

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**KOMPOSTIRANJE ANAEROBNO OBDELANEGA BLATA IZ
KOMUNALNE ČISTILNE NAPRAVE**

JOLANDA RIHTER PIKL

VELENJE, 2015

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**KOMPOSTIRANJE ANAEROBNO OBDELANEGA BLATA IZ
KOMUNALNE ČISTILNE NAPRAVE**

JOLANDA RIHTER PIKL

Varstvo okolja in ekotehnolgije

Mentor: prof. dr. Milenko Roš

Somentorica: Martina Kostanjšek, univ. dipl. inž. kem. tehnol.

VELENJE, 2015

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Priloga 2: Sklep o magistrskem delu



Številka: 727-2/2014-2

Datum in kraj: 20. 11. 2014, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študent-ka VŠVO

Jolanda Rihter Piki

lahko izdela magistrsko delo:

Naslov magistrskega dela v slovenskem jeziku: Kompostiranje anaerobno obdelanega blata iz komunalne čistilne naprave.

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku: Composting of anaerobic treated sludge from a municipal wastewater treatment plant.

Mentor-ica: prof. dr. Milenko Roš

Somentor-ica: Martina Kostanjšek

Magistrsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo magistrskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekan
doc. dr. Boštjan Pokorny



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Jolanda Rihter Piki**, z vpisno številko 34122009, študentka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica magistrskega dela z naslovom:

KOMPOSTIRANJE ANAEROBNO OBDELANEGA BLATA IZ KOMUNALNE ČISTILNE NAPRAVE,

ki sem ga izdelala pod mentorstvom prof. dr. Milenka Roša in somentorstvom Martine Kostanjšek, univ. dipl. inž. kem. tehnol.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili VŠVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili VŠVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na VŠVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Ana Čemažar;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani VŠVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne 16.03.2015

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi magistrskega dela se za strokovno usmerjanje in nasvete vljudno zahvaljujem mentorju prof. dr. Milenku Rošu. Zahvala je namenjena tudi Javnemu komunalnemu podjetju Žalec, ki mi je omogočilo opravljati raziskovalno delo na Centralni čistilni napravi Kasaze pod mentorstvom ge. Martine Kostanjšek, ki mi je posredovala potrebne podatke in me s tem vodila v pravo smer. Zahvaljujem se tudi ge. Mateji Podpečan za prijazno pomoč v laboratoriju.

Zahvala naj se dotakne tudi mojega moža, hčerke Doris in sina Adama, ki so bili v času mojega študija zelo potrpežljivi in so mi z moralno podporo pomagali do študijskega cilja.

IZVLEČEK

Na Centralni čistilni napravi Kasaze (CČN) poteka čiščenje odpadnih voda po postopku biološkega čiščenja z aktivnim blatom. Pri čiščenju kot stranski produkt nastaja določena količina odpadnega blata, ki ga je treba dodatno obdelati. V preteklosti je bilo dovoljeno to blato odlagati na odlagališča komunalnih odpadkov, vendar je bilo v letu 2009 z zakonodajo tovrstno odlaganje prepovedano. Glede na to, da na CČN Kasaze letno proizvedejo prib. 1.150 ton mineraliziranega blata, ki ga morajo odvažati v tujino, je smiselno sprejeti izziv reševanja te problematike. Eden od načinov porabe biološkega blata iz ČN je kompostiranje.

Serijski preskus je zajemala tri faze, v katerih smo v pomladansko-poletnem času (šest mesecev) analizirali različne kompostne mešanice po metodi statično-dinamičnih kupov pod aerobnimi pogoji (prezračevanje). Aktivno blato iz CČN je pri pripravi kompostne mešanice predstavljalo mikrobno strukturo, medtem ko je organsko komponento predstavljal zeleni odrez hmelja.

Ugotovili smo, da sta kompostni kopi A in B v fazi 1 informativni. Osnovni problem je bil prevelik delež aktivnega blata (50 %), premočno prezračevanje in prepogosto obračanje kop. Mineralizacija je bila slaba, saj se je po 20 dneh kompostiranja mineraliziralo le prib. 1 % organske snovi, po 50 dneh (konec kompostiranja) pa okoli 16 %. V drugi fazi (kopa C) smo pripravili kompostno mešanico z drugačnim razmerjem: 40 % aktivnega blata (AB) in 60 % zelenega odreza hmelja (ZO) ter podaljšali čas kompostiranja na 100 dni. Glede na informativna preskusa smo zmanjšali tudi prezračevanje in posledično je prišlo do boljše mineralizacije organskih snovi, ki je znašala po 20 dneh okoli 7 % in po 50 dneh okoli 18 %. Rezultati so pokazali, da je podaljšanje kompostiranja na 100 dni nesmiselno, saj v tem času ni prišlo do bistvene razlike pri mineralizaciji. Ker smo želeli ugotoviti, kako na kompostni proces vpliva različno razmerje kompostne mešanice, smo v tretji fazi naredili dve kopi: kopo D z razmerjem AB 40 % : ZO 60 % ter kopo E z razmerjem AB 35 % : ZO 65 %. V tej fazi smo spremenili preprihovanje (dvakrat na dan po 15 minut) in prvo obračanje kop smo izvedli šele 18. dan kompostiranja.

Zmanjšanje organske snovi je bila v kopi D 36 % po 20 dneh in 37 % po 50 dneh. V kopi E je bilo zmanjšanje organske snovi po 20 dneh 34 % in po 50 dneh 35 %.

Strukturno razmerje kompostne mešanice in zračenje kop imata direkten vpliv na temperaturno dinamiko kompostiranja, na mineralizacijo organskih snovi in posledično na čas kompostiranja.

Z ustreznim kompostiranjem se lahko zaključi krog ravnanja z blatom na CČN, kar je pozitivno z okoljskega kakor tudi z ekonomskega vidika. Po potrditvi odsotnosti *Salmonelle spp.* menimo, da smo dobili nov in uporaben proizvod – nezrel kompost.

Ključne besede: kompostiranje, termofilno-mezofilno območje, mikrobiološka aktivnost, mineralizacija, anaerobno-aerobna stabilizacija, biološko blato, preprihovanje, higienizacija.

ABSTRACT

The wastewater treatment plant (WWTP) Kasaze practices a biological treatment using activated sludge process. A side effect of the treatment is a certain amount of waste sludge which has to be re-processed. In the past, waste sludge could have been disposed at municipal landfills, but this has been illegal since 2009. The treatment plant Kasaze produces about 1,150 T of mineralized sludge which has to be transported abroad, therefore it were reasonable to approach the problem of sludge disposal. One of the solutions is wastewater sludge composting.

A series of tests carried out consists of three phases. In spring and summer (6 months) we analysed different composting mixtures using the aerated static-pile method (ventilation). The microbial structure of the composting mixture was activated sludge from the plant, whereas the organic component was a green hops cut-off.

Composting piles A and B in the phase 1 were informative. The initial problems were the ratio of active sludge (50 % which was too high), ventilating which was too strong and the piles were turned over too often. The mineralization was not efficient – only app. 1 % of the organic substance was mineralized in 20 days, and about 16 % by the end of composting (50 days). In the second phase (pile C) a different composting mixture was prepared – 40 % of activated sludge (AS) and 60 % percent of the green hops cut-off (GC). The composting time was extended to 100 days. Based on the informative tests the ventilation was reduced, and consequently the mineralization of organic substance was more efficient – 7 % in 20 days and 18 % in 50 days. The results have shown that the extension of composting to 100 days is senseless, while no major differences in mineralization occurred. The aim of the analysis is to find out how the composting mixture ratio affects the composting process, therefore two piles were prepared in the third phase: pile D with 50 % of AS and 60 % of GC, and pile E with 35 % of AS and 65 % of GC. Ventilation was also changed in this phase (15 minutes 2 times per day) and the first turn of the piles was done only after 18 days of composting.

The share of organic matter in pile D was reduced by 36 % in 20 days and by 37 % in 50 days. The organic substance in pile E was reduced by 34 % in 20 days and by 35 % in 50 days.

The structural ratio of the composting mixture and pile-ventilating has a direct influence on the temperature dynamics of composting, organic substance mineralization, and consequently on composting time.

With the appropriate composting sludge treatment can come to full circle and is positive, both from ecological and economical point of view. After having been confirmed that *Salmonelle spp.* is not present in the substance, we can assume that a new and useful product is now available – unripe compost.

Key terms: composting, thermophile-mesophile zone, microbiological activity, mineralization, anaerobe-aerobe stabilization, biologic sludge, ventilation, hygienisation.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD.....	1
2. TEORETIČNA IZHODIŠČA	1
2.1 KOMPOSTIRANJE ODVEČNEGA AKTIVNEGA BLATA.....	3
2.1.1 Kinetika procesa kompostiranja	4
2.1.2 Sestava komposta	5
2.1.3 Mikroorganizmi	6
2.1.4 Kisik	7
2.1.5 Vlaga.....	7
2.1.6 Temperatura	8
2.1.7 Vrednost pH v kompostu	9
2.1.8 Emisije kompostiranja.....	9
3. MATERIALI IN METODE	10
3.1 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA KASAZE.....	10
3.1.1 Vplivi CČN na okolje.....	14
3.2 OPIS DELA	15
3.3 Faza 1	16
3.4 Faza 2	16
3.5 Faza 3.....	17
3.6 Vpihovanje zraka v kompostno mešanico.....	18
3.7 Spremljanje temperature med procesom.....	18
3.8 Vsebnost organske snovi	19
3.9 Vsebnost suhe snovi	20
3.10 Spremljanje vrednosti pH	21
3.11 Ugotavljanje prisotnosti <i>Salmonelle spp.</i>	21
4. REZULTATI.....	22
4.1 Faza 1 - Predhodna preskusa	22
4.1.1 Kopa A.....	23
4.1.1.1 Temperatura in obračanje kope	23
4.1.1.2 Anorganska snov.....	24
4.1.1.3 Organska snov	25
4.1.1.4 Temperatura in pH.....	25
4.1.2 Kopa B.....	26
4.1.2.1 Temperatura in obračanje kope	26
4.1.2.2 Anorganska snov.....	27
4.1.2.3 Organska snov	27
4.1.2.4 Temperatura in pH.....	28
4.2 Faza 2.....	30
4.2.1 Kopa C.....	30
4.2.1.1 Temperatura in obračanje kope	30
4.2.1.2 Anorganska snov v kopi C.....	32

4.2.1.3	Organska snov.....	33
4.2.1.4	Temperatura in pH.....	33
4.3	Faza 3.....	35
4.3.1	Kopa D.....	35
4.3.1.1	Temperatura in obračanje kope.....	35
4.3.1.2	Anorganska snov.....	37
4.3.1.3	Organska snov.....	37
4.3.1.4	Temperatura in pH.....	38
4.3.1.5	Analiza prisotnosti <i>Salmonelle spp.</i>	38
4.3.2	Kopa E.....	38
4.3.2.1	Temperatura in obračanje kope.....	39
4.3.2.2	Anorganska snov.....	40
4.3.2.3	Organska snov.....	40
4.3.2.4	Temperatura in pH.....	41
5.	SKLEP.....	43
6.	VIRI.....	44
7.	PRILOGE.....	48

KAZALO TABEL

Tabela 1: Podatki za kopo A	48
Tabela 2: Podatki za kopo B	50
Tabela 3: Podatki za kopo C	52
Tabela 4: Podatki za kopo D	55
Tabela 5: Podatki za kopo E	57
Tabela 6: Osnovni podatki za kope A in B	59
Tabela 7: Osnovni podatki za kope C, D in E	59
Tabela 8: Osnovni podatki za kope A–E z upoštevanjem razmerij blato : zeleni odrez	59
Tabela 9: Anorganska in organska snov v različnih kopah v različnih časih	60

KAZALO SLIK

Slika 1: Hierarhija ravnanja z odpadki	2
Slika 2: Faze kompostiranja.....	4
Slika 3: CČN Kasaze	10
Slika 4: Grablje	12
Slika 5: Sekundarna usedalnika	12
Slika 6: Gnilišči	13
Slika 7: Centrifuga za obdelavo blata	13
Slika 8: Plinohram	14
Slika 9: Shema CČN Kasaze	15
Slika 10: Blato in stebelni odpad hmelja.....	16
Slika 11: Kompostna mešanica: blato in listni odpad hmelja.....	16
Slika 12: Kompostne kope A, B in C	17
Slika 13: Kompostne kope A, B in C.....	17
Slika 14: Kopa D	17
Slika 15: Puhalo, povezano s cevmi	18
Slika 16: Perforirana cev na dnu kope	18
Slika 17: Merilnik temperature	19
Slika 18: Merjenje temperature	19
Slika 19: Vzorci s kompostno mešanico	19
Slika 20: Precizna tehtnica	20
Slika 21: Žarilna peč	20
Slika 22: Sušilnik	20
Slika 23: Eksikator	20
Slika 24: Stresalnik	21
Slika 25: Merilnik vrednosti pH	21
Slika 26: Blato in stebelni odpad hmelja	22
Slika 27: Blato in listni odpad hmelja	22
Slika 28: Kompostne kope, prekrte s kopreno	22
Slika 29: Temperatura v kopi in zraku – kopa A.....	23
Slika 30: Temperatura in prikaz obračanja kope A	24
Slika 31: Anorganska snov v kopi A	24
Slika 32: Organska snov v kopi A	25
Slika 33: Temperatura in pH v kopi A.....	25
Slika 34: Temperatura v kopi in zraku – kopa B.....	26
Slika 35: Temperatura in prikaz obračanja kope B	27
Slika 36: Anorganska snov v kopi B	27
Slika 37: Organska snov v kopi B	28
Slika 38: Temperatura in pH v kopi B.....	28
Slika 39: Temperatura v kopi in zraku – kopa C.....	30
Slika 40: Temperatura in prikaz obračanja kope C	31
Slika 41: Temperatura v kopi C	31
Slika 42: Popravljen temperatura v kopi C	32
Slika 43: Anorganska snov v kopi C	32
Slika 44: Organska snov v kopi C	33
Slika 45: Temperatura in pH v kopi C.....	34
Slika 46: Temperatura v kopi in zraku – kopa D.....	36
Slika 47: Temperatura in prikaz obračanja kope D	36
Slika 48: Anorganska snov v kopi D	37
Slika 49: Organska snov v kopi D	37

Slika 50: Temperatura in pH v kopi D.....	38
Slika 51: Temperatura v kopi in zraku – kopa E.....	39
Slika 52: Temperatura in prikaz obračanja kope E	39
Slika 53: Anorganska snov v kopi E	40
Slika 54: Organska snov v kopi E	41
Slika 55: Temperatura in pH v kopi E.....	41

1. UVOD

Globalizacija, ki je povezana z vse večjo industrializacijo, nam narekuje smernice ravnanja z odpadki, ki postajajo v vsaki sodobni družbi vse večji izziv. V obdobju razvoja industrije so se odpadki brez nadzora in kontrole odlagali v naravo in razmišljanje o tem, da so odpadki skrb človeka, med ljudmi še ni bilo prisotno. Način življenja družbe in posameznika je povezan z vse večjo proizvodnjo odpadkov. V evropski direktivi o obnovljivih virih energije iz leta 1997 so bile prvič podane enotne smernice za ravnanje z odpadki (Zelena Slovenija 2009).

Do konca leta 2008 je bilo treba sanirati in zapreti večino obstoječih odlagališč komunalnih odpadkov, kamor so se odlagala tudi blata iz komunalnih čistilnih naprav (Uredba o odlaganju ... 2007). Komunalna podjetja so bila s tem postavljena pred izziv reševanja problematike glede odlaganja bioloških blat iz čistilnih naprav (ČN).

Najbolj naravi prijazen način obdelave teh bioloških blat je kompostiranje. To je proces, pri katerem morajo biti zagotovljeni osnovni pogoji, kot je visoka stopnja biotske aktivnosti pri termofilnem območju, vključno s prezračevalnimi zahtevami in vsebnostjo hranil in njihovega medsebojnega razmerja. Pomembno je, da v procesu kompostiranja poteče tudi higienizacija odpadkov, kar pomeni toplotno obdelavo biološko razgradljivih odpadkov, s katero se uničijo vegetativne oblike človeških, živalskih in rastlinskih patogenih organizmov (Umwelt Bundesamt 2013).

V magistrskem delu sem si postavila **hipotezo**, da je mineralizacija organskih snovi in celotni proces kompostiranja odvisen predvsem od časa trajanja kompostnega procesa in razmerja različnih odpadnih snovi pri kompostiranju. Preučili bomo možnost kompostiranja aktivnega blata in zelenega odreza hmelja. Predpostavljamo, da bi morala biti mešanica aktivnega blata in zelenega odreza v 6–9 tednih predelana v nezrel kompost. Skušali bomo ugotoviti, kakšno je najboljše razmerje med odpadnim blatom in zelenim odrezom ter čas kompostiranja.

Cilj magistrskega dela je obdelati mešanico blata in zelenega odreza hmelja, tako da:

- po kompostiranju ne bo neprijetnega vonja,
- se bo zmanjšala količina organske snovi v blatu ter s tem količina blata in
- bo predelano blato uporabno kot kompost.

2. TEORETIČNA IZHODIŠČA

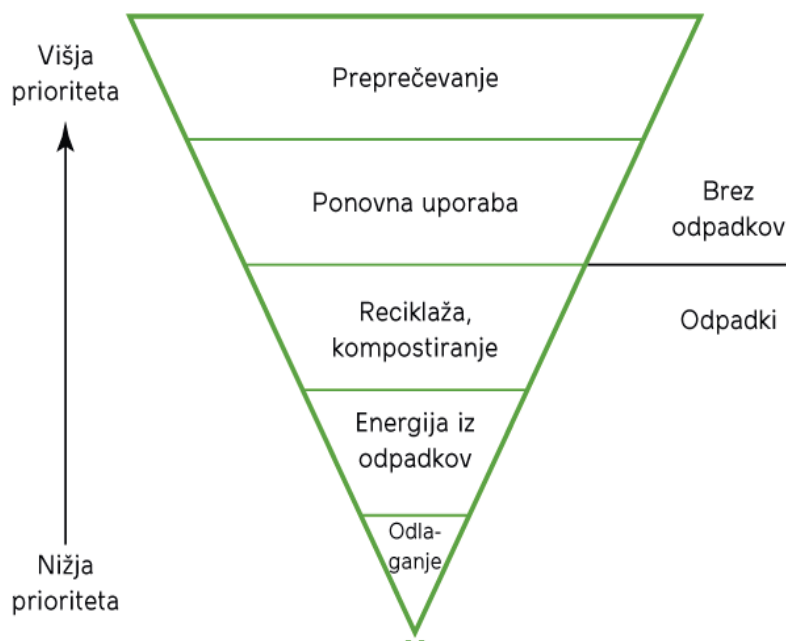
Okoljevarstvene smernice težijo k zmanjševanju in ločevanju odpadkov že na samem viru nastanka. Strateške usmeritve so sestavni del Resolucije o Nacionalnem programu varstva okolja (NPVO), ki je osnovni strateški dokument na področju varstva okolja s ciljem izboljšati okolje in kakovosti življenja ter varovati naravne vire. Cilji in ukrepi so opredeljeni v štirih področjih, in sicer: podnebne spremembe, naravna in biotska raznovrstnost, kakovost življenja ter odpadki in industrijsko onesnaževanje. Navedena področja so povzeta in zato skladna z okoljskim programom Evropske unije (Resolucija o Nacionalnem ... 2006).

Po letu 2008 v Sloveniji ni več dovoljeno odlagati odpadkov iz naselij, industrije, energetike, gradbeništva, kmetijstva in gozdarstva na komunalnih odlagališčih.

Med odpadke iz naselij, ki predstavljajo več kot 90 % vseh komunalnih odpadkov, spadajo tudi blata komunalnih čistilnih naprav, ki zajemajo približno 5,4 % delež (Samec 2005).

O alternativnem načinu ravnanja z odpadnimi blati sta avtorja Zupančič in Grilc (2013) v svojem članku podala zaključke, da se o optimalnem načinu ravnanja z odpadnim blatom komunalnih čistilnih naprav ukvarjajo povsod po svetu, saj so postali eden masovnih odpadkov in posledično je to ekonomski, ekološki in prostorski problem. V državah Evropske unije temelji razvoj ravnanja z blatom na hierarhiji ravnanja z odpadki sistema »3R« (Reduce, Reuse, Recycle):

- zmanjšanje (»Reduce«) nastajanja blata na izvoru z uporabo mikrobnih združb z manjšim prirastom blata,
- ponovna uporaba (»Reuse«) v kompost predelanega blata za kmetijsko in nekmetijsko uporabo,
- recikliranje (»Recycle«) energije, pridobljene iz blata, po anaerobnem postopku (metan) ali pa s sežigom dehidriranega blata (Zupančič in Grilc 2013).



Slika 1: Hierarhija ravnanja z odpadki (Vir: Majkovič, 2013)

Področje ravnanja z odpadki ter njihovo odstranjevanje je del enotnega pravnega reda vseh držav članic Evropske unije. Evropski parlament je sprejel novo okvirno Direktivo o odpadkih 2008/98/ES. Direktiva je usmerjena k zmanjšanju vpliva na okolje zaradi nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjšanju uporabe virov in spodbujanju praktične uporabe hierarhije ravnanja z odpadki. Prav tako podaja nove definicije glede tega, kdaj odpadek preneha biti odpadek, novo definicijo pa imajo tudi stranski proizvodi. Uvaja obvezno hierarhijo ravnanja z

odpadnimi snovmi (Slika 1), v okviru katere je določen prednostni red. Na samem vrhu se kot najboljši način ravnanja z odpadki omenja preprečevanje in minimizacija odpadka na samem izvoru. Sledita mu ponovna uporaba in reciklaža, nato pa izkoriščanje v energetske namene. Kot zadnja, najmanj zaželena možnost, je izpostavljeno odlaganje odpadka na deponijo (Direktiva 2008/98/ES). Slovenija je to direktivo potrdila leta 2011 z novonastalo Uredbo o odpadkih (Uredba o odpadkih 2011).

Evropska komisija namerava uporabljati strukturne sklade Evropske unije (EU) z večjim poudarkom na cilju politike EU glede ravnanja z odpadki. Predlagani večletni finančni okvir za obdobje 2014–2020 bo zagotovil, da se bodo sredstva EU vložila v projekte ravnanja z odpadki, če bodo prej izpolnjeni nekateri pogoji, vključno z razvojem načrtov za ravnanje z odpadki v skladu z okvirno Direktivo o odpadkih in v skladu s hierarhijo ravnanja z odpadki, pri čemer se bo dajala prednost preprečevanju nastajanja odpadkov, ponovni uporabi in recikliranju prek sežiga s pridobivanjem energije, zadnji izhod pa bo odlaganje na odlagališču (Majkovič 2013).

2.1 KOMPOSTIRANJE ODVEČNEGA AKTIVNEGA BLATA

Odvečno aktivno blato, ki nastaja pri biološkem čiščenju odpadnih voda, vsebuje mnogo hranilnih snovi ter tudi lastne mikroorganizme. Ob ustrezni vlažnosti materiala, dodatku vira ogljika (zelene mase) in ob ustrezni prezračeni se v blatu lahko začne proces kompostiranja. Z oksidacijo ogljikovih spojin si mikrobi zagotovijo energijo, ki se deloma porabi v mikrobnem metabolizmu, deloma pa se energija sprošča v obliki toplote (Cukjati 2008).

Kompostiranje je kolektivni proces kroženja snovi v naravi. V kombinaciji pravilnih okoljskih pogojev mikroorganizmi pretvorijo organsko snov, ki je podvržena presnovi v stabiliziran produkt. Torej so organski ostanki hrana nižjim organizmom, kot so bakterije in glive. Naslednja skupina v prehranjevalni verigi so pršice, praživali in črvi, s katerimi se hranijo stonoge, hrošči in mravlje, ki predstavljajo vrh prehranjevalne verige.

Pomembno je, da v procesu kompostiranja poteče higienizacija odpadkov, kjer se z ustrezno toplotno obdelavo uničijo človeški, živalski in rastlinski patogeni organizmi. V odpadnih vodah se namreč pogosto nahajajo nezaželene koncentracije različnih snovi, ki se s fizikalnimi in kemijskimi procesi čiščenja vode ne odstranijo in se nalagajo v blatu. Mednje spadajo težke kovine, kot so svinec, živo srebro, kadmij, slabo razgradljive organske spojine (razni PCB-ji, npr. dioksini), mikroorganizmi itd. (Umwelt Bundesamt 2013). Zaradi vsebnosti teh snovi je uporaba blata za različne namene zelo omejena.

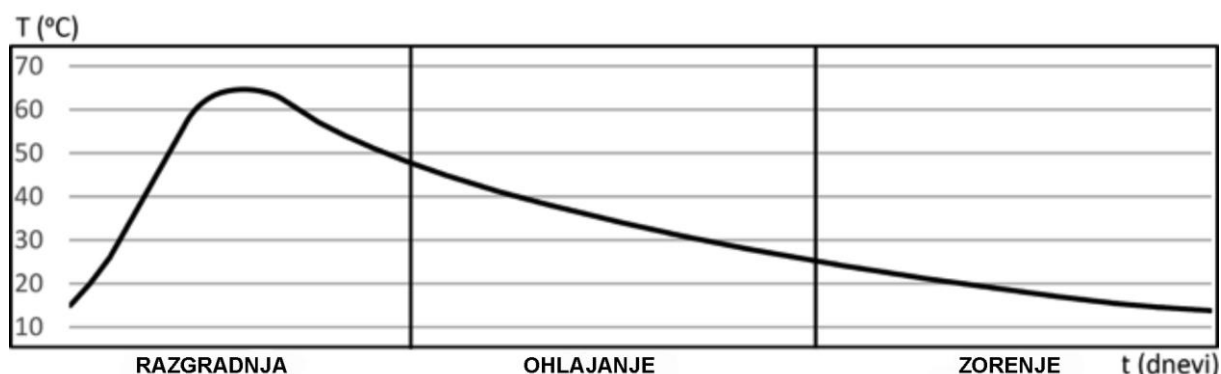
Evropska unija nadzoruje uporabo blata v kmetijstvu zaradi preprečevanja negativnih učinkov na tla, kar bi lahko posledično vplivalo na vegetacijo, na živali in v sklopu prehranjevalne verige tudi na ljudi. Direktiva o varstvu okolja, zlasti tal, za uporabo blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu predvsem določa maksimalne vrednosti koncentracij težkih kovin in prepoveduje vnos blata, kadar koncentracija določenih snovi v tleh presega te vrednosti. Blato iz čistilnih naprav ima koristne agronomske lastnosti v kmetijstvu. Pri uporabi tega blata je potrebno upoštevati potrebe rastlin po hranilih, vendar tako, da ne škodi niti kvaliteti zemlje niti podzemnim in površinskim vodam (Direktiva 1986/86/278/EEC).

Med procesom kompostiranja prihaja do velikih bioloških, kemijskih in fizikalnih sprememb. Te spremembe ne zagotavljajo samo dragocenih informacij o dejanskem procesu kompostiranja, ampak se lahko mnoge informacije uporabijo kot kontrolni mehanizmi za doseg optimalnega kompostiranja in posledično koristnega proizvoda – komposta. Torej je poznavanje teh temeljnih sprememb zelo pomembno, če je kompostiranje sprejemljiva tehnologija za predelavo organskih frakcij odpadkov (Day in Schaw 2001).

2.1.1 Kinetika procesa kompostiranja

Kompostiranje lahko poteka v zaprti kompostarni ali na prostem. V grobem se kompostiranje deli na tri faze (Slika 2):

- **Faza razgradnje** organskih snovi, ki je posledica kemijskih pretvorb v procesu kompostiranja.
- **Faza ohlajanja**, kjer se razgradijo kompleksne organske snovi. Humus ima majhno hranilno vrednost in zmanjša se volumen kompostnega kupa.
- **Faza zorenja** (nastanek humusa), kjer višji organizmi poskrbijo, da kompost dozori.



Slika 2: Faze kompostiranja

Za aktivnost prvega dela **prve faze kompostiranja** so potrebni mezofilni mikroorganizmi, katerih intenzivni aerobni metabolizem povzroča naglo naraščanje temperature v kupu. Mešanica materiala, ki ima dovolj vlage in kisika, predstavlja idealen medij za bakterije in kvasovke, ki s svojim metabolizmom razkrajajo organske snovi. Ko temperatura v kompostni kopi doseže 40 °C, pride do faze **intenzivne razgradnje** in do bistvene spremembe v strukturi mikrobne združbe, saj pričnejo prevladovati termofilni organizmi, ki razgrajujejo proteine, maščobe, celulozo in hemicelulozo. V tej fazi kompostna kopa izgubi velik del volumna. **V naslednji fazi, v fazi ohlajanja**, se temperatura postopoma znižuje (približuje se zunanji temperaturi) in s tem povzroča ponovno rast mezofilnih mikroorganizmov, ki razgrajujejo preostanek organske snovi. V kompostu se pojavijo višji organizmi, kot so praživali, mnogočlenarji in členonožci, ki poskrbijo, da **kompost dozori**. Proces kompostiranja je zaključen, ko je biološka aktivnost popolnoma končana (Cukjati 2008).

Na potek kompostiranja vpliva razmerje ogljika (C) in dušika (N), pH, vsebnost suhe snovi, kakor tudi koncentracija kisika (O_2) in ogljikovega dioksida (CO_2). Večina raziskanih mikrobnih skupin dokazuje njihove najvišje koncentracije proti koncu termofilne faze, po tem pa pride do upadanja (Chroni idr. 2009). Populacija vseh mezofilnih in termofilnih bakterij se poveča pri termofilni fazi, potem pa sledi upadanje temperature. Torej ima na mikrobnu zaporedje največji vpliv termofilna faza oz. najvišja stopnja temperature (prav tam, str. 1525).

Avtor navaja, da se med kompostiranjem znižujejo hlapne organske snovi, kot tudi vodotopne frakcije ogljika (C), kar kaže na to, da so se manj stabilne ogljikove frakcije med procesom mineralizirale. Mikrobnost aktivnost, ki je bila izmerjena z mikrobnost respiracijo, se je s kompostiranjem prav tako znižala, kar kaže na bolj stabilen produkt – kompost (Hernandez 2006).

V raziskavi so avtorji ugotavljali spremembe v razgradnji organskih snovi in mikrobnih združb med termofilnim kompostiranjem, kjer so primerjali uporabo dveh različnih tipov anaerobnega blata: enega iz mezofilne fermentacije metana, ki je vsebovalo visoko koncentracijo proteinov (S-blato), in drugega iz termofilne fermentacije metana, ki je vsebovalo visoke koncentracije lipidov in vlaknin (K-blato). Razlika v stopnji razgradnje organske snovi se je ujemala z razliko v komponentah organske snovi; stopnja sproščanja CO_2 je bila pri kompostiranju S-blata večja kot pri K-blatu. Poleg tega je pri S-blatu prišlo do povečanja amonijaka (NH_3), kar je posledica razgradnje proteinov (Nakasaka idr. 2009).

Pri preučevanju sprememb lastnosti naravnih organskih snovi v laboratorijskem eksperimentu je bilo ugotovljeno, da se lahko 53-dnevno kompostiranje razdeli v tri faze: v prvi fazi (2–3 tedne) je potekala hitra razgradnja organskih snovi, v drugi fazi je prišlo do prevlade humifikacije organskih snovi in nastanek polikondenziranih snovi, podobnim huminskim (v naslednjih dveh tednih), v tretji fazi pa je prišlo do stabilizacije preoblikovanega organskega materiala in do zmanjšanja mikrobne aktivnosti (Zbytniewski in Buszewski 2005).

2.1.2 Sestava komposta

Sestava kompostnih produktov je zelo raznovrstna in je v glavnem odvisna od sestave uporabljenih organskih odpadkov (Turk 2011).

Najpomembnejši elementi oz. glavna hranila za mikroorganizme v fazi kompostiranja so ogljik (C), dušik (N), fosfor (P) in kalij (K). Ogljik mikroorganizmom predstavlja vir energije in je vezan na vse energetske procese v celici. Dušik je bistvena sestavina celice in služi za sintezo celičnih proteinov. Mikroorganizmi potrebujejo 30 enot ogljika, da lahko predelajo eno enoto dušika.

Proces kompostiranja ima velik vpliv na biološko razpoložljivost dušika v različnih blatih. To je pokazala študija, kjer se je anaerobno predelano blato, imenovano sveže blato, kompostirano blato in termično sušeno blato uporabljalo na apnenčevi površini z ilovnato sestavo. Za ocenitev učinkov po obdelavi, kateri so bile podvržene različne vrste blata glede na dostopnost dušika na površini tal, je bila izmerjena koncentracija mineralnega dušika (amonijev dušik – NH_4-N – in nitratni dušik – NO_3-N) v tleh. Največje razlike v koncentracijah NH_4-N in NO_3-N v tleh so bile opažene v prvih treh tednih zaradi preoblikovanja organske snovi. Pri termično

sušenem in kompostiranem blatu so se v tleh sprva kazale višje koncentracije $\text{NH}_4\text{-N}$ in $\text{NO}_3\text{-N}$, medtem ko so se pri uporabi svežega blata spremembe v tleh pokazale šele po petih mesecih in takrat so bile tudi najvišje koncentracije $\text{NH}_4\text{-N}$ in $\text{NO}_3\text{-N}$ (Tarrason idr. 2008).

Pri kompostiranju je zelo pomembno razmerje hranilnih snovi v kompostni mešanici, saj določa uspešnost razgradnje organskih snovi z mikroorganizmi. Pomembnost ogljika se povezuje z energetskimi procesi v celici in njegovim deležem v celični biomasi. Pomen dušika se pokaže pri bakterijah, katerih biomasa sestavlja več kot 50 % beljakovin, saj ga potrebujejo za svojo rast (Bilitewski idr. 2000). Optimalen razvoj mikrobiološke populacije se zaustavi, če pride do zmanjšanja dušika, in to posledično vpliva na upočasnitev procesa kompostiranja. Ob prevelikih količinah dušika pa se proces kompostiranja pospeši (prav tam, str. 729).

Najugodnejše razmerje med ogljikom in dušikom je 30 : 1. Pri takem razmerju potekajo vsi procesi nemoteno. Če se to razmerje poruši, se spremeni tudi aktivnost mikroorganizmov in posledično tudi hitrost kompostiranja (Müller-Kopp 2012). Količina celotnega ogljika v kompostnem materialu se zmanjša v prvih sedmih dneh za 11–27 %, količina celotnega dušika pa se zmanjša za 13–23 % (Cukjati 2008).

2.1.3 Mikroorganizmi

V procesu kompostiranja poteče razkroj biološko razgradljivih odpadkov s pomočjo mikroorganizmov, ki potrebujejo za svoje delovanje ustrezne pogoje: prezračevanje, vlago in ustrezno razmerje hranil. V tem procesu poteka razgradnja organskega dela v anorgansko obliko. Razgradnja je primerljiva z nastankom humusa v naravi, ki nastane iz odpadkov pod vplivom delovanja mikroorganizmov, bakterij in gliv (Cukjati 2008).

Torej je celoten kompostni proces odvisen od zaporednih aktivnosti raznovrstnih mikroorganizmov, katerih število in vrste se začnejo spreminjati že v fazi zorenja komposta.

Glede na to, da se pri razgradnji organskih molekul sprošča veliko toplote, delimo mikroorganizme na:

- **psihrofilne**, ki se pojavijo v temperaturnem območju od 0 do 30 °C,
- **mezofilne**, ki jim ustrezajo temperaturni pogoji od 30 do 45 °C; v tem temperaturnem območju pride do sprememb v številu mikroorganizmov, in sicer se število termofilnih organizmov zmanjša, poveča pa se število mezofilnih bakterij in gliv; tej fazi se v procesu razgradnje kompostne mase pojavijo višji organizmi: praživali, mnogočlenarji in členonožci (Schurard 2005),
- **termofilne**, ki pospešeno delujejo pri temperaturi od 45 do 70 °C, vendar se pri zelo visokih temperaturah populacija mikroorganizmov znatno zmanjša; preživijo samo tisti mikroorganizmi, ki so odporni proti visokim temperaturam, teh pa je zelo malo.

V vlažnem okolju in ob prisotnosti lahko razgradljivih organskih snovi obstaja vsaj 1000 vrst različnih bakterij. Prevladujoče so heterotrofne bakterije, ki se hranijo z organskim ogljikom in dušikom. Medtem ko avtotrofne bakterije uporabljajo mineralni ogljik, amonij, nitrato in plinasti dušik (Turk 2011).

2.1.4 Kisik

Mikroorganizmi se razlikujejo glede na tolerantnost oz. potrebo po kisiku. Kisik je najpomembnejši regulacijski dejavnik pri usmerjanju metabolizma celice (Danevčič in Mulec 2008).

Maksimalna biorazgradnja v kompostu poteka v območju 15 % vsebnosti kisika. Ta vsebnost pripomore k preprečevanju anaerobnih procesov znotraj kompostne mase. Koncentracija 10–15 % je še sprejemljiva, vrednost pod 5 % že predstavlja upočasnitev procesa (Cukjati 2008). Znano je, da v dobro prezračenem kompostnem kupu z ustrezno vsebnostjo vlage procesi razgradnje potekajo hitreje kot običajno. Med procesom je treba kompostni mešanici dovajati kisik v obliki naravnega prezračevanja, saj pri tem zaradi temperaturne razlike med materialom in zrakom preko rešetke pride do gibanja zraka od spodaj navzgor (prav tam, str.12).

Dinamičnost kompostnega procesa je odvisna od prisotnosti zraka v kompostni mešanici. Pri tem je pomembna struktura kompostne kope, ki mora biti takšna, da so zagotovljeni pogoji za kroženje zraka.

Prezračevanje v kompostni kopi lahko izboljšamo s periodičnim mešanjem in obračanjem kompostnega materiala. Pri tem moramo redno spremljati temperaturo, saj se kopa med mešanjem ohlaja.

Avtor ugotavlja, da zadostuje, če kompostno kopo obrnemo oz. premešamo na vsake 3–4 tedne. S tem se premešajo tudi zunanje plasti kope in notranjost, kjer je trohnenje najmočnejše (Turk 2011).

Prezračevanje lahko ustvarimo tudi s tehničnim dodatkom, kot je namestitev perforiranih cevi na dno kompostne kope. S tem načinom lahko sami uravnavamo oz. pospešujemo kompostni proces, s tem da istočasno spremljamo tudi vsebnost vlage v kompostnem kupu.

2.1.5 Vlaga

Mikroorganizmi sprejemajo hrano v raztopljeni obliki, zato mora biti vlaga v kompostu enakomerno razporejena. Če pride do nihanja vlage, so posledično moteni vsi procesi kompostiranja, kajti preveč vlage lahko uniči mikroorganizme, premalo vlage pa mikroorganizme izsuši.

Vsebnost vlage v kompostni mešanici naj bi bila 50–70 % in je v obliki proste tekočine ali v obliki metabolne vlage, to je vlaga, ki nastaja pri razgradnji organskih snovi. Minimum vlage, ki še omogoča bakterijsko aktivnost, je 12–15 % (Pausch idr. 2010). Glede na to, da so organske snovi topne v vodi, bi bila po navedbah avtorjev najboljša 100 % vlažnost. Če se vsebnost vlage zniža oz. pade pod 45 %, se proces kompostiranja upočasni, saj mikroorganizmi v takih razmerah ne morejo delovati in posledično ne pride do razkroja organskih snovi (Tiquia idr. 1996).

Vlaga v kompostni kopi vpliva na zračno poroznost kompostnega materiala, saj se le-ta zmanjša s povečanjem vsebnosti vlage. Po navedbah raziskovalcev se je velikost delcev v kompostnem materialu povečala s povečanjem vsebnosti vlage z 20 na 80 % glede na zmogljivost zadrževanja vode. Dramatično se je povečala blizu nasičenja, na splošno se je propustnost povečala s povečanjem poroznosti in zmanjšanjem gostote, torej je poroznost odvisna od ravnotežja med velikostjo delcev in zračno poroznostjo (Ahn idr. 2008).

Podatki o vsebnosti vlage med kompostiranjem nam pomagajo pri izbiri najprimernejšega strukturnega vhodnega materiala, ki ima vpliv na aktivnost celotnega procesa. V končni fazi je pomembna predvsem stabilnost komposta in zakonske zahteve (predvsem zdravstveni predpisi) za uporabo končnega produkta na zemljiščih, kar je povezano z razmerjem dodanega strukturnega materiala za povečanje prostornine (Ponsa idr. 2009).

2.1.6 Temperatura

Proces kompostiranja se začne pri nizki temperaturi, ki se postopoma zvišuje do maksimuma 70 °C. Na temperaturo vplivajo mikrobne aktivnosti med kompostiranjem in akumulirana toplota, ki nastane z metaboličnimi reakcijami. Pri reakcijah se sproščena toplota znotraj kompostne mase akumulira veliko hitreje, kakor izgublja in posledično pride do segrevanja celotne kompostne mase (Štukl 2013). V ta proces so vključene tri temperaturne faze:

- **Mezofilna faza** predstavlja zmerno temperaturo med 20 in 45 °C in traja nekaj dni. V tej fazi se razvijejo mikroorganizmi, ki hitro razgradijo topne in lahko razgradljive organske snovi, kot so sladkorji in aminokisliline.
- **Termofilna faza** nastane pri temperaturi nad 40 °C in se giblje vse do 70 °C. V tej fazi se razvijejo termofilni mikroorganizmi, ki razgrajujejo proteine, maščobe, celulozo in hemicelulozo.
- **Faza ohlajanja** pomeni upočasnitev mikrobnih procesov in ponovno rast mezofilnih mikroorganizmov, ki razgradijo še preostanek organskih snovi. Pri tem nastaja le malo toplote. Končni rezultat vseh treh faz je stabilni produkt – humus.

Pri kompostiranju ima vpliv na temperaturo tudi sestava kompostne mešanice. V študiji sta bili kompostirani dve različni vrsti blata iz odpadkov; aerobno (AS) in anaerobno (ANS) s polnilom žagovine (WS) v različnih razmerjih. Pri aerobnih kupih blata se je pokazala bistveno višja mikrobna aktivnost kot pri anaerobnih. Prav tako so bile stopnje mineralizacije organskih delcev višje v AS. Najnižje termofilne temperature med kompostiranjem so bile zabeležene, ko se je anaerobno blato pomešalo z žagovino 1 : 1, kar kaže na prisotnost strupenih snovi za mikroorganizme (Banegas idr. 2007).

Pri kompostiranju treh različnih mešanic, ki so bile sestavljene iz odpadkov živilske predelave, blata iz odpadne vode in njihove mešanice z dodatkom obrezanega vejevja kot strukturnega materiala, so vse kompostne mešanice zlahka dosegle temperaturo do 70 °C (Grigatti idr. 2011).

Pri kompostnih materialih mešanice lesenih trsk, kurjega gnoja in mešanice zelenih rastlin, pri katerih se je kompostiranje izvajalo v 200-litrskem rotacijskem bobnu, je študija že v treh dneh pokazala maksimalno rast temperature do 66,3 °C (Mohee in Mudhoo 2005).

Povišana temperatura v kompostu je posledica sproščanja toplote zaradi razgradnje organskih snovi, zato ima na temperaturo velik vpliv sestava kompostne mešanice. Če je v kompostni mešanici preveč zelenega odreza, to pomeni oteženo razgradnjo in posledično nižjo temperaturo.

2.1.7 Vrednost pH v kompostu

Mikroorganizmi začnejo intenzivno razkrajati organski material pri pH-vrednosti od 5,5 do 8,5, zato je pomembno, da kompostna mešanica ni izven tega območja. Torej je delovanje mikroorganizmov najboljše pri širokem spektru pH-vrednosti, na nižjo pH-vrednost pa se težje prilagodijo (Turk 2011). Pri razgradnji organske snovi v kompostu nastaja veriga polimerov, polisaharidov in drugih molekul. Pri začetku postopka kompostiranja se pH kompostne mešanice zniža, saj se zmanjša tudi mikrobna aktivnost (Diver 2004).

Na pH-vrednost vpliva tudi prezračevanje kompostne kope, saj ob tem pride do povišanja vrednosti. Najugodnejše je, da se kompostna kopa prezrači po treh tednih kompostiranja. S tem se zrahlja notranja vsebina kope, zunanja plast kope pa se prenese v notranjost, kjer je intenziteta trohnenja najmočnejša. Prezračevanje pomembno vpliva na celotni kompostni proces, ki lahko poteka aerobno ali anaerobno. Če se prezračevanje zanemari, se v kompostni kopi razvijejo mikroorganizmi, ki za svoj obstoj ne potrebujejo kisika. Pride do gnitja, zaradi česar se proizvaja neprijeten vonj, in posledično tudi do neuporabnosti mase organskih odpadkov.

Pri preučevanju razvoja različnih oblik dušika med kompostiranjem, med različnimi vrstami blata, kot tudi njegove (dušikove) povezave s pH, avtorji navajajo, da so največje izgube dušika odvisne od uporabljenih materialov v kompostni mešanici in od pH-vrednosti teh mešanic. Pri mešanicah z najvišjo vsebnostjo lignoceluloze so se pokazale najnižje izgube (pod 25 %), medtem ko je bila izguba pri tistih mešanicah, ki so vsebovale komunalne trde odpadke, več kot 40 %. Pri tem je prišlo do medsebojne odvisnosti med koncentracijo dušika, vrednosti pH in električne prevodnosti. To pomeni, da je nitrifikacija odgovorna za padec pH-vrednosti in naraščajočo električno prevodnost (Sanchez idr. 2001).

2.1.8 Emisije kompostiranja

Pri kompostiranju moramo biti pozorni predvsem na emisije:

- emisije smradu,
- tekoče emisije,
- emisije klic,
- emisije prahu,
- organske in anorganske emisije škodljivih snovi v zrak,
- emisije hrupa.

Na količino in obseg navedenih emisij imajo vpliv lokacija, lastnost kompostiranega materiala ter tehnična opremljenost in vrsta tehnologije (Bilitewski in Härdtle 2000).

Pri projektiranju kompostarne je treba poleg lokacije upoštevati tudi naslednje vplive:

- obratovalna zmogljivost naprave in učinek obdelave glede na vrste odpadkov,
- izbrani postopek razkrajanja,
- zaprtost delov in naprav, kjer se sprošča vonj,
- kakšen je doseženi učinek čiščenja odpadnega zraka iz zaprtih delov in naprav,
- način delovanja, vključno z obratovalnimi ukrepi pri razkrajanju in ravnanju z odpadki ter pripravo ustreznih ukrepov, ki zmanjšujejo neprijetne vonjave (prav tam, str.719).

3. MATERIALI IN METODE

V magistrskem delu smo ugotavljali, kakšne so možnosti kompostiranja anaerobno obdelanega blata z dodatkom odpadnega materiala, ki je na razpolago v okolici. Ker je Savinjska dolina območje, kjer se predeljuje hmelj, smo za dodatek kompostiranju uporabili zeleni odrez hmelja. Ugotavljali smo, kakšno je najboljšo razmerje med odpadnim blatom in zelenim odrezom ter časovni potek kompostiranja.

3.1 CENTRALNA ČISTILNA NAPRAVA KASAZE



Slika 3: CČN Kasaze (Vir: JKP Žalec, 2013)

Centralna čistilna naprava Kasaze (CČN) se nahaja na levem bregu reke Savinje v Kasazah (Slika 3). Mehansko-biološka čistilna naprava je namenjena čiščenju odpadnih voda iz šestih občin Spodnje Savinjske doline (Vransko, Tabor, Braslovče, Polzela, Prebold in Žalec), vključno z greznično goščo in blatom iz komunalnih čistilnih naprav iz istih občin. Zaradi preobremenjenosti obstoječe CČN Kasaze se je v letu 2008 začela nadgradnja in posodobitev

CČN, ki je bila končana v letu 2013. Iz nazivne zmogljivosti 18.750 PE (populacijskih enot) je bila CČN dograjena na 60.000 PE. CČN Kasaze je tehnološko zahteven objekt in je namenjen za dolgoročno rešitev problema čiščenja odpadnih komunalnih voda na tem območju.

Karakteristike odpadnih vod so:

1. Hidravlična obremenitev:

- kapaciteta: 60.000 PE
- dnevni sušni pretok: 13.000 m³
- maksimalni sušni pretok: 228 l/s
- maksimalni deževni pretok: 373 l/s

2. Biološka obremenitev:

- BPK₅: 3.600 kg/dan
- KPK: 6.600 kg/dan
- TOC: 1.920 kg/dan
- celotni dušik: 660 kg/dan
- celotni fosfor: 108 kg/dan

Tehnologija čiščenja odpadne vode na CČN obsega odstranitev organskih snovi, dušikovih spojin in fosforja. Končna faza čiščenja je vezana na anaerobno obdelavo blata z dehidracijo ter končnim odvozom blata (JKP Žalec 2013). Zahtevana kakovost iztoka oz. mejna vrednost parametrov je skladna z Uredbo o emisiji snovi pri odvajanju odpadnih vod iz komunalnih čistilnih naprav (Uredba o emisiji ... 2007).

Celotni proces čiščenja odpadne vode zajema:

- **Linijo vode**, kjer se iz odpadne vode odstranjujejo večji mehanski delci in pretežni del suspendiranih snovi. Odpadna voda se črpa preko črpalk do finih grabelj (Slika 4), ki ločujejo trdne delce od odpadne vode s pomočjo sita. Po pranju in kompaktiranju se trdni delci odlagajo v kontejner.

Opadna voda nadaljuje pot v neprezračeni peskolov, kjer pride do posedanja peska, ki se s talnim strgalom transportira v zbirni jašek proti toku. Iz zbirnega jaška se pesek in voda prečrpavata preko potopne črpalke v separator peska, v katerem so združene funkcije pranja, transporta odvodnjavanja do končnega izmeta v kontejner, kjer se zbira pesek, voda pa teče nazaj na vhodno črpališče. Iz peskolova nato teče voda do dveh primarnih usedalnikov in nadalje v aeracijska bazena z anaerobnim selektorjem. V teh bazenih se odpadna voda pomeša z aktivnim blatom in tako tvori nove kosme aktivnega blata, ki razgrajujejo organsko snov v odpadni vodi (JKP Žalec 2013).



Slika 4: Grablje (Vir: JKP Žalec, 2013)

Ogljik se odstranjuje v aerobni coni, kjer poteka tudi nitrifikacija, medtem ko pri denitrifikaciji nitrata, ki poteka v anoksični coni, dušik izhaja v zrak v obliki plina.

Za zagotavljanje enakomernega kroženja vode so prezračevalni bazeni opremljeni s potopnimi mešali. Kompromiran zrak se preko puhal vnaša v aktivno blato in s tem se zagotovi ustrezna količina raztopljenega kisika v suspenziji aktivnega blata. Aktivno blato se vodi preko razdelilnika v dva sekundarna usedalnika (Slika 5), kjer pride do usedanja blata in posledično do ločitve od biološko prečiščene vode. Ta voda teče skozi merilnik pretoka in vzorčevalnik v iztočni kanalizacijski kolektor ter se preko objekta za črpališče in razbremenitev odplak izteka v reko Savinjo (JKP Žalec 2013).



Slika 5: Sekundarna usedalnika (Vir: JKP Žalec, 2013)

- **Linijo blata**, kjer se blato črpa iz primarnih in sekundarnih usedalnikov s potopnimi črpalkami v predzgoščevalnik in tu se blato gravitacijsko zgosti. Nato se zgoščeno blato (po izpustu izcednih voda) s pomočjo vijačne črpalke črpa na mehansko

preddehidracijo blata. Po tračnem zgoščevanju se blato zbira v zbirnem koritu in se preko črpalke prečrpava v gnilišče (Slika 6).



Slika 6: Gnilišči (Vir: JKP Žalec, 2013)

Gnilišči sta mezofilni in v njih poteka anaerobna stabilizacija blata, ki je odvisna od temperature in zadrževalnega časa v gnilišču. Običajno poteka stabilizacija blata 30 dni pri temperaturi 36–37 °C.



Slika 7: Centrifuga za obdelavo blata (Vir: JKP Žalec, 2013)

Po stabilizaciji teče blato iz gnilišč v pozgoščevalnik, kjer se blato zgosti in se po tem naprej črpa na dehidracijo blata (Slika 7), kjer se zgosti s 4 % SS na prib. 30 % SS. Po

tem procesu dehidrirano blato pada na polžni transporter vse do kontejnerjev za transport oz. odvoz.

V letu 2014 je na CČN Kasaze po dehidraciji ostalo prib. 1.150 ton mineraliziranega blata za odvoz.

- **Linijo plina**, kjer se na vrhu gnilišča odvzema bioplin in se vodi po cevovodu do rezervoarja bioplina (Slika 8). Tam se nadalje uporablja za proizvodnjo električne energije, ogrevanje gnilišč in ostalih prostorov, ki so v sklopu CČN (JKP Žalec 2013).



Slika 8: Plinohram (Vir: JKP Žalec, 2013)

3.1.1 Vplivi CČN na okolje

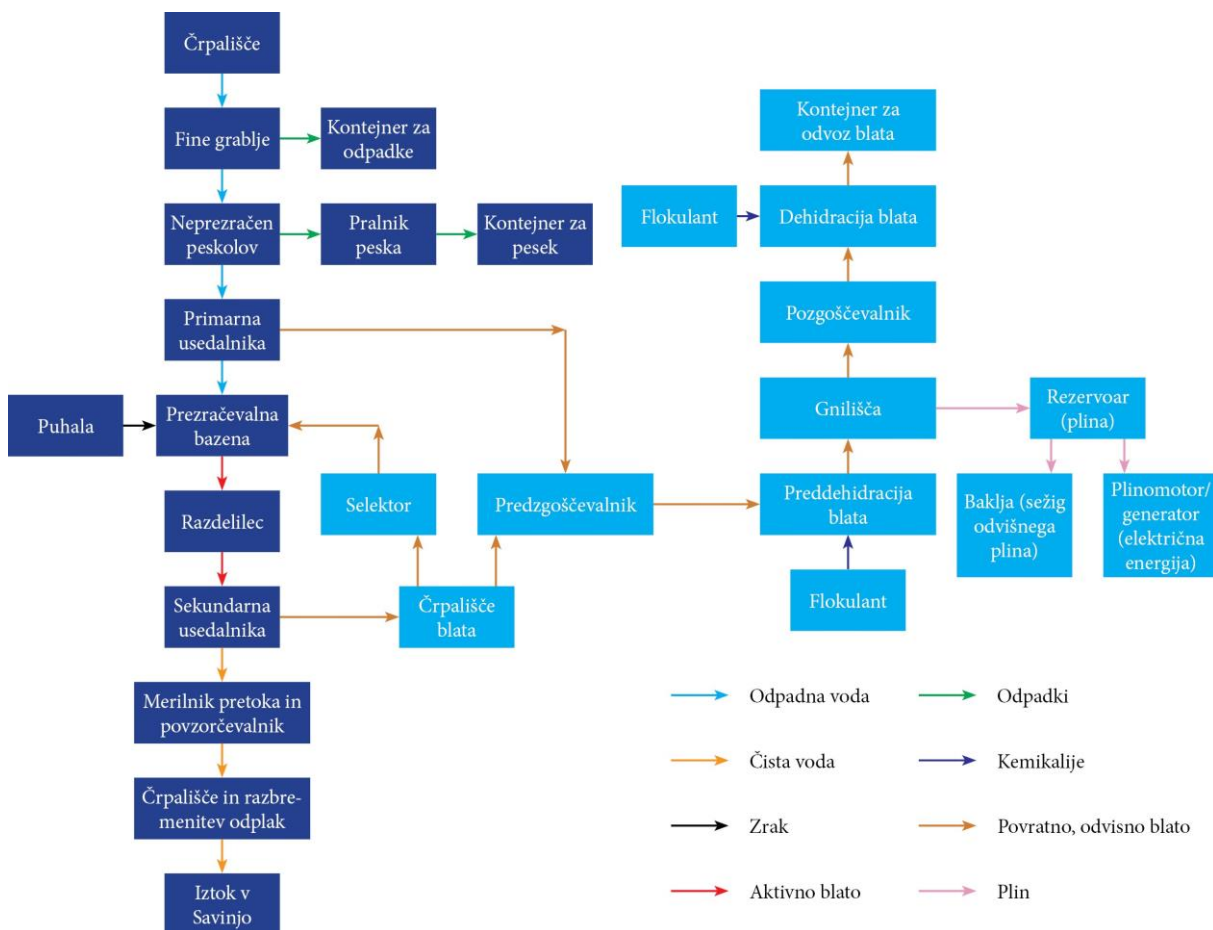
Ob zaključku čiščenja odpadne vode pride do stranskih produktov oz. odpadkov:

- mehanski odpadki iz grabelj v količini prib. 300 t/leto, ki se odlagajo na odlagališču komunalnih odpadkov,
- oprani pesek iz peskolova v količini prib. 400 t/leto, ki ima lahko dvojno uporabo: kot surovina ali pa se odlaga na ustreznem odlagališču,
- anaerobno stabilizirano dehidrirano blato v količini prib. 1.569 TSS/leto (skupne suspendirane snovi), ki je uporabno kot kompost na kmetijskih površinah ali pa se ga sežiga (JKP Žalec 2013).

CČN Kasaze je locirana v neposeljeni okolici, zato nima vpliva na naselje. Če poteka obratovanje CČN normalno, ni pričakovati pretiranih emisij vonja, ki nastaja pri fazah čiščenja, npr. pri grabljah, primarnem usedalniku, prezračevalnih bazenih (pri obratovanju izhlapevajo aerobni aerosoli), sekundarnem usedalniku (samo pri motnjah deloma anaerobni procesi), obdelavi blata (vonj je lociran le znotraj objekta), predzgoščevalniku in pozgoščevalniku (vonj sega le do ograde CČN).

Izvori hrupa so vezani na obratovanje in objekte (puhala, plinomotor, mehanska predehidracija in dehidracija blata, električni dizelski agregat), vendar je z dobrimi konstrukcijskimi rešitvami emisija hrupa nižja od dovoljenih mejnih vrednosti za dnevno in nočno periodo (JKP Žalec 2013).

Celoten proces čiščenja odpadne vode na CČN Kasaze je razviden iz shematskega prikaza (Slika 9), ki zajema vse faze in njihovo povezavo na liniji vode, liniji blata ter liniji plina.



Slika 9: Shema CČN Kasaze (JKP Žalec, 2013)

3.2 OPIS DELA

Postopek kompostiranja je potekal na prostem v neposredni bližini CČN. Za preskus se je uporabljalo anaerobno obdelano blato iz CČN z dodatkom zelenega odreza – ostanki hmelja. Preskuse smo razdelili na tri faze, ki so se med sabo razlikovale po različni sestavi kompostne mešanice in času trajanja kompostiranja.

3.3 Faza 1

Pripravili smo dve vzporedni kopi (A in B) in v njih vsak dan merili temperaturo, občasno pa še pH, organske in anorganske snovi. Ker je iz literature razvidno, da mora biti v kopi dovolj kisika in mora biti čim bolj homogena, smo kope občasno prepihovali in premetali (homogenizirali). Kope smo pripravili tako, da je bilo razmerje predelanega blata iz CČN in zelenega odreza (odpada hmelja) v razmerju 50 % : 50 %. Za zeleni odrez smo v prvi kopi (kopa A) uporabili stebelni odpad hmelja (Slika 10), v drugi (kopa B) pa listni odpad hmelja (Slika 11).

Pri eksperimentiranju smo imeli na razpolago naslednje podatke (za kopo A): aktivno blato je imelo nasipno maso 521 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v blatu je bila 55,6 %, vsebnost anorganske snovi 44,4 % in vsebnost suhe snovi 29,3 %. Nasipna masa stebelnega odreza hmelja je bila 442 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v stebelnem odrezu je bila 73 %, vsebnost anorganske snovi je bila 27 % in vsebnost suhe snovi 24,2 %.

Podatki za kopo B: aktivno blato je imelo nasipno maso 521 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v blatu je bila 55,6 %, vsebnost anorganske snovi 44,4 % in vsebnost suhe snovi 29,3 %. Nasipna masa listnega odreza hmelja je bila 448 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v listnem odrezu je bila 75 %, vsebnost anorganske snovi je bila 25 % in vsebnost suhe snovi 24,8 %.



Slika 10: Blato in stebelni odpad hmelja
(Vir: lasten, 2014)



Slika 11: Kompostna mešanica: blato in listni odpad hmelja
(Vir: lasten, 2014)

3.4 Faza 2

V tej fazi smo pripravili mešanico blata in zelenega odreza v razmerju 40 % : 60 % (kopa C) pod podobnimi pogoji kot pri prvi fazi (Sliki 12 in 13). V tej fazi smo preučevali predvsem mineralizacijo v kompostni kopi.

Volumen kope je bil 1 m^3 . Aktivno blato je imelo nasipno maso 521 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v blatu je bila 55,6 %, vsebnost anorganske snovi je bila 44,4 % in vsebnost suhe snovi 29,3 %. Nasipna masa listnega odreza hmelja je bila 444 kg/m^3 , vsebnost organske snovi v listnem odrezu je bila 72 %, vsebnost anorganske snovi je bila 28 % in vsebnost suhe snovi 23,9 %.



Slika 12: Kompostne kope A, B in C (Vir: lasten, 2014)



Slika 13: Kompostne kope A, B in C (Vir: lasten, 2014)

3.5 Faza 3

Iz izkušenj, ki smo jih dobili v prvih dveh fazah, smo želeli ugotoviti dvoje:

1. kako vpliva drugačno razmerje med blatom in zelenim odrezom in
2. kolikšna je lahko mineralizacija, če v začetnem delu kompostiranja ne premetavamo kope.



Slika 14: Kopa D (Vir: lasten, 2014)

Pripravili smo si razmerje blata in zelenega odreza (Slika 14) v eni kopi 40 % : 60 % (kopa D) in 35 % : 65 % (kopa E). Volumen kope D je bil 1 m³. Razpolagali smo s podatki (kopa D): aktivno blato je imelo nasipno maso 546,8 kg/m³, vsebnost organske snovi je bila 55,7 %, vsebnost anorganske snovi 44,3 % in vsebnost suhe snovi 30,3 %. Nasipna masa listnega odreza hmelja je bila 335,1 kg/m³, vsebnost organske snovi v listnem odrezu je bila 75 %, vsebnost anorganske snovi je bila 25 % in vsebnost suhe snovi 31,9 %. Podatki za kopo E:

volumen kope je bil 1 m^3 . Aktivno blato je imelo nasipno maso $546,8 \text{ kg/m}^3$, vsebnost organske snovi v blatu je bila $55,7 \%$, vsebnost anorganske snovi je bila $44,3 \%$ in vsebnost suhe snovi $30,3 \%$. Nasipna masa listnega odreza hmelja je bila $336,8 \text{ kg/m}^3$, vsebnost organske snovi v listnem odrezu je znašala 74% , vsebnost anorganske snovi je bila 26% in vsebnost suhe snovi $30,6 \%$.

3.6 Vpihovanje zraka v kompostno mešanico

Vpihovanje zraka v kompostno kopo se je izvajalo s puhali preko perforiranih cevi premera 7 mm , ki so bile nameščene na dnu kope (Sliki 15 in 16). Dinamika vpihovanja zraka je bila regulirana s programsko uro. Količina dovedenega zraka je bila $2,0 \text{ m}^3/\text{min}$.

Prepihanje v prvi fazi je potekalo:

- od 1. do 5. dneva periodično vsako uro po 15 minut,
- od 6. do 50. dneva trikrat na dan po 15 minut.

Prepihanje v drugi fazi je potekalo:

- od 1. do 100. dneva dvakrat na dan po 15 minut.

Prepihanje v tretji fazi je potekalo:

- od 1. do 50. dneva dvakrat na dan po 15 minut.



Slika 15: Puhalo, povezano s cevmi (Vir: lasten, 2014)



Slika 16: Perforirana cev na dnu kope (Vir: lasten, 2014)

3.7 Spremljanje temperature med procesom

Glede na to, da ima pri kompostiranju temperatura zelo velik pomen, smo temperaturna nihanja spremljali vsak dan. Temperaturo smo merili z ročnim merilnikom WATERPROF 8811 IP 66 (Slika 17) enkrat dnevno.

S temperaturno sondo, ki smo jo zabodli navpično po sredini kope, smo beležili temperature v jedru kompostne kope (Slika 18). Istočasno smo izmerili tudi temperaturo zraka zaradi primerljivosti vpliva nihanja zunanjih temperatur na nihanje temperature v kopi.



Slika 17: Merilnik temperature (Vir: lasten, 2014)



Slika 18: Merjenje temperature (Vir: lasten, 2014)

3.8 Vsebnost organske snovi

Pomembno vlogo pri kompostiranju ima tudi vsebnost organske snovi, ki v mešanici predstavlja največji delež. V mezofilnem in termofilnem procesu se organska snov s pomočjo mikroorganizmov razgrajuje v anorgansko snov. Kolikšen je delež razkroja, nam kažejo laboratorijske analize. Iz literature je razvidno, da se vsebnost organske snovi med kompostiranjem zmanjša za prib. 10 %.



Slika 19: Vzorci s kompostno mešanico (Vir: lasten, 2014)

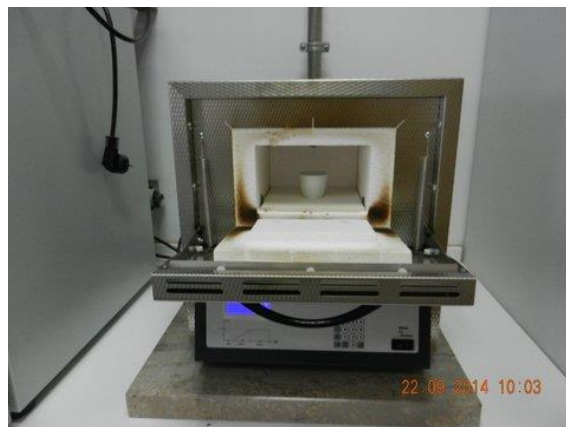
Vzorčenje smo izvajali enkrat tedensko, oz. ob premetavanju kop. Potekalo je tako, da smo ob premetu z lopatko iz jedra kupa zajeli vsebino kope in jo stresli v 0,5 l plastični lonček, ki smo

ga pokrili s folijo. V laboratoriju smo vzorec homogenizirali in naredili razpored analiz (Slika 19).

Po sežigu kompostne mešanice na izparilniku ostane delček pepela, ki predstavlja anorganski del, ki smo ga določali po standardu SIST EN 12879:2001 (Določevanje ostanka po žarjenju suhe snovi). Vzorec, ki smo ga predhodno stehali na precizni tehtnici KERN & SOHN GmbH, tip KB 1200-2 (Slika 20) in posušili, smo žarili eno uro v žarilni peči NABERTHERM GmbH, tip L3/11/B180 pri temperaturi 600 °C (Slika 21). Maso vzorca smo odčitali po tem, ko smo vzorec ohladili v eksikatorju ISOLAB, tip 250 mm (Slika 23). Maso ostanka po žarjenju smo izračunali iz razlike mas vzorca pred žarjenjem in po njem.



Slika 20: Precizna tehtnica (Vir: lasten, 2014)



Slika 21: Žarilna peč (Vir: lasten, 2014)

3.9 Vsebnost suhe snovi

Določevanje vsebnosti suhe snovi je potekalo po standardu SIST EN 12880:2001 (Določevanje ostanka po sušenju in količine vode). Med kompostiranjem se vsebnost suhe snovi po znanih podatkih poveča za prib. 8 % .

Vzorčenje smo izvajali enkrat tedensko ob času premetavanja kop. Potekalo je tako, da smo ob premetu z lopatko iz jedra kupa zajeli vsebino kope in jo stresli v 0,5 l plastični lonček, ki smo ga pokrili s folijo. V laboratoriju smo vzorec homogenizirali in naredili razpored analiz.



Slika 22: Sušilnik (Vir: lasten, 2014)

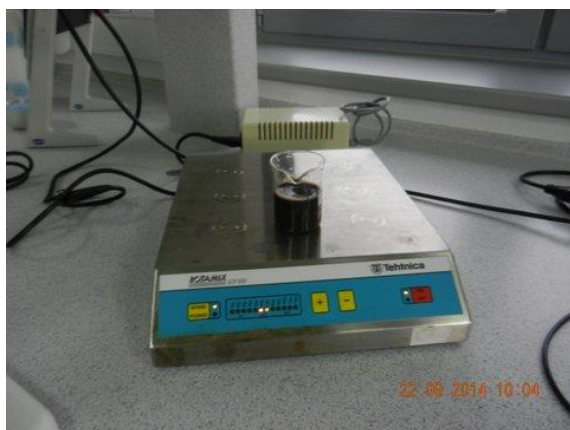


Slika 23: Eksikator (Vir: lasten, 2014)

V izparilnico smo zatehtali 3 g kompostne mešanice in sušili v sušilniku BINDER GmbH, tip ED53/10-0078 pri temperaturi 105 °C (Slika 22). Ko se je vzorec ohladil v eksikatorju, smo odčitali njegovo maso. Vsebnost suhe snovi smo izrazili v odstotkih na osnovi razlike pred sušenjem vzorca in po sušenju.

3.10 Spremljanje vrednosti pH

Vrednost pH smo določali po standardu SIST EN 12176:1999 (Ugotavljanje lastnosti blata – določevanje pH vrednosti). Zatehtali smo 10 g kompostne mešanice, ki smo jo zmešali z 200 ml destilirane vode. Mešanico smo dali na stresalnik VIBRAMIX, tip 402 in pustili 15 minut pri frekvenci 200 tresljajev/minuto (Slika 24). Po končanem stresanju smo mešanici izmerili pH-vrednost na prenosnem merilniku HACH, tip HQ 40 d (Slika 25).



Slika 24: Stresalnik (Vir: lasten, 2014)



Slika 25: Merilnik vrednosti pH (Vir: lasten, 2014)

3.11 Ugotavljanje prisotnosti *Salmonelle spp.*

V procesu kompostiranja poteče tudi higienizacija odpadkov, kar pomeni toplotna obdelava biološko razgradljivih odpadkov, s katero se uničijo vegetativne oblike človeških, živalskih in rastlinskih patogenih organizmov.

Avtor v svojem delu ugotavlja, da *Salmonelle spp.* preživi vsaj 9 dni na temperaturi nad 60 °C v biološkem kompostu, ki vsebuje odpadke hrane, in vsaj 5 dni v kompostu, ki vsebuje blato odpadnih voda (Hočurščak 1998).

V našem primeru je bil test na *Salmonello spp.* opravljen v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano, Oddelek za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Celje po metodi ISO 6579:2002/Cor 1:2004 (ChromS 37 °C). Analizirali so 25 g snovi (komposta).

4. REZULTATI

4.1 Faza 1 - Predhodna preskusa

Za izhodišče smo najprej pripravili vzporedni kope (A in B), tako da je bilo razmerje predelanega blata iz ČN in zelenega odreza (odpada) v razmerju 50 % : 50 %. Za zeleni odrez smo v prvi kopi (kopa A) uporabili stebelni odpad hmelja (Slika 26), v drugi (kopa B) pa listni odpad hmelja (Slika 27). Predhodna preskusa smo uporabili z namenom, da smo potrdili delovanje sistema in ugodnost razmerja kompostne mešanice.



Slika 26: Blato in stebelni odpad hmelja (Vir: lasten, 2014)



Slika 27: Blato in listni odpad hmelja (Vir: lasten, 2014)

Zaradi čimbolj stabilne vlažnosti smo kompostne kope prekrili s kopreno in po potrebi vlažili. Znano je, da koprena zagotavlja optimalno prepustnost vode, svetlobe in zraka, istočasno pa zagotavlja stabilne pogoje vlažnosti vse do notranjosti kompostne kope (Slika 28). S tem smo kompostno kopo zaščitili pred soncem, dežjem in vetrom.



Slika 28: Kompostne kope, prekrite s kopreno (Vir: lasten, 2014)

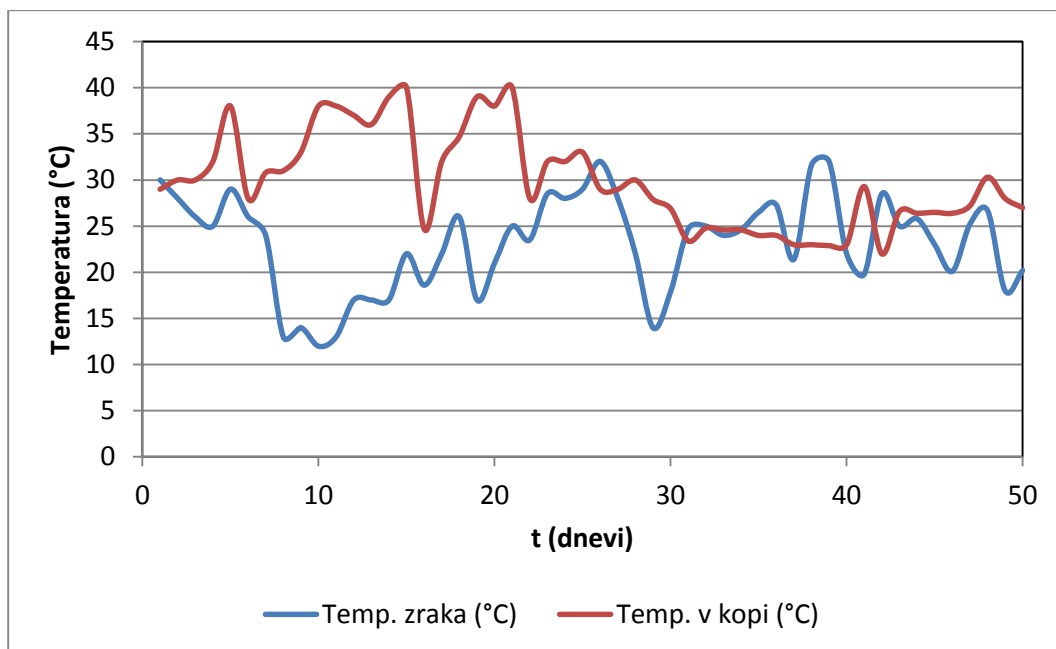
4.1.1 Kopa A

Volumen kope A je bil 1 m³ v razmerju aktivno blato : stebelni odrez hmelja 50 % : 50 %.

Sestava kope: organska snov 59 %, anorganska snov 41 %, suha snov 27 %, nasipna masa 482 kg/m³ – izračunano iz osnovnih podatkov za osnovne surovine z upoštevanjem razmerja med blatom in stebelnim odpadom (50 % : 50 %).

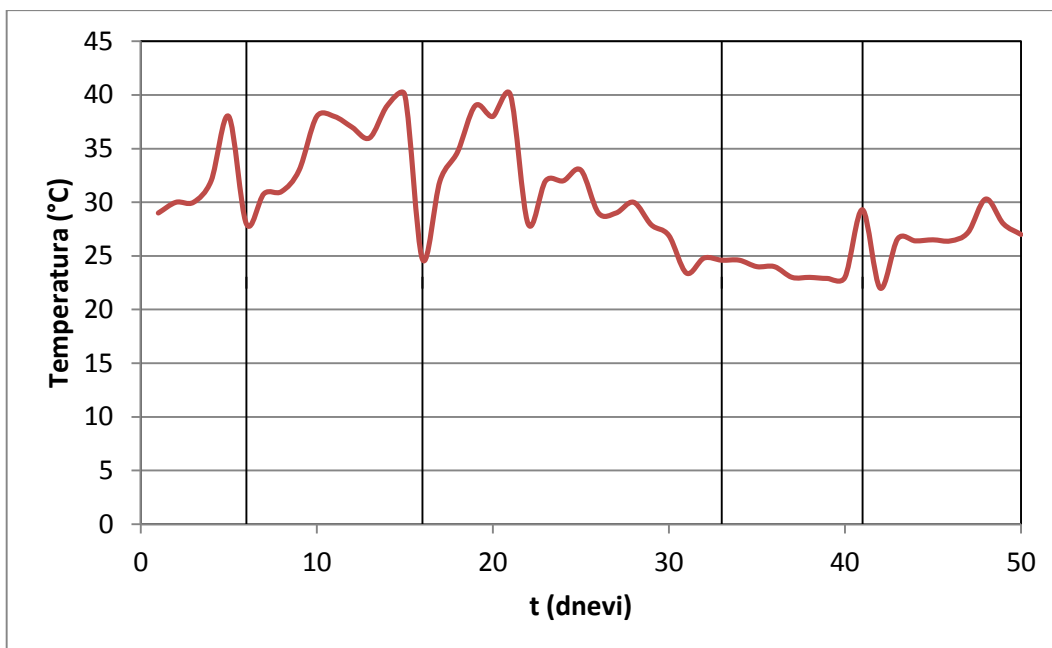
4.1.1.1 Temperatura in obračanje kope

Gibanje temperature je prikazano na Sliki 29, kjer je razvidno, da je v prvem tednu temperatura narasla na 38 °C, kar pomeni, da je proces potekal v mezofilnem območju. To območje (z vmesnimi intervali nihanja temperature) je trajalo do 23. dneva, ko je temperatura narasla na 40 °C. Sledilo je padanje temperature na približek zunanji temperaturi.



Slika 29: Temperatura v kopi in zraku – kopa A

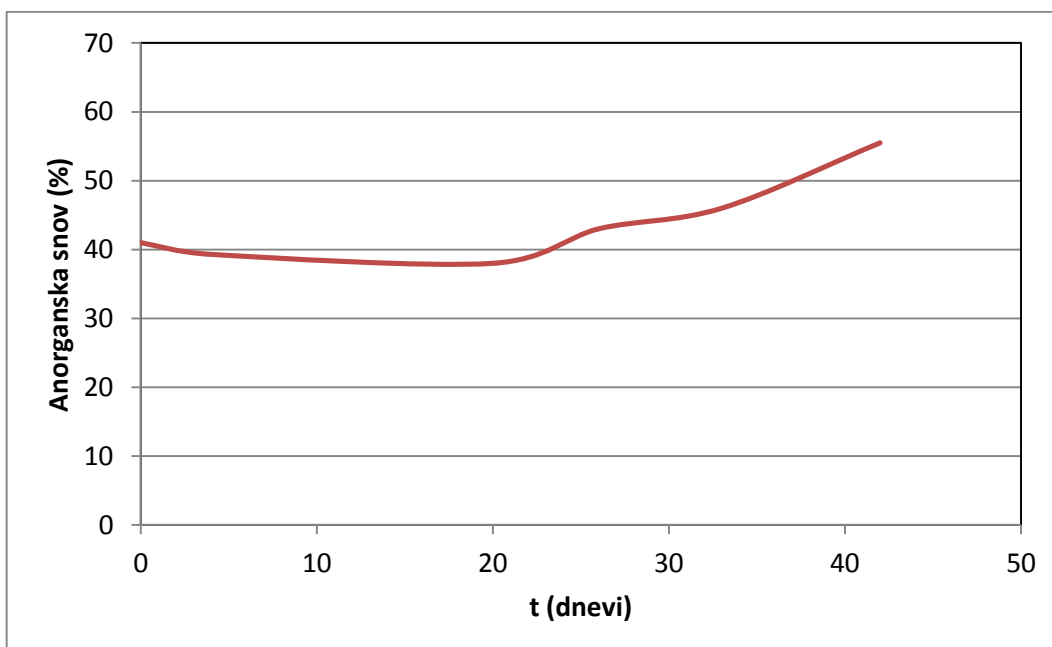
Na dinamiko gibanja temperature v kopi je vplivalo obračanje kompostne mešanice (Slika 30). Iz grafa je razvidno, da se je kopa ob obračanju ohladila s 40 na 25 °C, kar je povzročilo motnjo v procesu. V naslednjih dneh se je kopa spet segrela do mezofilnega območja (38–40 °C). V obdobju od 25. do 50. dne obračanje kope ni imelo znatnega vpliva na temperaturo.



Slika 30: Temperatura in prikaz obračanja kope A (navpična črta)

4.1.1.2 Anorganska snov

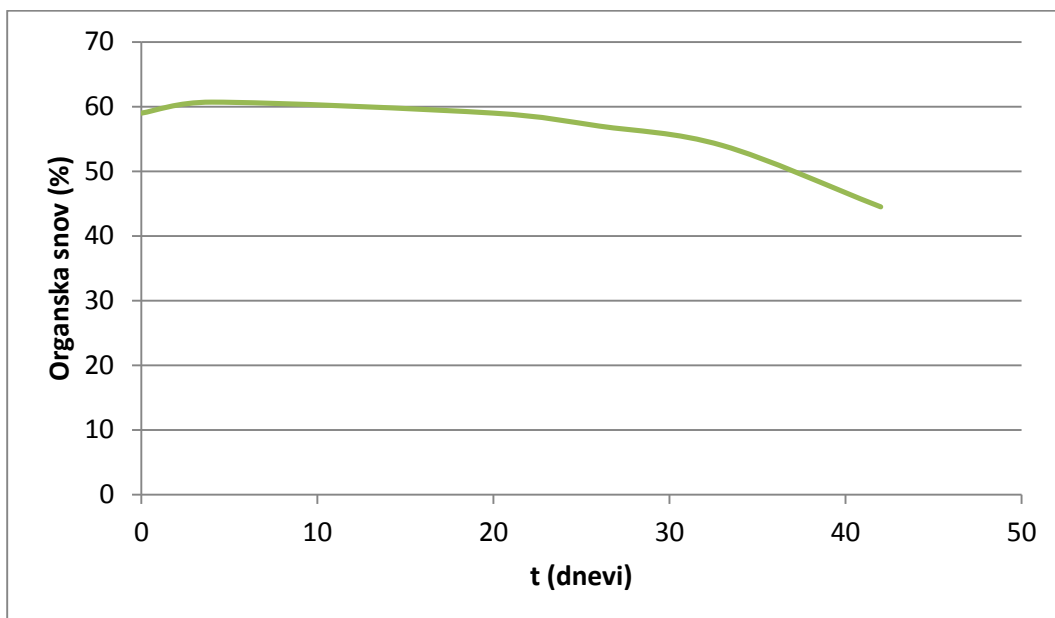
Anorganska snov se je večala zelo počasi (Slika 31) oz. je bilo v obdobju od 5. do 23. dne zaznano rahlo zmanjšanje. V časovni sredini procesa (25 dni) se je anorganska snov začela večati. V 42. dnevu je bila povečana na 58 %.



Slika 31: Anorganska snov v kopi A (%)

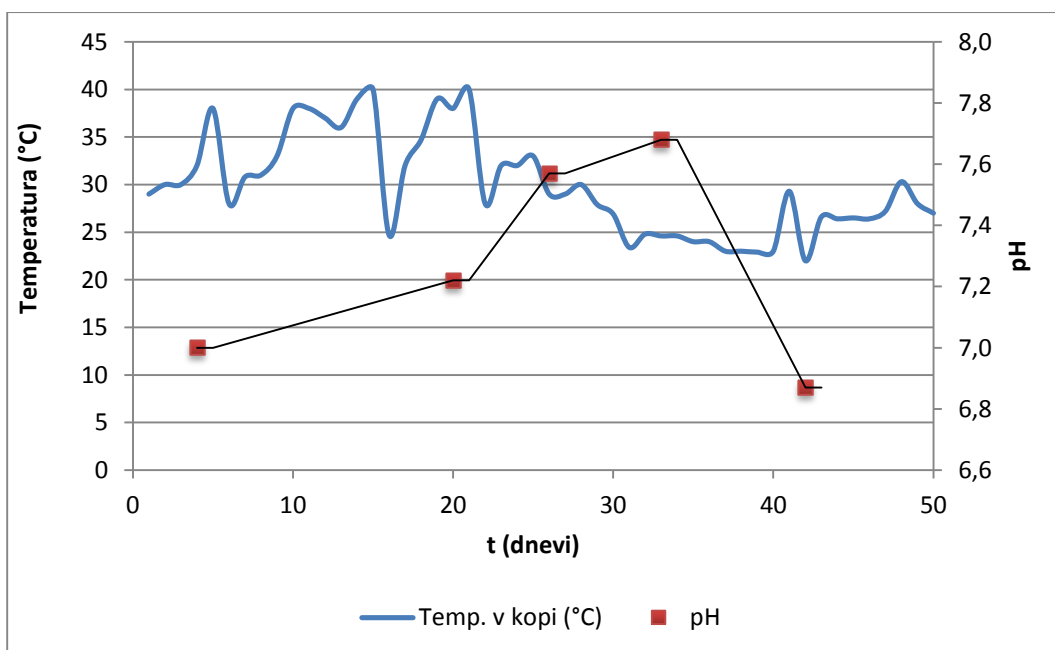
4.1.1.3 Organska snov

V času aktivnega procesa (20 dni) se je del organske snovi mineraliziral za prib. 1 %, medtem ko je bila mineralizacija po 50 dneh oz. na koncu postopka kompostiranja okoli 16 % (Slika 32).



Slika 32: Organska snov v kopi A (%)

4.1.1.4 Temperatura in pH



Slika 33: : Temperatura in pH v kopi A

S Slike 33 je razvidno, da se je pH-vrednost v času 20-dnevnega kompostiranja gibala od 7 do 7,2. Najvišja vrednost pH je bila dosežena 35. dan kompostiranja in je znašala 7,7. Pri tem

povišanju je bila temperatura v kopi 25 °C. Najnižjo pH-vrednost smo beležili 42. dan kompostiranja in je znašala 6,8.

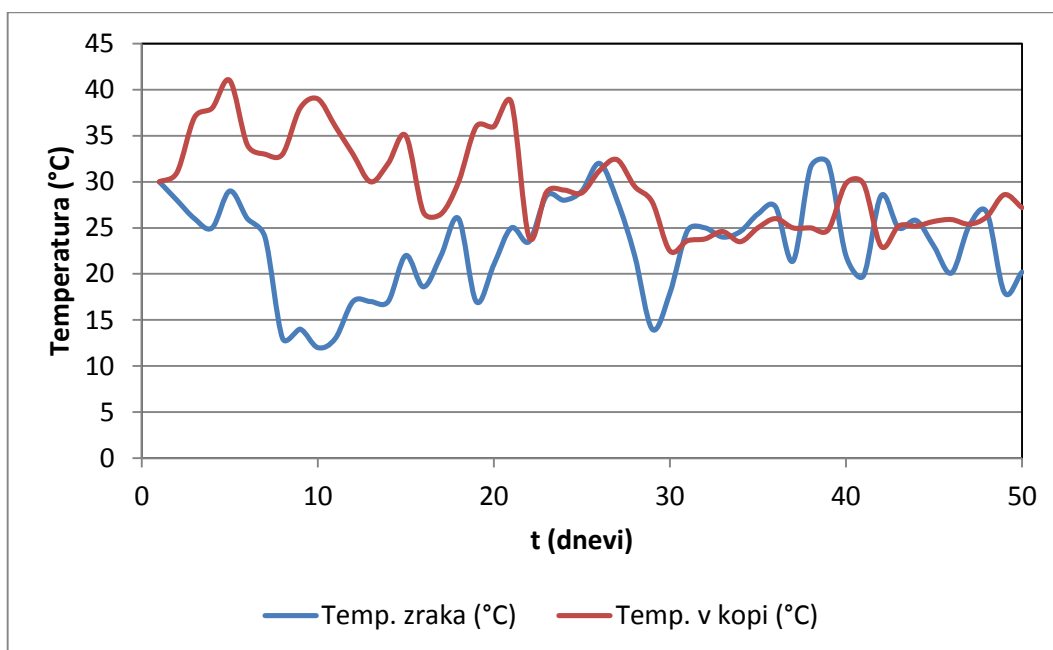
4.1.2 Kopa B

Volumen kope B je bil 1 m³ v razmerju aktivno blato : listni odrez hmelja 50 % : 50 %.

Sestava kope: organska snov 60 %, anorganska snov 40 %, suha snov 27 %, nasipna masa 485 kg/m³ – izračunano iz osnovnih podatkov za osnovne surovine z upoštevanjem razmerja med blatom in listnim odpadom (50 % : 50 %).

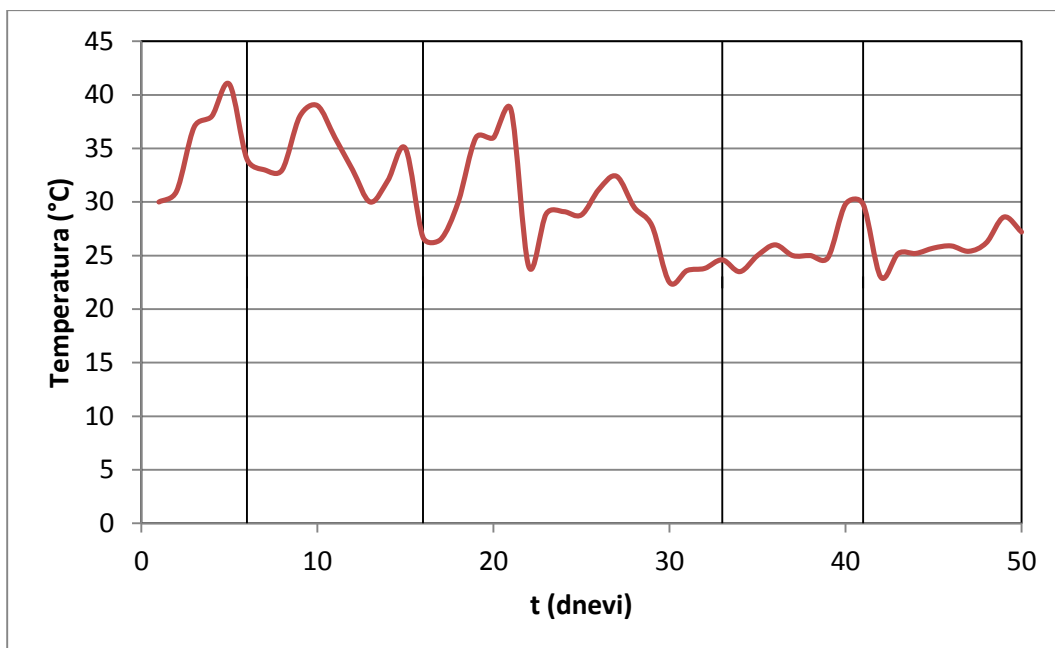
4.1.2.1 Temperatura in obračanje kope

Temperaturna dinamika v kopi B je do 20. dneva kompostiranja (Slika 34) izrazito nihala. Izrazito zmanjšanje zunanje temperature (10. dan) ni imelo vpliva na temperaturo v kompostni mešanici. Po 30. dnevu kompostiranja se je temperatura v kopi rahlo približala zunanji temperaturi.



Slika 34: Temperatura v kopi in zraku – kopa B

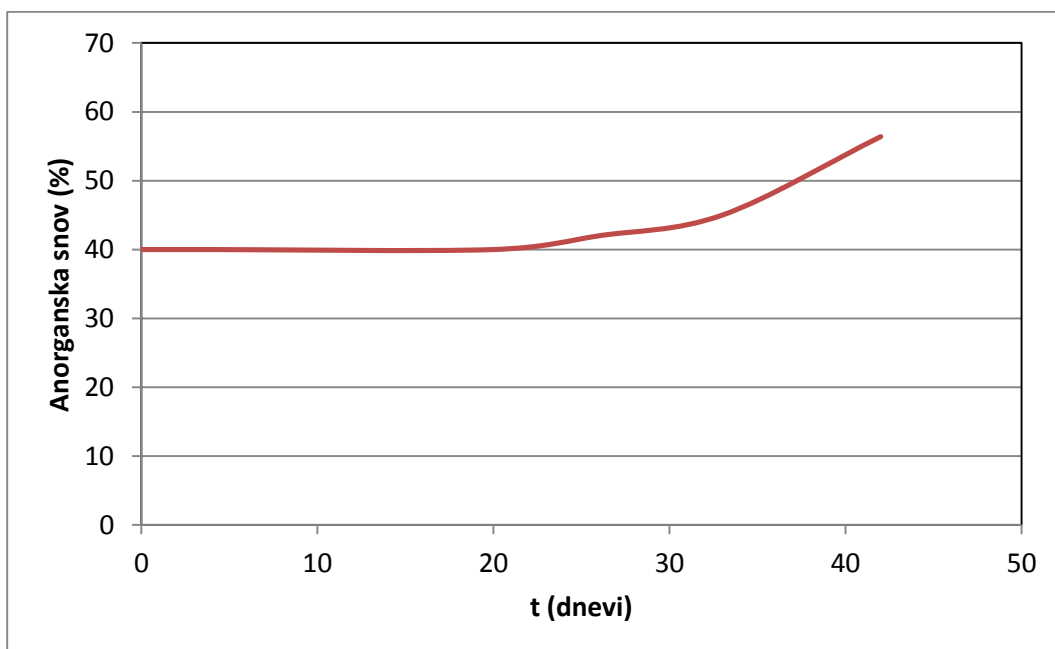
Na dinamiko gibanja temperature v kopi je vplivalo obračanje kompostne mešanice (Slika 35). Iz grafa je razvidno, da se je kopa ob obračanju ohladila z 41 na 35 °C, kar je povzročilo motnjo v procesu. V naslednjih dneh se je kopa spet segrela do mezofilnega območja (38 °C). V obdobju od 30. do 50. dne obračanje kope ni imelo znatnega vpliva na temperaturo.



Slika 35: Temperatura in prikaz obračanja kope B (navpična črta)

4.1.2.2 Anorganska snov

Anorganska snov se je začela večati po 22. dnevu kompostiranja (Slika 36). Na začetku kompostiranja je vsebnost anorganske snovi znašala 40 %, na koncu pa 58 %. Torej je prišlo v času od 22. do 43. dneva do 18 % povečanja.

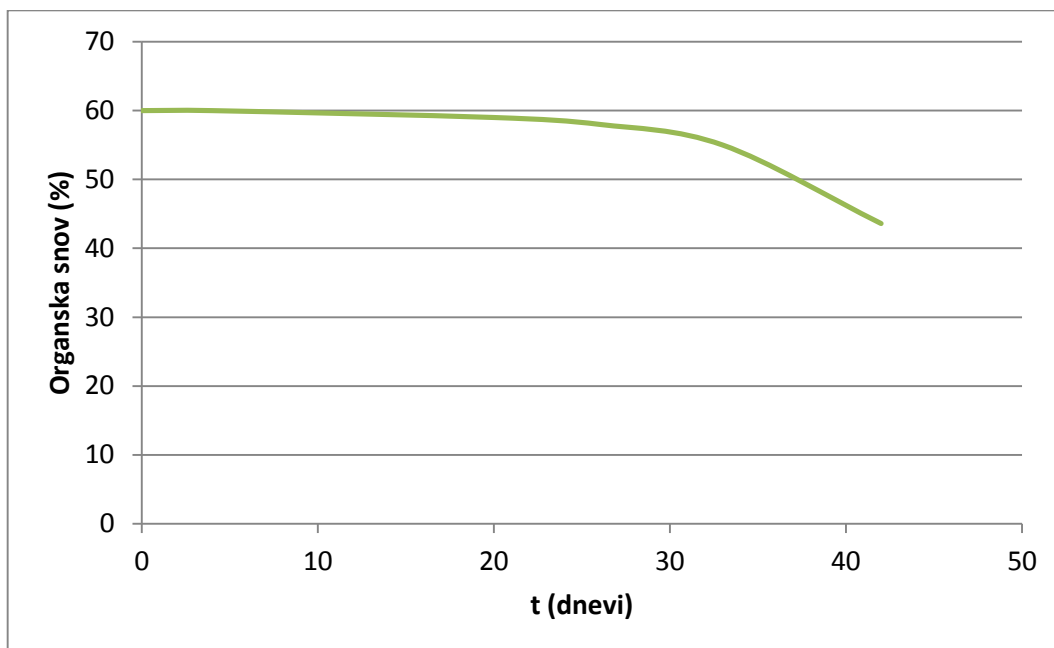


Slika 36: Anorganska snov v kopi B (%)

4.1.2.3 Organska snov

V začetku procesa kompostiranja je vsebnost organske snovi znašala 60 %. Po 15 dneh kompostiranja se je vsebnost organske snovi začela nižati in na koncu kompostiranja je bila

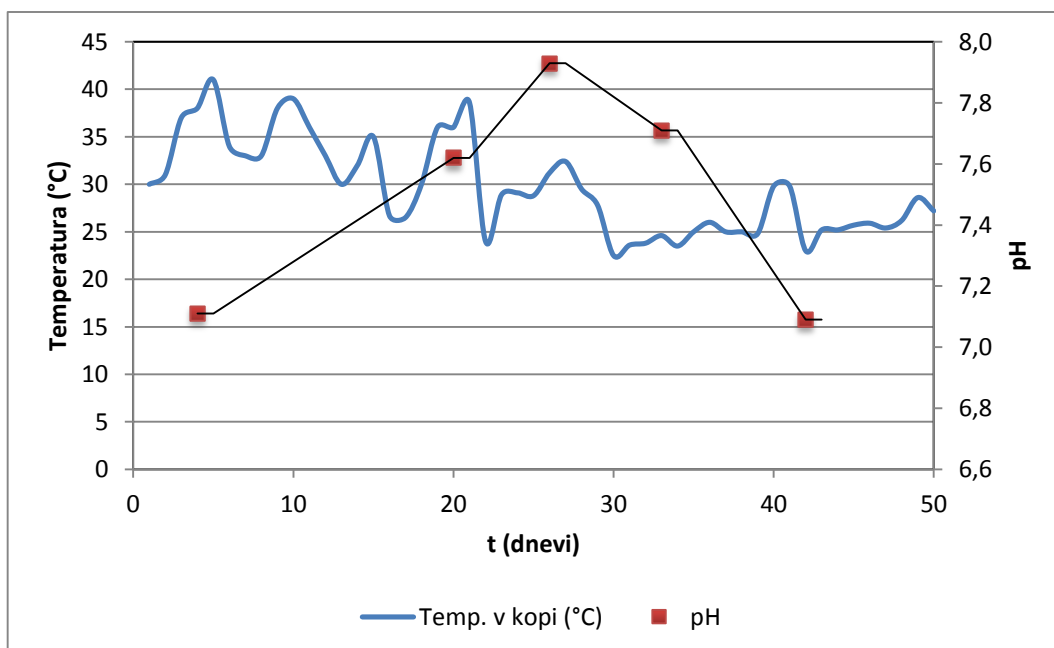
vsebnost 42 %, kar pomeni, da se je vsebnost organske snovi od začetka pa do konca kompostiranja znižala za 18 % (Slika 37).



Slika 37: Organska snov v kopi B (%)

4.1.2.4 Temperatura in pH

S Slike 38 je razvidno, da je bila najvišja pH-vrednost dosežena 25. dan kompostiranja in je znašala 7,9. Pri tem povišanju je bila temperatura v kopi 32 °C. Najnižjo pH-vrednost smo beležili 42. dan kompostiranja in je znašala 7,1.



Slika 38: Temperatura in pH v kopi B

Proces kompostiranja v kopi A in kopi B je potekal hkrati, kar nam je omogočilo medsebojno primerljivost rezultatov.

Ugotovili smo, da je bilo premetavanje kop (A in B) problematično, ker sta se kopi preveč ohladili. Torej je na dinamiko gibanja temperature v kopah vplivalo obračanje kompostne mešanice. Kopi sta se ob obračanju ohladili (kopa A iz 40 na 25 °C in kopa B iz 41 na 35 °C), kar je povzročilo motnjo v procesu oz. se je znatno zmanjšala aktivnost mikroorganizmov. V petih dneh sta se kopi zopet segreli do mezofilnega območja (38–40 °C). V drugem delu kompostiranja (od 25. do 50. dne) obračanje kop ni imelo znatnega vpliva na temperaturo v kopi.

Prav tako je v prvih dnevih kompostiranja na hlajenje kop in posledično na delovanje mikroorganizmov vplivalo pretirano prezračevanje v kopah (periodično vsako uro po 15 minut), ki se je izvajalo preko perforiranih cevi, nameščenih na dnu kompostnih kop. Zato smo v tej fazi po petih dneh zmanjšali prepihanje na periodo 3-krat na dan po 15 minut. Količina dovedenega zraka je bila 2,0 m³/min.

Problem pri prvi kopi (kopa A) je bila tudi sestava zelenega odreza. Stebelni odpad je vseboval veliko plastičnih niti, s katerimi hmelj vežejo na stebre. Ta plastika ni biološko razgradljiva in bi v večji kompostni kopi zelo oteževala kompostiranje (obračanje kop, uporaba komposta itd.). Zato smo v naslednjih preskusih uporabljali samo listni odpad.

V kopah (A in B) je višanje vsebnosti anorganske snovi (mineralizacija) potekalo zelo počasi. Podatki so med kopama primerljivi, saj je kompostiranje potekalo pod povsem enakimi pogoji. V kopi A je v obdobju od 5. do 23. dne prišlo celo do rahlega upadanja (prib. 2 %). Iz rezultatov je razvidno, da se je višanje anorganske snovi pri obeh kopah začelo po 25. dnevu kompostiranja, kar je posledica enakega masnega razmerja med zelenim odrezom in blatom (50 % : 50 %).

V procesu kompostiranja prihaja do biokemijskih pretvorb, katerih rezultat je razpadanje oz. zmanjšanje vsebnosti organske mase. V kopah (A in B) se je vsebnost organske snovi v aktivni fazi kompostiranja zmanjšala za prib. 1 %, na koncu postopka pa je bila mineralizacija okoli 16 %.

Pri gibanju pH-vrednosti glede na temperaturo v kopah smo ugotovili, da se je v kopi A pH-vrednost v obdobju 20-dnevnega kompostiranja gibala od 7 do 7,2. Najvišja vrednost pH je bila dosežena 33. dan kompostiranja in je znašala 7,6. Pri tem povišanju je bila temperatura v kopi 25 °C, medtem ko je bila v kopi B najvišja pH-vrednost dosežena 25. dan kompostiranja pri temperaturi 32 °C.

Po navedbah avtorja na povišanje vrednosti pH vplivajo razgradni produkti amonijevega dušika (Tiquian idr. 1996). V obeh kopah smo najnižjo pH-vrednost beležili 42. dan kompostiranja in je znašala v kopi A 6,8 in v kopi B 7,1.

Na podlagi navedenih rezultatov smo ugotovili, da razmerje med blatom in zelenim odrezom ni bilo najugodnejše, zato smo v naslednji fazi zmanjšali razmerje med blatom in zelenim odrezom (listni odpad hmelja). Po ugotovljeni zelo slabi mineralizaciji v 20 dneh kompostiranja v obeh kopah (A in B) smo med procesom kompostiranja spremenili prezračevanje oz. ga

uredili, tako da smo prezračevali redkeje, in sicer dvakrat na dan po 15 minut. Rezultati so nam pokazali tudi, da se je po 20 dneh mineraliziral le del organske snovi (prib. 1 %), medtem ko je bila mineralizacija po 50 dneh prib. 16 %, torej je bila mineralizacija slaba.

4.2 Faza 2

Glede na rezultate predhodnih preskusov (kopi A in B) smo želeli natančneje preučiti kompostni proces, s tem da smo se osredotočili na:

- kompostno mešanico z drugimi razmerji blato : hmelj,
- časovno obdobje kompostiranja.

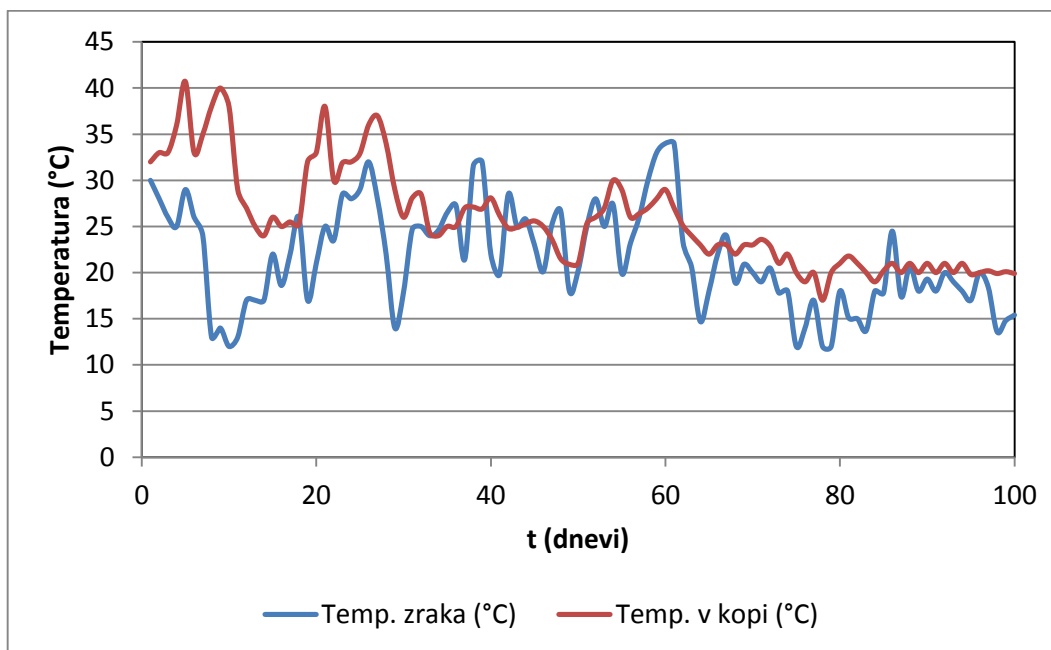
4.2.1 Kopa C

Volumen kope C je bil 1 m³ v razmerju aktivno blato : listni odrez hmelja 40 % : 60 %.

Sestava kope: organska snov 61 %, anorganska snov 39 %, suha snov 26 %, nasipna masa 475 kg/m³ – izračunano iz osnovnih podatkov za osnovne surovine z upoštevanjem razmerja med blatom in listnim odpadom (40 % : 60 %).

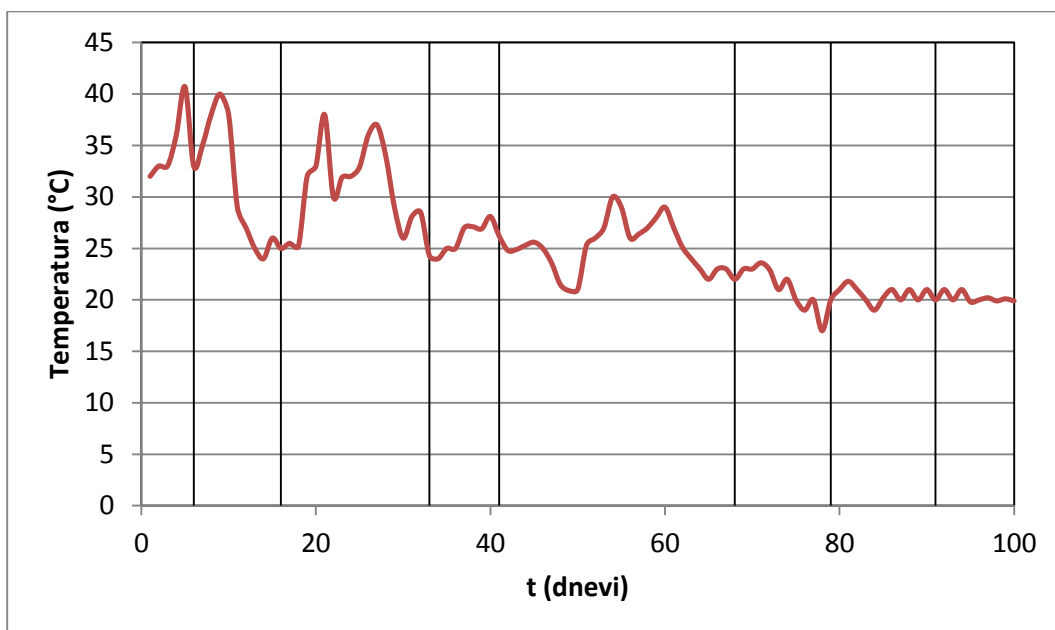
4.2.1.1 Temperatura in obračanje kope

Temperatura se je dvignila na 40 °C že tretji dan, kar pomeni, da je bilo doseženo mezofilno območje. Največje nihanje temperature je bilo zaznati do 30. dneva kompostiranja (Slika 39). Po 28. dnevu se je temperatura znižala na mejo mezofilnega območja. Po 80. dnevu kompostiranja se je temperatura v kopi ustalila pri okoli 20 °C.



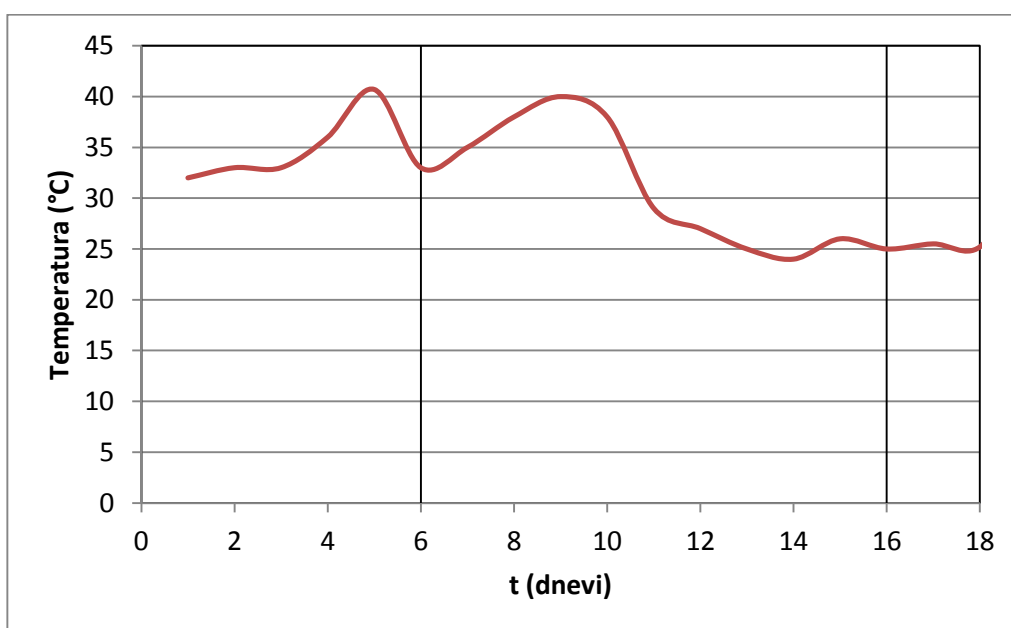
Slika 39: Temperatura v kopi in zraku – kopa C

S Slike 40 je razvidna dinamika gibanja temperature v kopi, ki je posledica obračanja kompostne mešanice. Kopa se je pri prvem obračanju (šesti dan kompostiranja) ohladila z 41 na 33 °C, kar pomeni, da so procesi še vedno potekali v mezofilnem območju. Pri drugem obračanju (18. dan kompostiranja) je bil temperaturni padec znatno večji, saj se je temperatura znižala s 40 na 24 °C, kar je neugodno za mikroorganizme, ki so prisotni v procesu. V naslednjih dneh se je kopa spet segrela do mezofilnega območja (38 °C). V času od 38. do 100. dne obračanje kope ni imelo znatnega vpliva na temperaturo.



Slika 40: Temperatura in prikaz obračanja kope C (navpična črta)

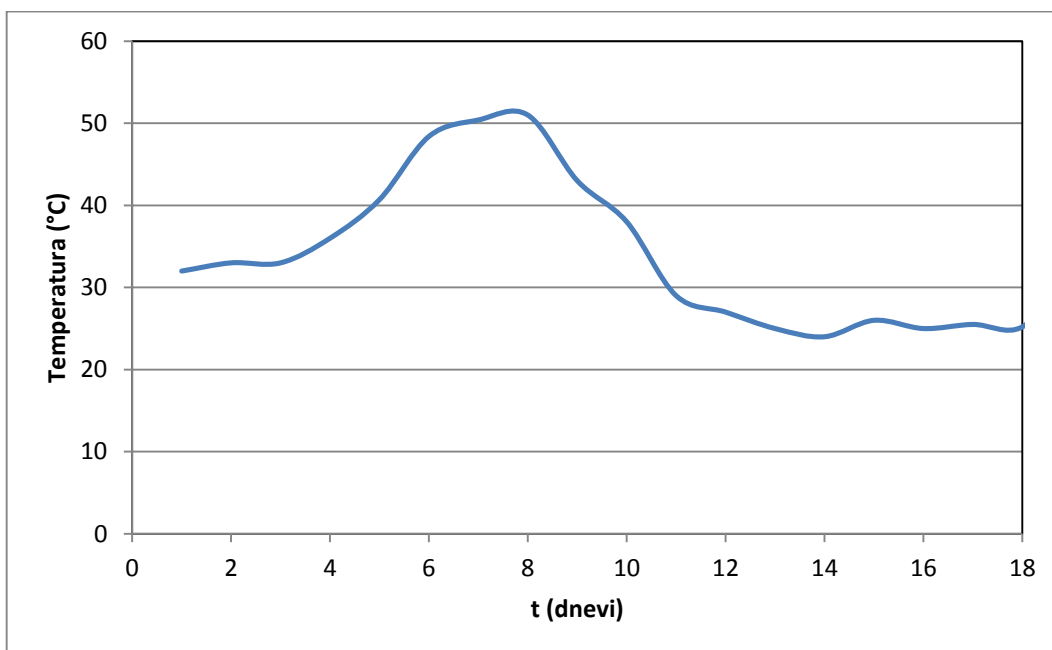
Graf prikazuje temperaturo za 18-dnevno časovno obdobje, kjer je temperatura dosegla najvišje vrednosti (do 41 °C).



Slika 41: Temperatura v kopi C do 18. dne

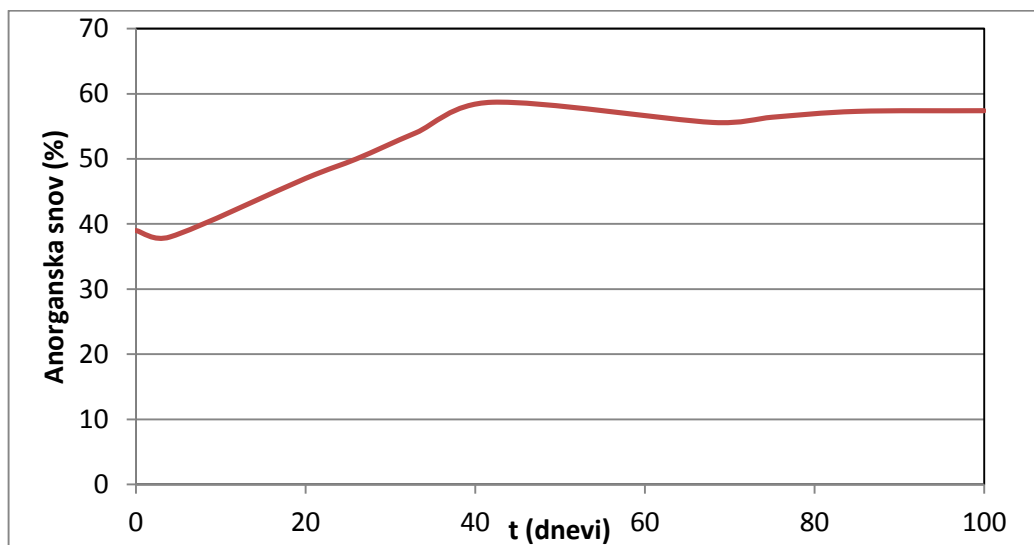
Po izrazitem padcu temperature (šesti dan kompostiranja), ki je posledica obračanja kope, je temperatura že po dveh dneh ponovno narasla na 40 °C, kar pomeni visoko mikrobnost razgradnje organskih snovi, pri kateri se sprošča toplota (Slika 41). Po 11. dnevu se je temperatura počasi nižala, kar je posledica zmanjšanja termofilnih mikroorganizmov.

Glede na to, da ima obračanje kope velik vpliv na temperaturno stanje v kompostnem procesu, smo izdelali graf, ki prikazuje temperaturo brez prvega obračanja kope (Slika 42). Po 6–8 dneh kompostiranja bi temperatura narasla do 52 °C, kar bi bilo ugodneje za prilagojene mikroorganizme. To pomeni, da smo z obračanjem povzročili toplotno izgubo za 18 °C in posledično je bil moten proces kompostiranja.



Slika 42: Popravljen temperatura v kopi C do 18. dne

4.2.1.2 Anorganska snov v kopi C

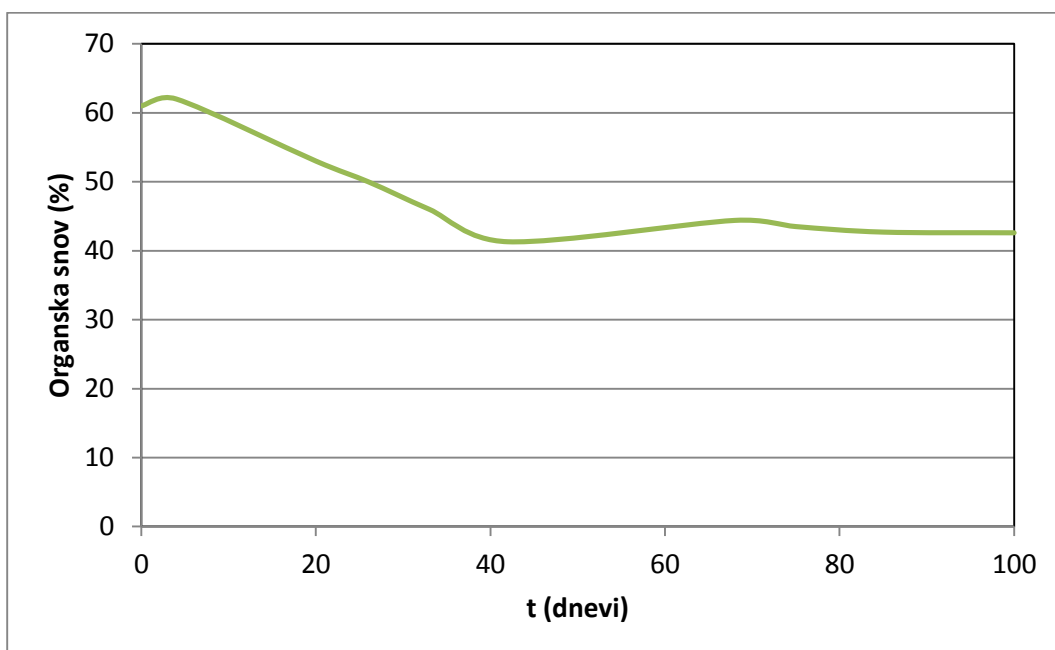


Slika 43: Anorganska snov v kopi C (%)

Zvišanje vsebnosti anorganske snovi (Slika 43) od začetka in do 20. dne kompostiranja je bilo 8 %, medtem ko je bil prirast pri 50-dnevnem kompostiranju 18 %. V obdobju od 50. do 100. dneva kompostiranja ni prišlo do povišanja oz. so se vrednosti med procesom spreminjale le minimalno.

4.2.1.3 *Organska snov*

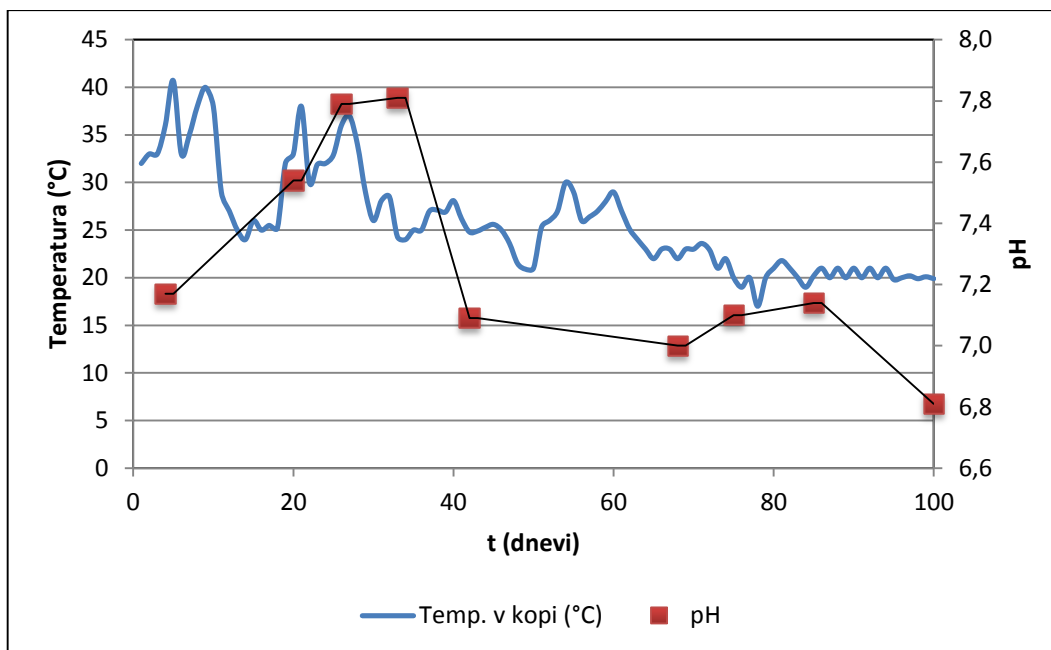
Po 20 dneh je bila odstranitev oz. znižanje vsebnosti organske snovi v kompostu 8 %, po 50 dneh pa 19 % (Slika 44). Mikrobne aktivnosti so se izrazito zmanjšale po 40. dnevu kompostiranja. Na koncu kompostiranja (100 dni) je bila mineralizacija le 21 %.



Slika 44: Organska snov v kopi C (%)

4.2.1.4 *Temperatura in pH*

Najvišja pH-vrednost je bila dosežena 37. dan kompostiranja pri temperaturi v kopi 40 °C in je znašala 7,8 (Slika 45). Po 40. dnevu in vse do konca kompostiranja se je pH-vrednost z manjšimi nihanjem ustalila v območju 6,8.



Slika 45: Temperatura in pH v kopi C

Glede na rezultate predhodnih preskusov (kopi A in B) smo v tej fazi preučili kompostni proces s kompostno mešanico z drugim razmerjem blata : zeleni odrez hmelja (40 % : 60 %), kompostiranje smo podaljšali na 100 dni in spremenili dinamiko preprihovanja, tako da je preprihovanje potekalo dvakrat na dan po 15 minut in je bilo vodeno s programsko uro.

Meritve temperature so nam pokazale, da se je začela aktivna faza kompostiranja že tretji dan z dvigom temperature na 40 °C, kar pomeni, da je bilo doseženo mezofilno območje. Po 30. dnevu kompostiranja se je proces upočasnil oz. se je zmanjšala mikrobna aktivnost. Na koncu kompostiranja se je temperatura v kopi z rahlim nihanjem približala zunanji temperaturi. Pri primerjavi gibanja temperature zraka in temperature v kopi smo ugotovili, da med njima ni neposredne povezave.

Na dinamiko gibanja temperature v kopi je tudi v tej fazi vplivalo obračanja kompostne mešanice, saj se je pri prvem obračanju (šesti dan kompostiranja) kopa ohladila za 8 °C, pri drugem obračanju (18. dan kompostiranja) pa kar za 16 °C. Hitro znižanje temperature v kopi pomeni motnjo pri delovanju mikroorganizmov, ki so prilagojeni na višjo temperaturo. Po nekaj dneh je temperatura spet dosegla mezofilno območje 38 °C. Po 50. dnevu in do konca kompostiranja (100 dni) obračanje kope ni imelo vpliva na temperaturo v kopi.

Na podlagi rezultatov gibanja temperature smo izdelali primerjalni graf, ki nam prikazuje temperaturo v kopi brez prvega obračanja kope. V tem primeru bi temperatura v kopi že po 6–8 dneh narasla do 52 °C, kar bi bilo ugodneje za prilagojene mikroorganizme, posledično pa bi hitreje prišlo do višje oksidativne mikrobne razgradnje organskih snovi.

V času kompostiranja smo spremljali tudi prirast anorganskih snovi, ki je bil od začetka do 20. dne kompostiranja 8 %. Na sredini kompostnega procesa (50 dni) se je vsebnost anorganskih snovi povečala za 18 %. Do konca kompostiranja (100 dni) pa ni prišlo do povišanja vrednosti oz. so se vrednosti med procesom spreminjale le minimalno.

V nadaljevanju smo spremljali tudi zmanjšanje vsebnosti organskih snovi oz. mineralizacijo, ki je bila po 20 dneh 8 %, po 50 dneh 19 %, po 100 dneh pa praktično ni prišlo do zmanjšanja organskih snovi (prib. 2 %). To pomeni, da je bila mineralizacija najvišja na polovici kompostnega procesa in podaljšano 100-dnevno kompostiranje na mineralizacijo ni imelo posebnega vpliva.

Pri spremljanju pH-vrednosti v kopi smo ugotovili, da je bila začetna vrednost 7,2. Pri tej vrednosti mikroorganizmi začnejo intenzivno razkrajati organski material. Na priporočila avtorja je delovanje mikroorganizmov najboljše pri širokem spektru pH-vrednosti, saj se na nižjo pH-vrednost težje prilagodijo (Turk 2011). Najvišja pH-vrednost je bila dosežena 37. dan kompostiranja pri temperaturi v kopi 40 °C in je znašala 7,8. Med procesom razgradnje je pH padel na vrednost 7, ob koncu kompostiranja pa je bil pH še nižji, saj je vrednost znašala 6,8, kar je na meji nevtralnosti komposta.

Glede na navedene rezultate lahko zaključimo, da je bilo premetavanje kop problematično, ker se je kopa preveč ohladila. Pretirano prezračevanje v prvih dneh je tudi vplivalo na hlajenje kope. Zato smo v tej fazi po dveh tednih zmanjšali preprihovanje. Ugotovili smo tudi, da je podaljšanje kompostnega procesa na 100 dni nesmiselno. V času od 50. do 100. dneva kompostiranja ni prišlo do dodatnega zmanjšanja oz. odstranitve organskih snovi, zato je dovolj, če kompostiranje traja 50 dni. Mineralizacija se je začela že v prvih dneh kompostiranja zaradi kompostne mešanice, ki je vsebovala večji delež zelenega odreza. Za 100-dnevno kompostiranje smo se odločili, da smo videli, kaj se dogaja v kopi v daljšem časovnem obdobju, vendar večjih sprememb v tem času ni bilo zaznati.

4.3 Faza 3

Glede na rezultate iz faze 2 (kopa C) smo želeli ugotoviti, kakšno je najboljšo razmerje kompostne mešanice, zato smo v tej fazi pripravili kope (D in E) z različnim razmerjem blata in zelenega odreza. Ugotovili smo tudi, da je bilo obračanje kope v prejšnji fazi prepogosto, zato smo v tej fazi prezračevali redkeje in na podlagi tega ugotovili, kolikšna je lahko mineralizacija, če v začetnem delu kompostiranja ne premetavamo kope.

4.3.1 Kopa D

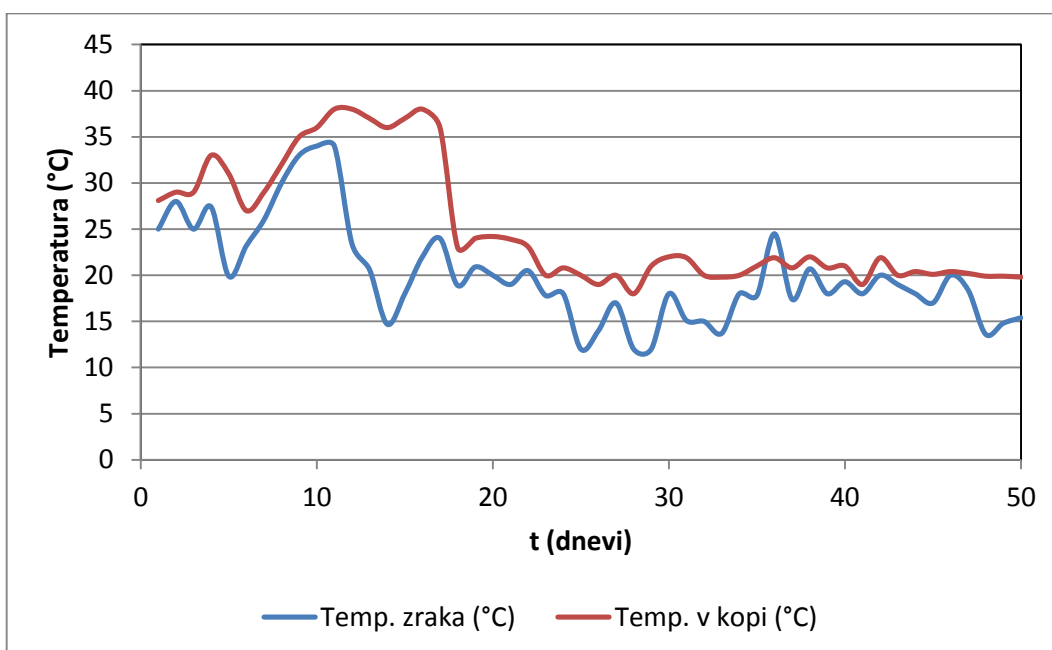
Volumen kope je bil 1 m³ v razmerju aktivno blato : listni odrez hmelja 40 % : 60 %.

Sestava kope: organska snov 67 %, anorganska snov 33 %, suha snov 31 %, nasipna masa 420 kg/m³ – izračunano iz osnovnih podatkov za osnovne surovine z upoštevanjem razmerja med blatom in listnim odpadom (40 % : 60 %).

4.3.1.1 Temperatura in obračanje kope

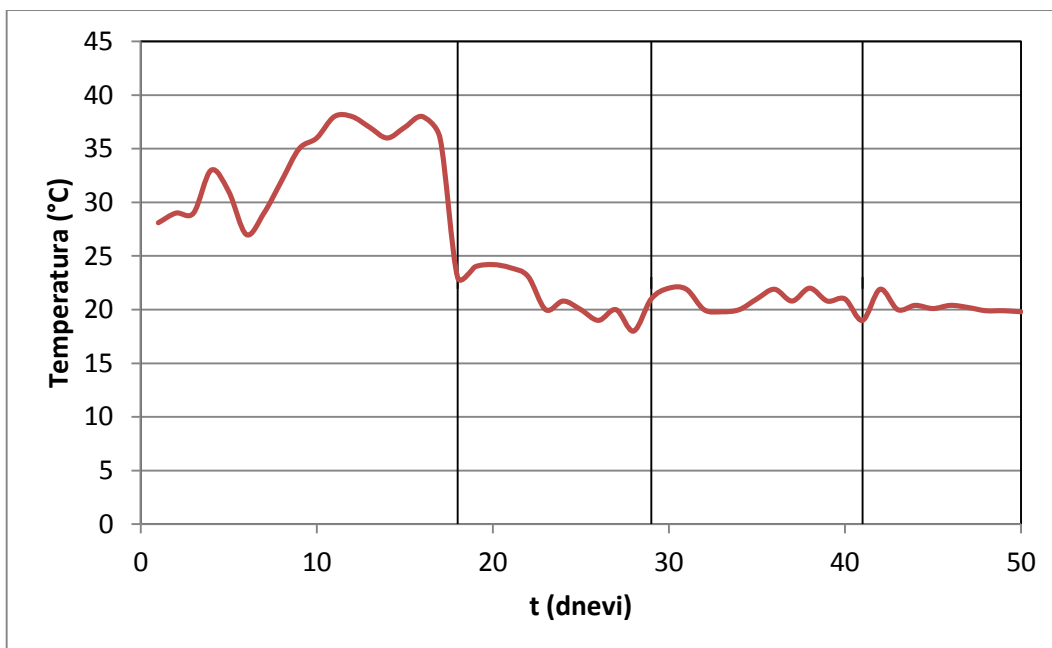
Temperatura v kopi je že tretji dan dosegla 33 °C. Po petih dneh je prišlo do rahlega znižanja temperature, vendar se je po desetih dneh spet dvignila na 38 °C, kar kaže na povečano

delovanje mikroorganizmov (Slika 46). Drastičen upad temperature je bil po 18. dnevu kompostiranja, ko se je temperatura v kopi znižala za 18 °C, kar pomeni, da se je znižala pod mezofilno območje. V tem območju je temperatura vztrajala vse do konca kompostiranja.



Slika 46: Temperatura v kopi in zraku – kopa D

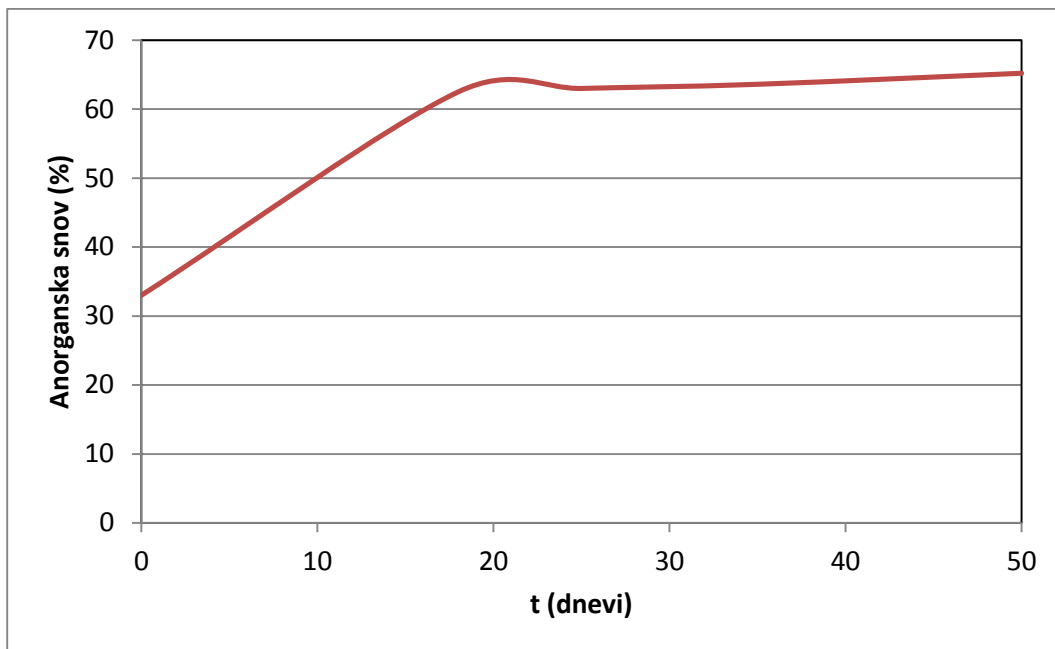
Temperatura se je v območju 38 °C gibala šest dni. Nato se je zaradi obračanja kope znižala na 23 °C, kar pomeni padec temperature za 18 °C. Posledično se je v kopi zmanjšal proces aktivnosti mikroorganizmov (Slika 47).



Slika 47: Temperatura in prikaz obračanja kope D (navpična črta)

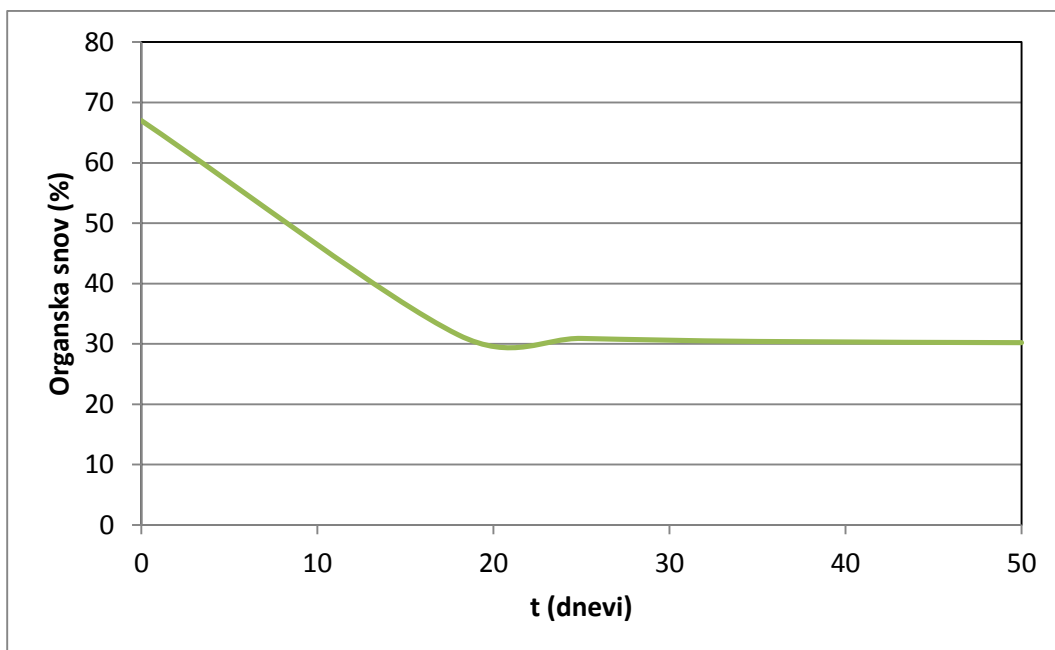
4.3.1.2 Anorganska snov

V kompostni kopi D se je vsebnost anorganske snovi konstantno višala do 20. dne kompostiranja in je znašala 29 % (Slika 48). V drugi polovici procesa se vrednost ni bistveno spremenila. Ob koncu kompostiranja je bil prirast anorganske snovi 32 %.



Slika 48: Anorganska snov v kopi D (%)

4.3.1.3 Organska snov

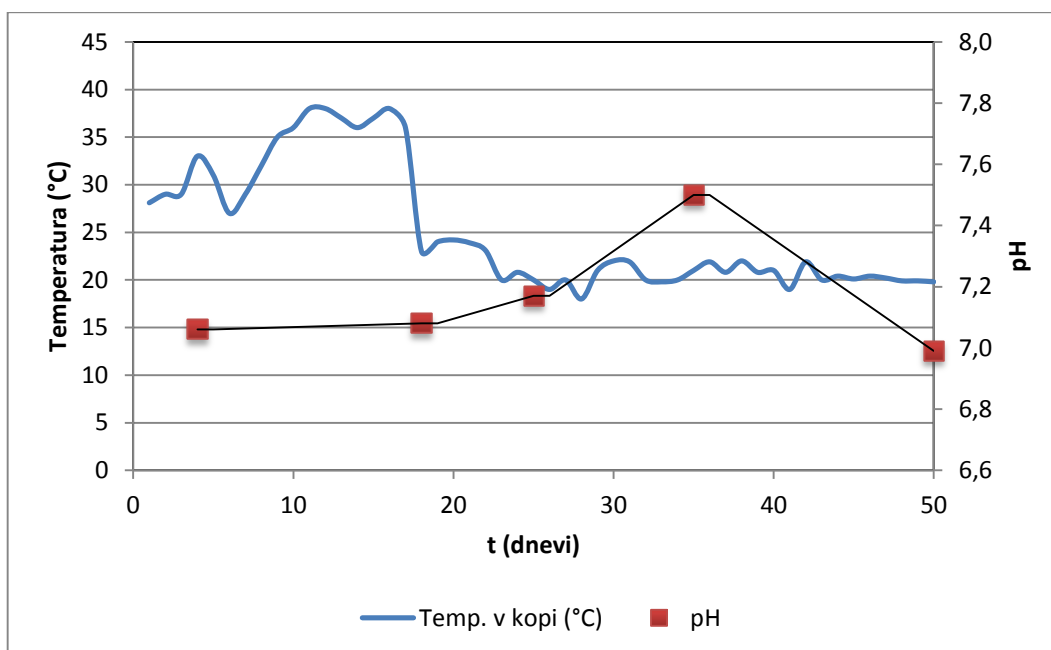


Slika 49: Organska snov v kopi D (%)

S Slike 49 je razvidno, da se je v času aktivne faze kompostiranja (20 dni) organska snov znižala za 36 %. V obdobju od 20. do 50. dne kompostiranja je bila odstranitev organske snovi samo 1 %, kar pomeni, da je bila mineralizacija praktično končana že po 20 dneh kompostnega procesa.

4.3.1.4 Temperatura in pH

V obdobju aktivne faze kompostiranja (20 dni) je pH-vrednost znašala 7–7,2. V drugem delu kompostiranja se je pH-vrednost zvišala na 7,5. To je bila tudi najvišja pH-vrednost v procesu. Na koncu procesa se je pH-vrednost znižala na 7 (Slika 50).



Slika 50: Temperatura in pH v kopi D

4.3.1.5 Analiza prisotnosti *Salmonelle spp.*

V kompostni kopi D smo po koncu kompostiranja (po 50 dneh) opravili test na *Salmonello spp.* Test so opravili v Nacionalnem laboratoriju za zdravje, okolje in hrano, Oddelek za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Celje po metodi ISO 6579:2002/Cor 1:2004 (ChromS 37 °C). Analizirali so 25 g snovi (komposta) in test je bil negativen, torej je bila higienizacija med kompostiranjem uspešna.

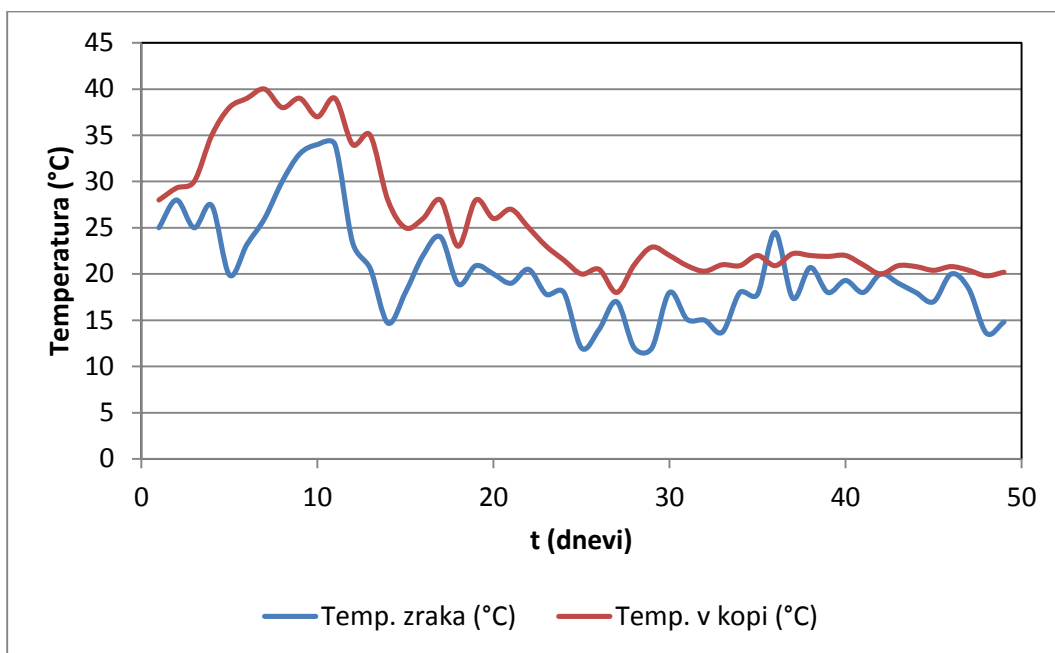
4.3.2 Kopa E

Volumen kope E je bil 1 m³ v razmerju aktivno blato : listni odrez hmelja 35 % : 65 %.

Sestava kope: organska snov 68 %, anorganska snov 32 %, suha snov 30 %, nasipna masa 410 kg/m³ – izračunano iz osnovnih podatkov za osnovne surovine z upoštevanjem razmerja med blatom in listnim odpadom (35 % : 65 %).

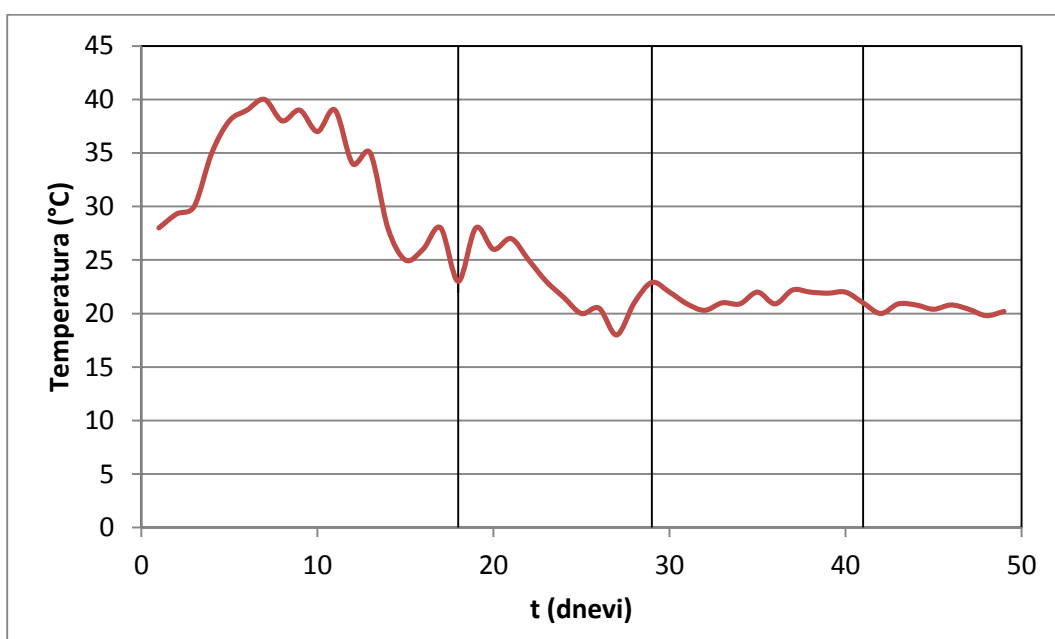
4.3.2.1 Temperatura in obračanje kope

Dinamika temperature v kopi E je prikazana na Sliki 51. Temperatura je dosegla mezofilno območje (40 °C) že v osmem dnevu kompostiranja. Do 15. dneva kompostiranja je bilo zaznati temperaturna nihanja v območju 35–38 °C, kar pomeni aktivno delovanje mezofilnih mikroorganizmov. Po 20. dnevu in vse do konca procesa se je temperatura gibala v območju 20–25 °C, kar hkrati pomeni tudi približek zunanji temperaturi.



Slika 51: Temperatura v kopi in zraku – kopa E

Slika 52 prikazuje gibanje temperature v kopi glede na obračanje kope. Pred obračanjem kope je bilo temperaturno stanje v mezofilnem območju (30–40 °C).

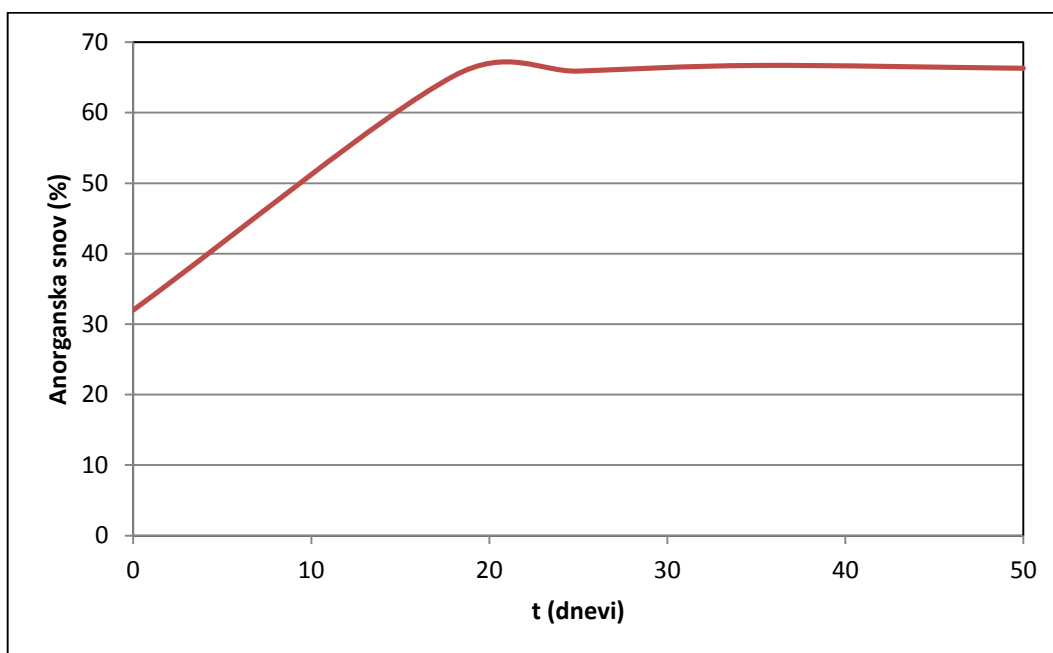


Slika 52: Temperatura in prikaz obračanja kope E (navpična črta)

Po obračanju (18. dan kompostiranja) je temperatura padla pod mejo mezofilnega območja in je znašala 23 °C. V nadaljevanju kompostiranja obračanje kope ni imelo znatnega vpliva na temperaturo.

4.3.2.2 Anorganska snov

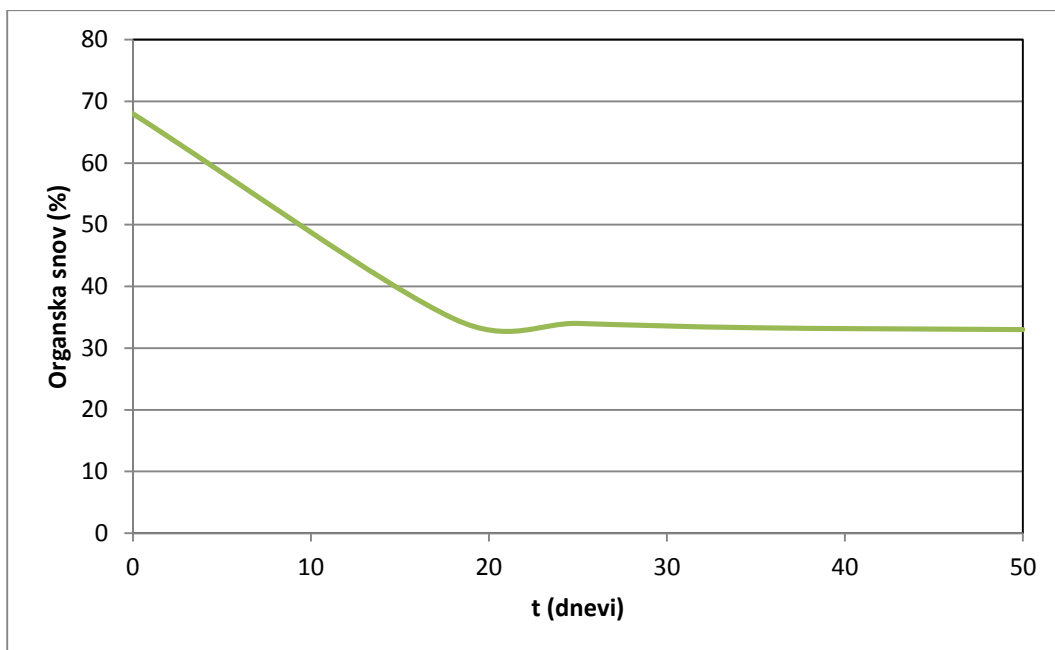
V aktivni fazi kompostiranja (20 dni) se je anorganska snov zvišala za 33 %. Začetna vsebnost anorganske snovi je znašala 32 %, na koncu kompostiranja pa je bila vsebnost 67 %, kar pomeni prirast za 35 %, torej je bil v drugem delu kompostiranja prirast anorganske snovi le 2 % (Slika 53).



Slika 53: Anorganska snov v kopi E (%)

4.3.2.3 Organska snov

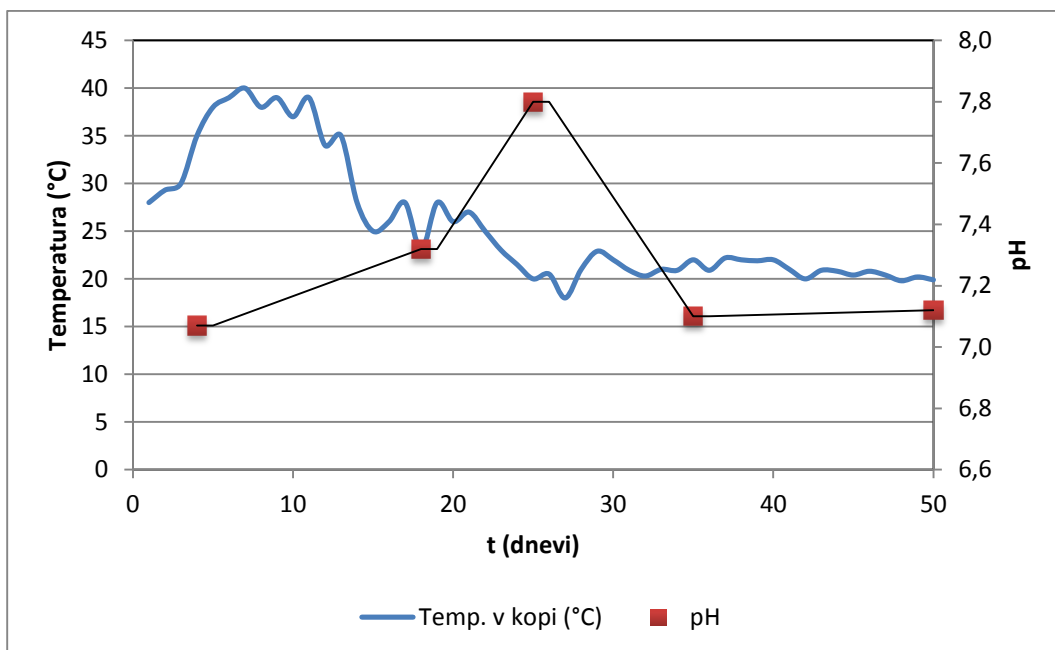
Začetna vsebnost organske snovi v kopi E je znašala 68 % (Slika 54). Po 20 dneh kompostiranja se je vsebnost znižala na 34 %, kar pomeni 34 % odstranitev. Po 50 dneh kompostiranja je vsebnost organske snovi znašala 33 %, kar pomeni 35 % mineralizacijo. Tudi v tem primeru je bila mineralizacija končana že v prvem delu kompostiranja (20 dni).



Slika 54: Organska snov v kopi E (%)

4.3.2.4 Temperatura in pH

Vrednost pH se je med kompostnim procesom počasi višala in dosegla svoj maksimum 7,8 v 25. dnevu kompostiranja. V tem času se je temperatura v kopi gibala od 20 do 25 °C (Slika 55). Po 35. dnevu in do konca kompostiranja je bila pH-vrednost konstantno 7–7,2.



Slika 55: Temperatura in pH v kopi E

Kompostiranje v kopah D in E je potekalo hkrati in pod enakimi pogoji, zato smo lahko rezultate med sabo primerjali.

Iz rezultatov gibanja temperature v tej fazi (kopi D in E) lahko sklepamo, da je temperatura v kopah lepo naraščala v delu, ko se večina organskih snovi mineralizira. Glede na to, da sta imeli kopi majhen volumen (1 m^3), je na temperaturo v kopah vplivala tudi zunanja temperatura. Seveda je na temperaturno dinamiko, kot v prejšnjih fazah, imelo vpliv prezračevanje in premetavanje kope, kljub temu da smo prepihovanje zmanjšali (dvakrat na dan po 15 minut) in premetavanje kop opravili šele 18. dan kompostiranja.

V kompostnih kopah (D in E) se je vsebnost anorganske snovi konstantno višala do 20. dne kompostiranja in tudi prirast na koncu kompostiranja je bil podoben.

Primerjava (med obema kopama) znižanja organske snovi je pokazala, da je bila v kopi D po 20 dneh 36 % odstranitvev, po 50 dneh 37 % odstranitvev, medtem ko je bila v kopi E po 20 dneh 34 % odstranitvev in po 50 dneh 35 % odstranitvev, kar pomeni, da se je večina organskih snovi mineralizirala v prvem delu kompostiranja.

Ugotovili smo, da se je pri obeh kopah v prvih dneh kompostiranja zaradi zmanjšanja mikrobne aktivnosti pH znižal, kar potrjuje tudi tezo avtorja (Diver 2004). Med kompostiranjem (od 25. do 35. dne) je v obeh primerih prišlo do povišanja pH-vrednosti, medtem ko se je na koncu kompostiranja pH-vrednost znižala na približno začetno stanje.

S povezavo vseh rezultatov lahko zaključimo, da je bil proces kompostiranja najboljši v kopi D. Večina organskih snovi se je mineralizirala po 20. dnevu kompostiranja in je dosegla 36 % odstranitvev. Na celoten proces je vplivalo razmerje v kompostni mešanici, ki je vsebovala 40 % aktivnega blata in 60 % listnega odpada hmelja.

V vzorcu kope D je bila po koncu kompostiranja (50. dan) opravljena tudi analiza o morebitni prisotnosti *Salmonelle spp.* in rezultat je bil negativen, kar pomeni, da je bila higienizacija med kompostiranjem upešna.

5. SKLEP

V magistrskem delu smo proučevali možnost kompostiranja aktivnega blata in zelenega odreza hmelja. Aktivno blato smo dobili na Čistilni naprave Kasaze, zeleni odrez hmelja pa na bližnjih poljih, kjer gojijo hmelj. Kompostiranje je potekalo na prostem, v neposredni bližini Čistilne naprave Kasaze.

Opravili smo vrsto preskusov, pri katerih smo študirali mineralizacijo organskih snovi za različne mešanice v sestavi aktivno blato : zeleni odrez hmelja (50 % : 50 %, 40 % : 60 % in 35 % : 65 %). Preskuse smo izvajali tudi v različnih pogojih prezračevanja in obračanja kop, volumen kop je bil 1 m³.

Ugotovili smo, da je najugodnejše razmerje aktivno blato : zeleni odrez hmelja 40 % : 60 % (kopa D) pri zmernem prezračevanju (dvakrat dnevno po 15 minut) in občasnem obračanju kope. Mešanica za kompostiranje je imela naslednje podatke oz. karakteristike: 67 % organske snovi, 33 % anorganske snovi, 31 % suhe snovi (69 % vlažnost), nasipna masa pa je bila 420 kg/m³. Po 20 dneh kompostiranja se je organska snov v kopi zmanjšala za 36 % in za 37 % po 50 dneh. Ob koncu kompostiranja smo opravili tudi test na patogene organizme in ugotovili, da ob koncu preskusa v kompostu niso bile prisotne bakterije, ki pri človeku in živalih povzročajo različne oblike črevesnih okužb (*Salmonella spp.*), kar kaže na dobro higienizacijo komposta.

Z raziskavami smo dosegli zastavljene cilje, saj kompost ni imel neprijetnega vonja, zmanjšala se je količina blata (organskih snovi), blato pa je uporabno za različne namene. Potrdili smo tudi hipotezo, da sta mineralizacija in celotni proces kompostiranja odvisna od časa trajanja kompostiranja in razmerja različnih odpadnih snovi, ki jih mineraliziramo.

Sama kakovost kompostnega substrata, ki smo ga uporabljali, ustreza zakonsko opredeljeni definiciji, ki ga predpisuje naša zakonodaja (Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov (Ur. l. RS 62/08) in Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Ur. l. RS 99/13)). Ta določa, da mora biti kompost biološko stabilen, higieniziran, humusu podoben material brez motečih vonjav, bogat z organsko snovjo, ki nastane s kompostiranjem.

Če bi želeli na čistilni napravi kompostirati odpadno blato, bi morali opraviti dodatne raziskave, ki bi morale upoštevati naše izsledke. Predvsem bi morali izdelati večje kope, kjer bi med procesom kompostiranja lažje kontrolirali nihanja temperature, prezračevanje in potrebno homogenizacijo kope. Menimo tudi, da bi v večjih kopah bila mineralizacija boljša, saj bi v kopah dosegli višjo temperaturo kot pri naših preskusih.

6. VIRI

- Ahn, H. K., Richard, T. L. in Glanville, T. D. (2008). *Laboratory determination of compost physical parameters for modeling of airflow characteristics*. *Waste Management*. 28 (3), 660–670.
- Banegas, V., Moreno, J. L., Moreno, J. I., García, C., León, G., in Hernández, T. (2007). *Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust*. *Waste Management*. 27 (10), 1317–1327.
- Bilitewski, B., Härdtle, G., in Marek, K. (2000). *Abfall – Wirtschaft. Handbuch für Praxis und Lehre*. 3. izdaja. Berlin, Springer Verlag: 729 str.
- Centar za ekologiju i energiju. (2014). *Život u kompostu*. Medmrežje: <http://ekologija.ba/index.php?w=c&id=112> (17. 2. 2014).
- Chroni, C., Kyriacou, A., Georgaki, I., Manios, T., Kotsou, M., in Lasaridi, K. (2009). *Microbial characterization during composting of biowaste*. *Waste Management*. 29 (5), 1520–1525.
- Cukjati, N. (2008). *Primerjalno kompostiranje mezofilno in termofilno stabiliziranega blata iz komunalne čistilne naprave*. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana.
- Danevčič, T., in Mulec, I. (2008). *Praktikum iz fiziologije mikroorganizmov*. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana. Medmrežje: http://www.bf.uni-lj.si/fileadmin/groups/2751/skripta_zabTH2.1.pdf (18. 2. 2014).
- Day, M., in Schaw, K. (2001). *Biological, chemical and physical processes of composting*. In: Stoffela, P.J. in Kahn, B.A. (Eds.). *Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems*. CRP Press, Boca Raton. 34 p. (25. 3. 2006). Available from: <http://www.environetbase.com/books/91/LA4143ch2.pdf>. (Junij 2011).
- Direktiva 2008/98/ES evropskega parlamenta in sveta (2008). Uradni list Evropske unije št. L 312/3.
- Directive on the protection of the environment and particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, (1986). 86/278/EEC, Official Journal of the European Communities 181.
- Diver, S. (2004). *Kontrollierte Mikrobielle Kompostierung und Humus Management*. Medmrežje: <http://www.ibiblio.org/steved/Luebke/Luebke-compost2.html> (18. 2. 2014).
- Grigatti, M., Cavani, L., in Ciavatta, C. (2011). *The evaluation of stability during the composting of different starting materials: comparison of chemical and biological parameters*. *Chemosphere* 83 (1), 41–48.

- Haruta, S., Nakajama, T., Nakamura, K., in ostali (2005). *Microbial diversity in biodegradation and reutilization processes of garbage*. J. Biosci Bioeng 99: 1–11.
- Hernández, T., Masciandaro, G., Moreno, J. I., in García C. (2006). *Changes in organic matter composition during composting of two digested sewage sludges*. Waste Management 26 (12), 1370–1376.
- Himanen, M., in Hänninen, K. (2011). *Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges - effect of feedstock on the process and quality of compost*. Bioresource Technology 102 (3), 2842–2852.
- Hočurščak, M. (1998). *Ekološki projekti na področju varstva voda*. Medmrežje: <http://mvd20.com/LETO1998/R10.pdf> (24. 11. 2014).
- Javno Komunalno podjetje, Žalec: *Centralna čistilna naprava Kasaze*, Interno gradivo, Žalec, (2012).
- Lott, J., in Albracht, A. (2001). *Mikrobiologie der Kompostierung von Abfällen*. Medmrežje: http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-56788-9_1 (18. 2. 2014).
- Majkovič, D. (2013). *Zelena Slovenija, 2012*. Medmrežje: <http://www.zelenaslovenija.si/revija-eol/aktualna-stevilka/okolje/1803-nekaj-rdecih-zastavic-a-veczelenih> (22. 2. 2014).
- Mohee, R., in Mudhoo, A. (2005). *Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix*. Powder Technology 155 (1), 92–99.
- Müller-Kopp, A. (2014). *Ratgeber Grungutwertverwertung*. Medmrežje: http://www.kompost.ch/magazin/xmedia/rotte_ratg.pdf (17. 2. 2014).
- Nakasaki, K., Tran, H. L. T., Idemoto, Y., Abe, M. in Rollon, A. P. (2009). *Comparison of organic matter degradation and microbial community during thermophilic composting of two different types of anaerobic sludge*. Bioresource Technology 100 (2), 676–682.
- Pausch, N., Gemenbe, B. in Gerbeth, A. (2010). *Untersuchungen zur Kompostierung von mit Härtebildnern bzw. Schwermetallen beladenen, chemisch modifizierten Naturfasermaterialien*. Medmrežje: http://home.zcu.cz/~tesarova/IP/Proceedings/Proc_2010/Files/003%20IP_2010%20Nikole%20Pausch%20Gemeinde_a_kolektiv.pdf (18. 2. 2014).
- Ponsá, S., Pagans, E. in Sánchez, A. (2009). *Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer*. Biosystems Engineering 102 (4), 433–443.
- Resolucija o Nacionalnem programu varstva okolja 2005–2012 (ReNPVO). Medmrežje: http://www.uradni-list.si/files/RS_-2006-002-00003-OB~P001-0000.PDF#/pdf (17. 2. 2014).

- Samec, N. (2005). *Ravnanje z odpadki* (Študijsko gradivo za dodiplomski univerzitetni študijski program), Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Katedra za energetske procese in okoljsko inženirstvo, Maribor.
- Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C. in Bernal, M. P. (2001). *Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures*. *Bioresource Technology* 78 (3), 301–308.
- Schloss, P. D., Hay, A. G., Wilson, D. B. in Walker, L. P. (2003). *Tracking temporal changes of bacterial community fingerprints during the initial stages of composting*. *FEMS Microbiol. Ecol.* 46:1–9.
- Schurard, F. (2005). *Composting of organic waste*. In: Jördering, H. J., Winter, J., in ostali. *Environmental biotechnology concepts and applications*. Willey-Verlag, Weinheim 333–54.
- Štukl, N. (2013). *Zasnova metodologije za implementacijo mestnega kompostiranja na lokalni ravni v RS*. Diplomsko naloga. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Vodarstvo in okoljsko inženirstvo.
- Tarrasón, D., Ojeda, G., Ortiz, O. in Alcañiz, J.M. (2008). *Differences on nitrogen availability in a soil amended with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge*. *Bioresource Technology* 99 (2), 252–259.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. in Hodgkiss, I. J. (1996). *Microbial activities during Composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents*. *Bioresource Tehnol* 55:201–6.
- Turk, R. (2011). *Integrirano ravnanje s proizvodnimi odpadki in blati čistilnih naprav v izbrani tekstilni tovarni*. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (samozaložba R. Turk): 198 f.
- Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav (2007). Uradni list RS, št. 45/2007.
- Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (2013). Uradni list RS, št. 99/2013.
- Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov (2008). Uradni list RS, št. 62/2008.
- Uredbo o odpadkih (2011). Uradni list RS, št. 103/2011.
- Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (2011). Uradni list RS 61/2011.
- Umwelt Bundesamt (2013). *Kompost und Klärschlamm*. Medmrežje:

<http://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-d>
(16. 2. 2014).

Zbytniewski, R. in Buszewski, B. (2005). *Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties*. *Bioresource Technology* 96 (4), 471–478.

Zelena Slovenija (2009). *Obnovljivi viri (OVE) v Sloveniji*. Medmrežje:
http://www.zelenaslovenija.si/images/stories/pdf_dokumenti/Obnovljivi-viri-energije-v-Sloveniji.pdf (23. 3. 2014).

Zupančič, G. in Grilc, V. (2013). *Pregled ravnanja z odvečnim blatom bioloških čistilnih naprav za odpadne vode*. Medmrežje:
http://www.sdzv-drustvo.si/si/images/vodni_dnevi/2013/referati/11-Zupancic-ref.pdf
(17. 2. 2014).

7. PRILOGE

PRILOGA 1

Tabela 1: Podatki za kopo A (blato : zeleni odrez = 50 % : 50 %)

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)		Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
1	30,0		29,0	78
2	28,0		30,0	78
3	26,0		30,0	80
4	25,0		32,0	76
5	29,0		38,0	82
6	26,0		28,0	75
7	24,0		30,8	81
8	13,0		31,0	79
9	14,0		33,0	78
10	12,0		38,0	80
11	13,0		38,0	81
12	17,0		37,0	82
13	17,0		36,0	83
14	17,0		39,0	83
15	22,0		40,0	42
16	18,6		24,7	75
17	22,0		32,0	70
18	26,0		34,7	73
19	17,0		39,0	70
20	21,0		38,0	47
21	25,0		40,0	42
22	23,5		28,0	41
23	28,5		32,0	53
24	28,0		32,0	64
25	29,0		33,0	40
26	32,0		29,0	36
27	28,0		29,0	81
28	22,0		30,0	90
29	14,0		27,9	97
30	17,9		26,9	92
31	24,7		23,4	41
32	25,0		24,8	68
33	24,0		24,6	55
34	24,6		24,6	53
35	26,5		24,0	57
36	27,3		24,0	64
37	21,4		23,0	81
38	31,6		23,0	36
39	32,0		22,9	38

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)		Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
40	22,0		23,0	58
41	19,8		29,3	88
42	28,5		22,0	39
43	25,0		26,6	52
44	25,8		26,4	47
45	23,0		26,5	68
46	20,1		26,4	78
47	25,2		27,2	69
48	26,7		30,3	70
49	18,0		28,0	95
50	20,2		27,0	86

PRILOGA 2

Tabela 2: Podatki za kopo B (blato : zeleni odrez = 50 % : 50 %)

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
1	30,0	30,0	78
2	28,0	31,0	78
3	26,0	37,0	80
4	25,0	38,0	76
5	29,0	41,0	82
6	26,0	34,0	75
7	24,0	33,0	81
8	13,0	33,0	79
9	14,0	38,0	78
10	12,0	39,0	80
11	13,0	36,0	81
12	17,0	33,0	82
13	17,0	30,0	83
14	17,0	32,0	83
15	22,0	35,0	42
16	18,6	26,7	75
17	22,0	26,5	70
18	26,0	30,0	73
19	17,0	36,0	70
20	21,0	36,0	47
21	25,0	38,6	42
22	23,5	24,0	41
23	28,5	28,9	53
24	28,0	29,1	64
25	29,0	28,8	40
26	32,0	31,2	36
27	28,0	32,4	81
28	22,0	29,5	90
29	14,0	27,8	97
30	17,9	22,5	92
31	24,7	23,6	41
32	25,0	23,8	68
33	24,0	24,6	55
34	24,6	23,5	53
35	26,5	25,0	57
36	27,3	26,0	64
37	21,4	25,0	81
38	31,6	25,0	36
39	32,0	24,8	38

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
40	22,0	29,8	58
41	19,8	29,8	88
42	28,5	23,0	39
43	25,0	25,2	52
44	25,8	25,2	47
45	23,0	25,7	68
46	20,1	25,9	78
47	25,2	25,4	69
48	26,7	26,2	70
49	18,0	28,6	95
50	20,2	27,2	86

PRILOGA 3

Tabela 3: Podatki za kopo C (blato : zeleni odrez = 40 % : 60 %)

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
1	30,0	32,0	78
2	28,0	33,0	78
3	26,0	33,0	80
4	25,0	36,0	76
5	29,0	40,7	82
6	26,0	33,0	75
7	24,0	35,0	81
8	13,0	38,0	79
9	14,0	40,0	78
10	12,0	38,0	80
11	13,0	29,0	81
12	17,0	27,0	82
13	17,0	25,0	83
14	17,0	24,0	83
15	22,0	26,0	42
16	18,6	25,0	75
17	22,0	25,5	70
18	26,0	25,2	73
19	17,0	32,0	70
20	21,0	33,0	47
21	25,0	38,0	42
22	23,5	30,0	41
23	28,5	31,9	53
24	28,0	32,0	64
25	29,0	32,9	40
26	32,0	36,0	36
27	28,0	37,0	81
28	22,0	34,0	90
29	14,0	29,0	97
30	17,9	26,0	92
31	24,7	28,1	41
32	25,0	28,5	68
33	24,0	24,3	55
34	24,6	24,0	53
35	26,5	25,0	57
36	27,3	25,0	64
37	21,4	27,0	81
38	31,6	27,1	36
39	32,0	26,9	38

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
40	22,0	28,1	58
41	19,8	26,2	88
42	28,5	24,8	39
43	25,0	24,9	52
44	25,8	25,3	47
45	23,0	25,6	68
46	20,1	25,0	78
47	25,2	23,6	69
48	26,7	21,5	70
49	18,0	20,9	95
50	20,2	21,0	86
51	25,0	25,3	88
52	28,0	26,0	75
53	25,0	27,0	55
54	27,4	30,0	50
55	19,9	29,0	81
56	23,2	26,0	50
57	26,0	26,4	68
58	30,0	27,0	70
59	33,0	28,0	66
60	34,0	29,0	57
61	34,0	27,0	69
62	23,4	25,1	61
63	20,6	24,0	78
64	14,7	23,0	96
65	18,0	22,0	85
66	22,0	23,0	79
67	24,0	23,0	72
68	18,9	22,0	68
69	20,9	23,0	69
70	20,0	23,0	70
71	19,0	23,6	72
72	20,5	22,9	67
73	17,8	21,0	94
74	18,0	22,0	51
75	12,0	20,0	44
76	14,0	19,0	72
77	17,0	20,0	95
78	12,0	17,0	82
79	12,0	20,0	86
80	18,0	21,0	89
81	15,1	21,8	94

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
82	15,0	21,0	82
83	13,7	20,0	84
84	18,0	19,0	69
85	17,8	20,2	93
86	24,5	21,0	56
87	17,4	20,0	93
88	20,7	21,0	61
89	18,0	20,0	82
90	19,3	21,0	85
91	18,0	20,0	84
92	20,0	21,0	70
93	19,0	20,0	76
94	18,0	21,0	82
95	17,0	19,8	89
96	20,0	20,0	82
97	18,4	20,2	78
98	13,6	19,9	98
99	14,8	20,1	89
100	15,4	19,9	80

Tabela 4: Podatki za kopo D (blato : zeleni odrez = 40 % : 60 %)

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
1	25,0	28,1	88,0
2	28,0	29,0	75,0
3	25,0	29,0	55,0
4	27,4	33,0	50,0
5	19,9	31,0	81,0
6	23,2	27,0	50,0
7	26,0	29,0	68,0
8	30,0	32,0	70,0
9	33,0	35,0	66,0
10	34,0	36,0	57,0
11	34,0	38,0	69,0
12	23,4	38,0	61,0
13	20,6	37,0	78,0
14	14,7	36,0	96,0
15	18,0	37,0	85,0
16	22,0	38,0	79,0
17	24,0	36,0	72,0
18	18,9	23,0	68,0
19	20,9	24,0	69,0
20	20,0	24,2	70,0
21	19,0	23,9	72,0
22	20,5	23,1	67,0
23	17,8	20,0	94,0
24	18,0	20,8	51,0
25	12,0	20,0	44,0
26	14,0	19,0	72,0
27	17,0	20,0	95,0
28	12,0	18,0	82,0
29	12,0	21,0	86,0
30	18,0	22,0	89,0
31	15,1	21,9	94,0
32	15,0	20,0	82,0
33	13,7	19,8	84,0
34	18,0	20,0	69,0
35	17,8	21,0	93,0
36	24,5	21,9	56,0
37	17,4	20,8	93,0
38	20,7	22,0	61,0
39	18,0	20,8	82,0
40	19,3	21,0	85,0

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
41	18,0	19,0	84,0
42	20,0	21,9	70,0
43	19,0	20,0	76,0
44	18,0	20,4	82,0
45	17,0	20,1	89,0
46	20,0	20,4	82,0
47	18,4	20,2	78,0
48	13,6	19,9	98,0
49	14,8	19,9	89,0
50	15,4	19,8	80,0

PRILOGA 5

Tabela 5: Podatki za kopo E (blato : zeleni odrez = 35 % : 65 %)

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
1	25,0	28,0	88,0
2	28,0	29,3	75,0
3	25,0	30,0	55,0
4	27,4	35,0	50,0
5	19,9	38,0	81,0
6	23,2	39,0	50,0
7	26,0	40,0	68,0
8	30,0	38,0	70,0
9	33,0	39,0	66,0
10	34,0	37,0	57,0
11	34,0	39,0	69,0
12	23,4	34,0	61,0
13	20,6	35,0	78,0
14	14,7	28,0	96,0
15	18,0	25,0	85,0
16	22,0	26,0	79,0
17	24,0	28,0	72,0
18	18,9	23,0	68,0
19	20,9	28,0	69,0
20	20,0	26,0	70,0
21	19,0	27,0	72,0
22	20,5	25,0	67,0
23	17,8	23,0	94,0
24	18,0	21,5	51,0
25	12,0	20,0	44,0
26	14,0	20,5	72,0
27	17,0	18,0	95,0
28	12,0	21,0	82,0
29	12,0	22,9	86,0
30	18,0	22,0	89,0
31	15,1	20,9	94,0
32	15,0	20,3	82,0
33	13,7	21,0	84,0
34	18,0	20,9	69,0
35	17,8	22,0	93,0
36	24,5	20,9	56,0
37	17,4	22,2	93,0
38	20,7	22,0	61,0
39	18,0	21,9	82,0
40	19,3	22,0	85,0

t (dnevi)	Temp. zraka (°C)	Temp. v kopi (°C)	Zračna vlaga (%)
41	18,0	21,0	84,0
42	20,0	20,0	70,0
43	19,0	20,9	76,0
44	18,0	20,8	82,0
45	17,0	20,4	89,0
46	20,0	20,8	82,0
47	18,4	20,4	78,0
48	13,6	19,8	98,0
49	14,8	20,2	89,0
50	15,4	19,9	80,0

PRILOGA 6

Tabela 6: Osnovni podatki za kopi A in B

	Kopa A		Kopa B	
	Stebelni odpad	Blato	Listni odpad	Blato
Organska snov (%)	73	55,6	75	55,6
Anorganska snov (%)	27	44,4	25	44,4
Suha snov (%)	24,2	29,3	24,8	29,3
Nasipna masa (kg/m ³)	442	521	448	521

Tabela 7: Osnovni podatki za kope C, D in E

	Kopa C		Kopa D		Kopa E	
	Listni odpad	Blato	Listni odpad	Blato	Listni odpad	Blato
Organska snov (%)	72	55,6	75	55,7	74	55,7
Anorganska snov (%)	28	44,4	25	44,3	26	44,3
Suha snov (%)	23,9	29,3	31,9	30,3	30,6	30,3
Nasipna masa (kg/m ³)	444	521	335,1	546,8	336,8	546,8

Tabela 8: Osnovni podatki za kope A – E z upoštevanjem razmerij blato : zeleni odrez

	A (50 : 50)	B (50 : 50)	C (40 : 60)	D (40 : 60)	E (35 : 65)
Organska snov (%)	59	60	61	67	68
Anorganska snov (%)	41	40	39	33	32
Suha snov (%)	27	27	26	31	30
Nasipna masa (kg/m ³)	482	485	475	420	410

Tabela 9: Anorganska in organska snov v različnih kopah v različnih časih

Parameter/Kopa	A	B	C	D	E
Org. snov – start (%)	59	60	61	67	68
Org. snov po 20 dneh (%)	59	59	53	31	34
Org. snov po 50 dneh (%)	45	44	42	30	33
Org. snov po 100 dneh (%)			40		
% odstranitve – 20 dni	0	1	8	36	34
% odstranitve – 50 dni	15	16	19	37	35
% odstranitve – 100 dni			21		
Anorg. Snov – start (%)	41	40	39	33	32
Po 20 dneh (%)	41	40	47	62	65
Po 50 dneh (%)	56	56	57	65	67
% prirasti – 20 dni	0	0	8	29	33
% prirasti – 50 dni	15	16	18	32	35