega C/N razmerja, bi morali v P1 poskrbeti za ustrežnejše razmerje med zelenimi in rjavimi odpadki. Dodajati bi morali več odpadkov z vsebnostjo ogljika, t.i. rjavih odpadkov (testenine, pecivo, žagovina ...) ter pogosteje bi morali kontrolirati pufersko kapaciteto (zmanjšati odlaganja sode bikarbone).

Poizkus P2

V poizkusu P2 smo izmerili visoko C/N razmerje ($C/N > 30$). Visoko C/N razmerje pomeni preveč ogljika v kompostu in pomanjkanje dušika. V tem primeru bi morali v kompostnik dodajati več zelenih odpadkov (solata, sadje ...).

Ob visokem C/N razmerju se v kompostu navadno zmanjša aktivnost mikroorganizmov. Pogosto pride tudi do procesa imobilizacije. To pomeni, da je pridelani kompost izropan dušika, ker ga porabijo mikroorganizmi zase. Rastlinam ga zato ob uporabi komposta, kot vira hranil, ostane zelo malo. [6]

5.12 Težke kovine

Koncentracija težkih kovin je bila v kompostu (poizkus P1 in P2) brez izjeme pod kritično mejo. Pridobljeni kompost bi lahko zaradi uvrščenosti v prvi kakovostni razred [39] uporabili za gnojenje kmetijskih

pridelkov, vrtničkov itd. brez potreb po pridobitvi soglasja ministerstva, pristojnega za okolje in prostor.

Odloženi odpadki so bili kuhinjski ostanki hrane. Hrana, ki smo jo zavrgli je bila primerna za prehranjevanje in z vidika prisotnosti težkih kovin ni bila škodljiva za naše zdravje.

Prekomerna vsebnost težkih kovin navadno povzroča težave v kompostu iz odpadnega blata komunalnih čistilnih naprav. Škodljive primesi, med katere spadajo tudi težke kovine, prispejo v blato zaradi velikih industrijskih obratov, ki nimajo urejenih lastnih čistilnih naprav. Onesnaženo blato se pogostokrat kompostira zaradi higiene in zdravja ljudi, ker je takšen produkt bolj varen. Poleg tega je tudi kvaliteta komposta v primerjavi z blatom bolj stalna in bolj nadzorovana. [44] Še vedno pa ostaja problem nadaljnjega ravnanja s takšnim kompostom, ker so težke kovine še vedno prisotne.

5.13 Fizikalna onesnaževala

Med fizikalna onesnaževala spadajo trdni delci iz stekla, plastike ali kovine ([42]). Te snovi zagotovo ne spadajo v kompostnik, ker se v njem ne rezgrajujejo. Omenjenih onesnaževal zagotovo nismo odlagali v kompostnik. Čeprav analiz na njihovo prisotnost nismo izvajali, smo prepričani, da jih v kompostu ni bilo.

5.14 Zrelost in stabilnost komposta

Čeprav je kompostiranje z avtomatskim kompostnikom v primerjavi s kompostiranjem na vrtnem kompostniku potekalo zelo hitro, smo na podlagi izvajanja poizkusov ugotovili, da kompostiranje z avtomatskim kompostnikom vseeno ni potekalo optimalno. Boljše pogoje v kompostniku bi zagotovili, če bi kompostnik postavili v toplejši prostor. Masa bi bila v tem primeru prezračevana s toplejšim zrakom in v mešalni komori bi bile dosežene višje temperature. Z višjo temperaturo bi bili termofilni organizmi bolj aktivni, razgrajena bi bila večja koncentracija organskih snovi in temeljiteje bi potekla higienizacija kompostne mase. Pridobljeni kompost bi bil bolj stabiliziran.

5.15 Uporaba pridobljenega komposta

V poizkusih kompostiranja z avtomatskim kompostnikom smo pridobili nezreli kompost. Takšen kompost ne bi bil primeren za neposredno gnojenje rastlin, ker bi v tleh izropal večino dušika in bi ga zato rastlinam primanjkovalo (predvsem kompost iz poizkusa P2). Zaradi visoke elektroprevodnosti in neustreznih pH vrednosti bi tudi zaviral kalitev semen in rast rastlin. Pridobljeni kompost bi lahko zato uporabili v druge namene, kot dodatek za osiromašena tla, kjer primanjkuje organskih snovi ali za

neobdelano zemljo. Uporaben je kot osnova oz. substrat za nadaljnje kompostiranje s kompostnikom. [38] Primeren bi bil tudi kot zastirka na površini tal [31], kjer bi varoval rastline pred večjo izgubo vlage in pred nizko temperaturo.

5.16 Težave in priporočila

Med kompostiranjem z avtomatskim kompostnikom (NatureMill, HC52 - PRO Edition) smo se srečali z nekaterimi težavami. Predstavljamo jih v nadaljevanju in pri tem podajamo tudi možne rešitve za njihovo odpravo.

1.

V naših poizkusih se je kompostnik napolnil že v šestem dnevu. Odlaganje smo morali zato predčasno prekiniti (v navodilih proizvajalca kompostnika je predvideno 7 dnevno odlaganje). Pri klasičnem kompostiranju na vrtu lahko v kompostnik odlagamo bistveno večje količine odpadkov, dokler se ti ne naberejo do višine 1,5 m. Povprečna 4 članska družina pridelava dnevno približno 1,5 kg bioloških odpadkov iz kuhinje. Za 7 dnevno odlaganje takšnih količin odpadkov je avtomatski kompostnik premajhen.

Priporočamo, da bi večje količine odpadkov hitreje razgradili, če bi uporabili hitrejši način kompostiranja (*ang. Heavy Duty mode*), s hitrejšim preprihovanjem, pogostejšim obračanjem mase in močnejšim ogrevanjem. Omenjenega načina nismo uporabili, ker ni predpisan za takšen tip kompostiranja. Predviden je za kompostiranje trših odpadkov.

2.

Prvih 6 dni, ko smo v avtomatski kompostnik odlagali sveže odpadke, je bila vlaga v notranjosti zelo visoka. V obliki pare je voda uhajala iz kompostnika tik pod pokrovom (priloga D). Zaradi utekočinjanja se je izcejala po zunanji stenah kompostnika in močila zunanji del konstrukcije kompostnika. Ugotavljamo, da bi bilo zato primerno na zgornjem robu kompostnika (to je tik pod pokrovom) urediti kanalček po katerem bi voda odtekala nazaj v notranjost mešalne komore.

Med samim poizkusom je vlaga oz. voda prihajala tudi v notranjost zračne črpalke. Zaradi njenega delovanja, t.j. izpihovanja zraka iz mešalne komore, je vodo (preko zračne črpalke) škropilo izven kompostnika in močilo mizo merilnega mesta. Primerno bi bilo, da bi zaradi omenjenih težav spremenili delovanje črpalke, da bi zrak potiskala v kompostnik in ne obratno.

3.

Med kompostiranjem se je voda iz mešalne komore izcejala v odlagalno korito in ne v posodico za tekočino (v odlagalnem koritu). Boljše odtekanje vode bi zagotovili, če bi loputo v kompostniku rahlo

nagnili proti sprednji strani kompostnika. Na ta način bi se voda izcejala bolj usmerjeno in lažje dosegla posodico za tekočino.

4.

Določen delež odloženih odpadkov se je med kompostiranjem večinoma zadrževal v mešalni komori, tik ob levi steni kompostnika (priloga D). Med mešanjem jih mešali drog ni dosegel in zato se niso pomešali s preostalo kompostno vsebino. Odpadki so ostajali še nerazgrajeni in povsem prepoznavni. Omenjeno težavo bi lahko popravili tako, da bi avtomatski kompostnik programsko nadgradili, da bi se mešalo vrtelo v obe smeri oz. z vsakim potrebnim vrtenjem (t.j. vsake štiri ure) v drugo smer. Odpadki se nebi kopičili na enem mestu, ker bi jih mešalni drog lažje zgrabil, potegnil za seboj in zmlel.

5.

Temperaturni senzor je meril temperaturo zraka v kompostniku in ne neposredno temperature komposta. Senzor je bil postavljen v mešalni komori med kompostno maso in pokrovom kompostnika. Če bi senzor postavili v kompostno maso, bi dobili reprezentativnejše rezultate (vendar bi mešalo uničilo senzor). Skladno z zgornjim bi bilo smiselno temperaturni senzor vgraditi v steno kompostnika.

6.

V avtomatskem kompostniku ni bila dosežena dovolj visoka temperatura, ki bi zagotovila higienizacijo komposta, zatiranje patogenih mikroorganizmov in semen plevelov. Mogoče je za to kriva postavitev merilnega mesta v kleti, ker so temperature nekoliko nižje kot v drugih prostorih stavbe. Bolje bi bilo, da bi merilno mesto postavili v kuhinjo ali shرابo, kjer bi bila mešanica komposta prezračevana s toplejšim zrakom in bi zato bila lažje dosežena višja temperatura tudi v kompostni mešanici.

6 SKLEPI

V začetku izvajanja poizkusov kompostiranja smo imeli postavljene tri hipoteze. Na osnovi rezultatov in opazovanj jih lahko potrdimo ali zavrnamo.

Hipoteza 1:

Kompostiranje z avtomatskim kompostnikom poteka hitreje od klasičnega načina kompostiranja.

Hipotezo potrjujemo. Razlog, da kompostiranje z avtomatskim kompostnikom poteka hitreje od klasičnega načina kompostiranja je v tem, da avtomatski kompostnik dopolnjujejo trije glavni elementi, ki so za potek razgradnje zelo pomembni. To so: grelec za gretje komposta, mešalo za obračanje komposta in zračna črpalka za aeracijo kompostne mešanice. Grelec omogoča višje temperature, da se razgradnja vrši bolj aktivno. Zračenje zagotavlja aerobne pogoje, ki so pomembni za življenje mikrobov. Vgrajeno mešalo pa omogoča rahljanje odpadkov, dobro prezračevanje in lažjo dosegljivost mikroorganizmom.

Delovanje kompostnika je avtomatsko. Za razliko od kompostiranja na vrtnem kompostniku poteka kompostni proces z avtomatskim kompostnikom praktično neodvisno od vremenskih razmer. Polipropilenska konstrukcija avtomatskega kompostnika daje večjo izolativnost, kar pomeni da temperatura v mešalni komori (kompostni masi) hitreje naraste. Mešanica se zato prej omehča (izguba vode) in prej doseže termofilno fazo. Odpadki hitreje razpadejo.

Hipoteza 2:

Dodajanje posipa za biološke odpadke pospeši proces kompostiranja.

Hipotezo delno potrjujemo. V P1 je bilo zmanjšanje mase komposta večje kot v P2, torej je razgradnja potekala aktivneje. Hipoteze pa ne moremo potrditi v celoti, ker je bil dobljeni kompost iz P1 (kjer smo imeli prisotne koristne mikroorganizme iz biološkega posipa), nepopolno mineraliziran, tako kot kompost iz poizkusa P2. Odstopanja praktično ni bilo.

Uporaba Biogen posipa za biološke odpadke ne izkazuje bistvene prednosti pri kompostiranju z avtomatskim kompostnikom. Posip bi bil koristen, ko bi prišlo do dolgotrajnejšega izpada električne energije, ko mešanica ne bi bila dovolj prezračevana in bi se razgradnja zaradi prisotnosti koristnih mikroorganizmov nadaljevala s procesom fermentacije.

Hipoteza 3:

Pridobljeni kompost bo glede na analizo vsebnosti težkih kovin v kompostu, uvrščen v prvi kakovostni razred (Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla).

Za postavitev hipoteze smo izhajali iz dejstva, da so bili odloženi odpadki ostanki hrane, ki jo uživamo ljudje. Hrana mora biti zdrava in brez strupenih primesi. Glede na takšno razmišljanje, smo pričakovali nižje vrednosti težkih kovin v dobljenem kompostu.

Hipotezo potrjujemo. Koncentracije težkih kovin so bile pod mejo dovoljenih vrednosti. V poizkusih smo zato dobili kompost prvega razreda (z neomejeno uporabo). Takšen kompost lahko uporabljamo na kmetijskih zemljiščih za gnojenje kultur, brez soglasja ministerstva ali drugih institucij.

7 ZAKLJUČEK

Z diplomsko nalogo smo posegli v zelo aktualno področje zmanjševanja bioloških odpadkov in njihove koristne uporabe. Zaradi posledic, ki se dogajajo ob nepravilnem odlaganju na deponije in neustreznem recikliranju omenjenih odpadkov, je pomembno, da z odpadki pričnemo čim prej ustrezno ravnati. Ena izmed možnih rešitev je kompostiranje.

Kompostiranje je ekološki proces, ki deluje v sožitju z naravo, jo obnavlja in obenem ščiti. Hkrati daje koristen produkt v obliki organskih gnojil. Izkoriščenost kmetijskih proizvodov je s kompostiranjem 100%-na.

Dolgoročno se investicija v izdelavo kompostnika ali nakup kompostnika (npr. avtomatskega kompostnika) izplača. Z odpadki ravnamo bolj smotno, saj jih predelujemo blizu njihovega nastanka. Sami pridelujemo gnojila in tako botrujemo k čistemu okolju ter zastavljenim oz. predpisanim okoljskim ciljem (zmanjšati količine odloženih bioloških odpadkov na odlagališča, zmanjšati delež odloženih biološko razgradljivih snovi v komunalnih odpadkih ...).

V diplomskem delu smo z izvajanjem poizkusov kompostiranja поблиže spoznali delovanje avtomatskega kompostnika (NatureMill, HC52 - PRO Edition) za kompostiranje bioloških odpadkov iz kuhinje. Ugotovili smo, da ja naprava koristna in ima mnoge prednosti pred klasičnim načinom kompostiranja. Avtomatski kompostnik bi bil uporabnikom prijaznejši, če bi ga dodatno še izpopolnili. Poleg priporočil, ki jih predlagamo v razpravi diplomskega dela, bi lahko avtomatski kompostnik še dodatno strojno in programsko nadgradili. V kompostnik bi lahko vgradili senzor za merjenje notranje temperature, senzor za merjenje vlažnosti in pH meter. Naštete merilne komponente bi lahko vgradili v nižje predele mešalne komore, da bi imele večji stik s kompostno mešanico in bi bile meritve relevantnejše. Hkrati bi lahko nadzorno ploščo kompostnika nadgradili in dopolnili z grafičnim prikazom teh meritev. Na ta način bi lahko neprestano nadzorovali proces razgradnje in bi lahko hitreje ukrepali v primeru nepravilnosti.

Vzpodbujanje razgradnje bioloških odpadkov na mestu nastanka s kompostiranjem ali drugimi ekološkimi oblikami razgradnje, je v Sloveniji ključnega pomena z vidika zmanjševanja onesnaženja okolja. Z ustreznim ravnanjem ter preoblikovanjem bioloških odpadkov (kompostiranjem) lahko postanemo ekološko bolj ozaveščena dežela. Ustrezno odlaganje in predelava odpadkov bi lahko prispevala k zmanjševanju

odlagališčnih prostorov in nas usmerila k skupnemu cilju "Zero Waste" ("brez odpadka").

Z diplomsko nalogo sem poskusil pripomoči k razširjanju znanja o kompostiranju in k razširjanju ozaveščenosti ljudi o pomenu kompostiranja. Področje kompostiranja je zelo široko in ni še popolnoma proučeno, zato bi lahko bili moji rezultati koristen doprinos k nadaljnim raziskavam.

VIRI

- [1] Arthur, E. Cornelis, W.M. Vermang, J. De Rocker, E. 2011. *Effect of compost on erodibility of loamy sand under simulated rainfall*. Catena 85: 67-72.
- [2] Babič, R. 2011. *Kanalizacija - Navodila za vaje*. Neobjavljeno študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- [3] Bolan, N. Kunhuikrishanan, A. etc. 2014. *Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize?*. Journal of Hazardous Materials 266: 141-166.
- [4] Brglez, P. Holobar, A. Pivec, A. Colja, M. Kolar, M. 2012. *Spremljanje razgradnje organskih odpadkov z optičnim kisikovim senzorjem na osnovi tris (4,7-difenil-1,10-fenantrolin) ruti-nijevega(II) diklorid kompleksa*. Portorož, Zbornik povzetkov Slovenski kemijski dnevi 2012.
- [5] *Compost fundamentals*. 2014. Washington State University.
<http://whatcom.wsu.edu/ag/compost/fundamentals/>
(Pridobljeno dne 2. 2. 2014.)
- [6] Diaz, L.F. Savage, G.M. 2007. *Chapter 4 Factors that affect the process*. Waste Management Series 8: 119-157.
- [7] *EM Tehnologija d.o.o.* 2014.
<http://www.emtehnologija.si/>
(Pridobljeno dne 29. 3. 2014.)
- [8] Farrell, M. Jones, D. L. 2009. *Heavy metal contamination of a mixed waste compost: Metal speciation and fate*. Bioresource Technology 100: 4423-4432.
- [9] Formowitz, B. Elango, F. Okumoto, S. Muller, T. Buerkert, A. 2007. *The role of effective microorganisms in the composting of banana (Musa ssp.) residues*. J. Plant Nutr. Soil Sci 170: 649-656.
- [10] Gamroth, M. 2012. *Composting: An Alternative for Livestock Manure Management and Disposal of Dead Animals*, Oregon State University Extension Service: 1-6.

- [11] Gautam, S.P. Bundela, P.S. Pandey, A.K. Awasthi, M.K. Sarsaiya, S. 2010. *Composting of Municipal Solid Waste of Jabalpur City*. Global Journal of Environmental Research 4, 1: 43-46.
- [12] *Gimborn Italia*. 2014.
<http://www.gimborn.it/>
(Pridobljeno dne 29. 3. 2014.)
- [13] Higa, T. Parr, J. F. 1994. *Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment*. Japan, International Nature Farming Research Center: 1-16.
- [14] Hočurščak, M. 1998. *Kompostiranje in preživetje mikroorganizmov v kompostu*. Maribor, Zborniki Mišičevih vodarskih dni: 49-54.
- [15] Hu, C. Qi, Y. 2013. *Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China*. Europ. J. Agronomy 46: 63-67.
- [16] Hubbe, M. A. Nazhad, M. Sanchez, C. 2010. *Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: a review*, BioResources 5, 4: 2808-2854.
- [17] Husič, V. 2013. *Kompostiranje oljčnih tropin*. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo (samozaložba V. Husič).
- [18] Insam, H. de Bertoldi, M. 2007. *Chapter 3 Microbiology of the composting process*. Waste Management Series 8: 25-48.
- [19] Keeling, A. A., Griffiths, B.S. Ritz, K. Myers, M. 1995. *Effects of compost stability on plant growth, microbiological parameters and nitrogen availability in media containing mixed garden-waste compost*. Bioresources Technology 54: 279-284.
- [20] Khaliq, A. Abbasi, M. K. Hussain, T. 2006. *Effects of integrated use of organic and inorganic nutrient sources with effective microorganisms (EM) on seed cotton yield in Pakistan*. Bioresource Technology 97: 967-972.
- [21] Kovačič, J. 2009. *Kompostiranje pozno košenega barjanskega sena in prašičje gnojevke*. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko (samozaložba J. Kovačič).
- [22] Kumar, M. Ou, Y.-L. Lin, J.-G. 2010. *Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio*. Waste Management 30: 602-609.
- [23] Li, Z. Lu, H. Ren, L. He, L. 2013. *Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review*. Chemosphere 93: 1247-1257.

- [24] Lindani, N. Brutsch, M. O. 2012. *Effect of the integrated use of effective microorganisms, compost and mineral fertilizer on greenhouse-grown tomato*. African Journal of Plant Science 6, 3: 120-124.
- [25] Lleó, T. Albacete, E. Barrena, R. Font, X. Artola, A. Sánchez, A. 2013. *Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management*. Journal of Cleaner Production 47: 70-76.
- [26] Lokman Che Jusoh, M. Abd Manaf, L. Abdul Latiff, P. 2013. *Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality*. Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering.
- [27] Mangkoedihardjo, S. 2006. *REvaluation of Maturity and Stability Indices for Compost*. J. Appl. Sci. Environ. Mgt. 10, 3: 83-85.
- [28] Mehta, C.M., et al. 2013. *Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases*. Waste Management 34: 607-622.
- [29] Mukhtar, S. 2008. *Using Compost for Erosion Control and Revegetation*. Texas Water Resources Institute. AgriLIFE EXTENSION.
<http://compost.tamu.edu/docs/compost/pubs/erosioncontrolrevegetation.pdf>
(Pridobljeno dne 10. 2. 2014.)
- [30] Naidu, Y. Meon, S. Siddiqui, Y. 2013. *Foliar application of microbial-enriched compost tea enhances growth, yield and quality of muskmelon (Cucumis melo L.) cultivated under fertigation system*. Scientia Horticulturae 159: 33-40.
- [31] NatureMill. *Compost made easy*. 2014.
<http://www.naturemill.net/>
(Pridobljeno dne 2. 2. 2014.)
- [32] Pane, C. Celano, G. Villecco, D. Zaccardelli, M. 2012. *Control of Botrytis cinerea, Alternaria alternata and Pyrenochaeta lycopersici on tomato with whey compost-tea applications*. Crop Protection 38: 80-86.
- [33] *Pravilnik o predelavi biološko razgradljivih odpadkov v kompost*. Uradni list RS št. 42/2004.
- [34] Radovich, T. Pant, A. et al. 2011. *Promoting plant growth with Compost Teas*. Hawaii. The Food Provider: 1-3.
http://www.ctahr.hawaii.edu/sustainag/news/articles/V7-Radovich_etal-CompostTea.pdf
(Pridobljeno dne 5. 6. 2014.)
- [35] Sæbø, A. Ferrini, F. 2006. *The use of compost in urban green areas - A review for practical application*. Urban Forestry & Urban Greening 4: 159-169.

- [36] Shahardeen, R. N. M. Setan, T. H. 2013. *Impact of animal manure EM-bokashi on seed yield and quality of vegetable cowpea (vigna unguiculata L.)*. Bangladesh journal of scientific and industrial research, Bangladesh, 48, 1: 33-38.
- [37] Sundberg, S. Jonsson, H. 2008. *Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration*. Waste Management 28: 518–526.
- [38] *The Importance of Compost Maturity*. 2003. California Integrated Waste Management Board. [http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Organics %5C44303007.pdf](http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Organics%5C44303007.pdf) (Pridobljeno dne 4. 6. 2014.)
- [39] *Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla*. Uradni list RS št. 84/2005.
- [40] *Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov*. Uradni list RS št. 61/2011.
- [41] *Uredba o odpadkih*. Uradni list RS št. 103/2011.
- [42] *Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata*. Uradni list RS št. 99/2013.
- [43] *Uredba o ravnanju z biološko razgradljivimi kuhinjskimi odpadki in zelenim vrtnim odpadom*. Uradni list RS št. 39/2010.
- [44] Vesel, N. 2011. *Uporaba odvečnega blata iz občinske komunalne čistilne naprave*. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba N. Vesel).
- [45] Vetayasuporn, S. 2006. *Effects of Biological and Chemical Fertilisser on Growth and Yield of Glutinous Corn Production*. Thailand, Mahasarakham University, Faculty of Technology, Department of Biotechnology, Journal of Agronomy 5, 1: 1-4.
- [46] Wang, C. Lu, H. Deng, D. et al. 2013. *Insight into the Effects of Biochar on Manure Composting: Evidence Supporting the Relationship between N₂O Emission and Denitrifying Community*. Environmental Science & Technology 47: 7341-7349.
- [47] Waszkielis, K. M. Wronowski, R. Chlebus, W. Białobrzewski, I. Dach, J. Pilarski, K. Janczak, D. 2013. *The effect of temperature, composition and phase of the composting process on the conductivity of the substrate*. Ecological Engineering 61: 354-357.

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: POTEK MERITEV

PRILOGA B: MERILNO MESTO IN POTREBNA OPREMA

PRILOGA C: ZASNOVA AVTOMATSKEGA KOMPOSTNIKA

PRILOGA D: FOTODOKUMENTACIJA

PRILOGA A: POTEK MERITEV

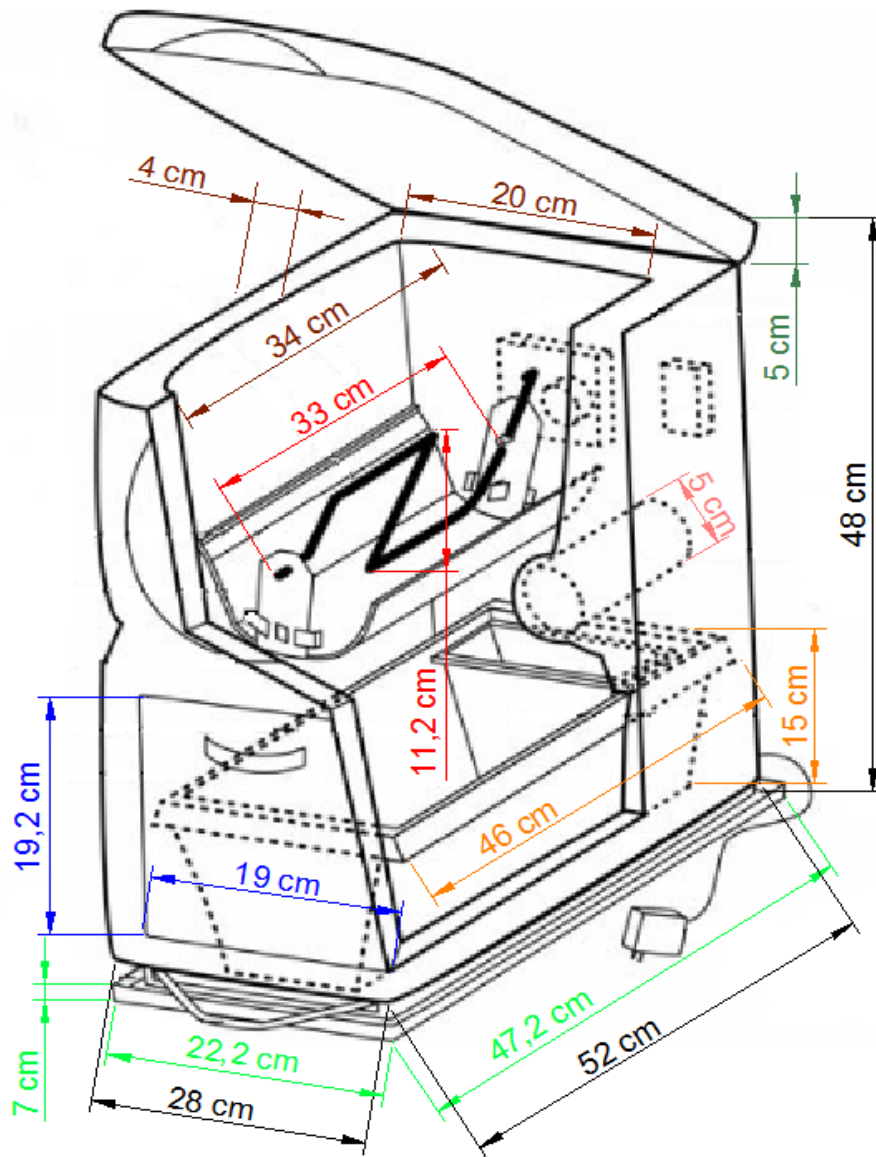
Zap. dan	Poizkus 1	Poizkus 2	Temp.	Koncent. O ₂	pH	Tehtanje	Org./Anorg. snovi	EC	Skupni C, N in P	Težke kovine	Vlažnost kleti
1	29.3.2014	6.4.2014	da	/	/	/	/	/	/	/	da
2	30.3.2014	7.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
3	31.3.2014	8.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
4	1.4.2014	9.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
5	2.4.2014	10.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
6	3.4.2014	11.4.2014	ne	da	da	/	/	/	/	/	da
7	4.4.2014	12.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
8	5.4.2014	13.4.2014	da	da	da	/	/	/	/	/	da
9	6.4.2014	14.4.2014	da	da	da	da	da	da	da	/	da
10	7.4.2014	15.4.2014	/	/	da	/	/	/	/	/	da
11	8.4.2014	16.4.2014	/	/	da	da	da	da	da	/	da
12	9.4.2014	17.4.2014	/	/	da	/	/	/	/	/	da
13	10.4.2014	18.4.2014	/	/	da	da	da	da	da	/	da
14	11.4.2014	19.4.2014	/	/	da	/	/	/	/	/	da
15	12.4.2014	20.4.2014	/	/	da	da	da	da	da	da	da

PRILOGA B: MERILNO MESTO IN POTREBNA OPREMA



- 1 → avtomatski kompostnik
- 2 → posoda z odpadki
- 3 → biološki posip
- 4 → peleti
- 5 → soda bikarbona
- 6 → prenosni računalnik
- 7 → senzor za zunanjo temp.
- 8 → senzor za notranjo temp.
- 9 → vmesnik za senzorje
- 10 → pH senzor
- 11 → senzor za kisik
- 12 → tehtnica
- 13 → vlagomer
- 14 → ostala oprema

PRILOGA C: ZASNOVA AVTOMATSKEGA KOMPOSTNIKA



PRILOGA D: FOTODOKUMENTACIJA

