

UNIVERZA V NOVI GORICI
FAKULTETA ZA ZNANOSTI O OKOLJU

**CELOVIT PRISTOP H KOMPOSTIRANJU
BIORAZGRADLJIVIH PLASTIČNIH VREČK**

DIPLOMSKO DELO

Ana KARAT

Mentor: doc. dr. Andrej Kržan

Nova Gorica, 2014

IZJAVA

Izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Rezultati, ki so nastali v okviru skupnega raziskovanja z drugimi raziskovalci, ali so jih prispevali drugi raziskovalci (strokovnjaki), so eksplicitno prikazani oziroma navedeni (citirani) v diplomskem delu.

Ana Karat

Zahvala

Najprej bi se rada zahvalila mentorju, doc. dr. Andreju Kržanu, ki me je usmerjal na vsakem koraku in pomagal izvesti moje diplomsko delo. Prav tako bi se zahvalila tudi Petri Horvat, ki mi je bila v veliko pomoč pri mojem delu in mi bila vedno na voljo za vsako vprašanje. Zahvala gre tudi kompostarni Saubermacher in Centru za ravnanje z odpadki Vrhnika ter njihovim zaposlenim, saj mi brez njihove pomoči, ne bi uspelo izvesti poskusa. Posebej se zahvaljujem g. Bojanu Krpanu, ki mi je bil v veliko pomoč pri zbiranju podatkov in informacij. Zahvalila bi se tudi gospe Sandri Loboda iz Javnega podjetja Okolje Piran d. o. o., ki mi je bila pripravljena odgovoriti na nekaj vprašanj ter gospodu Igorju Petku in Snage d.o.o., ki mi je posredoval nekaj podatkov, da sem jih uporabila v moji diplomski nalogi. Ne nazadnje pa se zahvaljujem tudi moji družini in mojim najbližjim, ki so me podpirali skozi celotno pot študija in zaupali vame. Hvala.

POVZETEK

Cene surovin in energije so vsako leto višje, obremenitve okolja pa se zaradi vedno večje potrošnje kopičijo. Nove raziskave kažejo, da smo s plastiko onesnažili že večino našega planeta. Zaradi takšnih trendov, smo začeli razmišljati bolj sonaravno oz. "zeleno". Z razvojem novih in okolju prijaznejših tehnologij in materialov, smo razvili različne možne rešitve za ogromne količine plastike, ki jih uporabljamo. Biorazgradljiva plastika je ena od njih.

Glavna prednost biorazgradljive plastike je biološki razkroj s pomočjo mikroorganizmov, ki pripelje do mineralizacije snovi. Ena izmed vrst biorazgradljive plastike je kompostirna plastika, ki se razgradi tekom enega kompostirnega cikla in nima negativnih vplivov na okolje. Uporabljamo jo predvsem za vrečke za zbiranje bioloških odpadkov v gospodinjstvih. Osrednji cilj moje diplomske naloge je bil preveriti obnašanje vrečk iz certificirane kompostirne plastike v procesu industrijskega kompostiranja.

Vrečke iz kompostirne plastike niso imele negativnega vpliva na izvedbo tehničnih postopkov med izvedbo kompostiranja, kot so mešanje, obračanje in mletje materiala. Hkrati niso povzročile negativnega vpliva na kvaliteto komposta in z njihovo uporabo bi zmanjšali količino odpadnega presevka, ki konča na odlagališču ali v sežigalnicah odpadkov. Množična uporaba takšne plastike bi pomenila večjo proizvodnjo komposta višje kakovosti, zmanjšano količino presevka, ki ga je potrebno odložiti in s tem manj negativnih vplivov na okolje.

KLJUČNE BESEDE: biorazgradljiva plastika, biorazgradljivi odpadki, industrijsko kompostiranje, kompostirna plastika

SUMMARY

The prices of resources and energy are higher every year while environmental burdens accumulate due to increasing consumption. New research shows that through the years we managed to pollute most of the planet with plastics. Due to such trends, we started with a more sustainable or "green" approach of thinking. With the development of new environment-friendly technologies and materials, we have developed alternative solutions to the huge amount of plastics. Biodegradable plastics are one of them.

The foundation of biodegradable plastics is their biological decomposition by microorganisms, which leads to the mineralization of substances. One of the types of biodegradable plastic is compostable plastics, which degrades during one composting cycle and has no negative impact on the environment. It is primarily used as the bags material for collection of biodegradable waste from households. The basis of my diploma thesis, was to examine the behavior of the bags from certified compostable plastic, through the process of industrial composting.

Compostable plastic bags had no negative impact on the technical processes during the composting cycle, such as mixing, turning and grinding of the material. At the same time, they did not cause any negative impact on the quality of the compost and with their usage, we would reduce the amount of sift waste that ends up in landfills or incinerators. The widespread use of such types of plastics, means more produced compost of a higher quality range, reduced quantities of the sift waste that needs to be landfilled which brings less negative impacts on the environment.

KEY WORDS: biodegradable plastics, biodegradable waste, industrial composting, compostable plastics

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNE OSNOVE	3
2.1	Kompostiranje.....	3
2.1.1	Osnove kompostiranja	3
2.1.2	Priprava organskih odpadkov za kompostiranje.....	5
2.1.3	Postopek kompostiranja.....	6
2.1.4	Načini kompostiranja.....	6
2.1.5	Odprti sistemi.....	6
2.1.5.1.1	Kompostiranje v kopicah	7
2.1.5.1.2	Blazinasto kompostiranje	7
2.1.6	Zaprti sistemi	8
2.1.6.1.1	Kompostiranje v celici	8
2.1.6.1.2	Postopek Brikollare	9
2.1.6.1.3	Kompostiranje v bobnu	9
2.1.6.1.4	Stolpni postopek.....	9
2.1.6.1.5	Orgaver postopek	10
2.1.7	Vplivi na okolje	10
2.1.8	Postavitev kompostarne	11
2.1.9	Določanje kakovosti in uporabe komposta.....	12
2.1.10	Stanje v Sloveniji.....	16
2.2	Obseg kompostiranja	18
2.2.1	Domače kompostiranje	18
2.2.2	Industrijsko kompostiranje	18
2.3	Biorazgradljiva plastika	20
2.3.1	Kompostirna plastika.....	22
3	EKSPERIMENTALNI DEL	25
3.1	Potek kompostiranja v kompostarni Centra za ravnanje z odpadki Vrhnika... 25	
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	31

4.1	INDUSTRIJSKO KOMPOSTIRANJE	31
4.1.1	Problematika neželenih primesi med biološkimi odpadki.....	31
4.1.2	Pregled spremljanih parametrov med procesom	31
4.1.2.1	Temperaturni režim med procesom	33
4.1.2.2	pH režim med procesom kompostiranja	36
4.1.2.3	Količina dodane vode med procesom	37
4.1.3	Masna bilanca kompostiranja	38
4.1.4	Vpliv vrečk na industrijsko kompostiranje in uspešnost razgradnje	38
4.1.5	Stroški kompostiranja naše kopice	39
	Pri kompostiranju naše kompostne kopice nismo imeli dodatnih stroškov.....	39
4.2	Laboratorijski poskus kompostiranja vrečk iz biorazgradljive plastike	39
4.3	Primer dobre prakse zbiranja bioloških odpadkov v občini Piran	41
4.4	Prenos rezultatov poskusa na osrednjo Slovenijo	44
5	ZAKLJUČKI	46
6	VIRI IN LITERATURA.....	48
	PRILOGE (ANNEXES).....	52

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Meje vrednosti parametrov za uvrstitev komposta v kakovostni razred (Ur. l. RS št. 99/2013)	13
Preglednica 2: Pregled ločeno zbranih frakcij v občini Piran od leta 2001 do 2013 (Vir: Okolje Piran)	43
Preglednica 3: Primerjava stroškov za komunalni podjetji Okolje Piran in Snaga	44

SEZNAM SLIK

Slika 1: Prikaz zaprtega načina kompostiranja v celicah (Vir: Engineered Compost Systems, Inc.)	8
Slika 2: Prikaz načina kompostiranja v rotirajočem bobnu (Vir: Groupe Commercial Paul Larouche).....	9
Slika 3: Skupna letna količina zbranih odpadkov, ki so primerni za kompostiranje v letih od 2002 do 2012 (SURS, 2013)	16
Slika 4: Skupna letna količina odpadkov, ki so primerni za kompostiranje in so bili oddani na predelavo v letih od 2002 do 2012 (SURS, 2013).....	17
Slika 5: Skupna količina odpadkov primernih za kompostiranje, ki so bili zbrani, vendar niso bili predelani in so bili potem odloženi na odlagališčih odpadkov v obdobju od leta 2002 do 2012 (SURS, 2013).....	17
Slika 6: Shema procesa industrijskega kompostiranja (Vir: Williams P. T., 2005)	19
Slika 7: Svetovna proizvodnja bioplastike v 1000 tonah od leta 2010 do 2012 in napoved za obdobje do leta 2017 (Vir: European Bioplastics in Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2014)	21
Slika 8: Postopek razgradnje biorazgradljive plastike s končno stopnjo mineralizacije snovi (Vir: PLASTiCE, 2012).....	23
Slika 9: Oznake za biorazgradljive kompostirne materiale v nekaterih državah; od leve proti desni: Belgija, Nemčija, Italija (Vir: Mühl S. in Beyer B., 2014)	24
Slika 10: Prikaz odstranjevanja neželenih primesi v bioloških odpadkih.....	26
Slika 11: Prikaz odstranjenih nečistoč iz bioloških odpadkov.....	26
Slika 12: Pripravljanje kompostne kopice z vstavljenimi vrečkami iz biorazgradljive plastike.....	27
Slika 13: Pripravljena kopica v tunelu z vmešanimi biorazgradljivimi vrečkami	27
Slika 14: Prikaz prvega mletja kompostne kopice s še vidnimi delci vrečk iz kompostirne plastike.....	28
Slika 15: Primerjava vrečk v kompostni kopici, levo je vrečka po dveh tednih v kompostni kopici, desno pa vrečka, ki je bila v postopku kompostiranja tri tedne.....	28
Slika 16: Najden skupek vrečk v kompostni kopici po petih tednih kompostiranja.....	29
Slika 17: Sprani delci vrečk iz biorazgradljive plastike po približno 7 tednih in pol kompostiranja	29
Slika 18: Sejanje kompostne kopice s prvim presevom na desnem kupu.....	30
Slika 19: Prikaz kontrolnega sistema celotne kompostarne v programu COMPOscan. 32	
Slika 20: Primer prikaza kontrolnega in merilnega sistema COMPOscan	32
Slika 21: Spremljanje temperature od 25. 6. do 2. 7. 2014.....	33
Slika 22: Spremljanje temperature od 2. 7. do 9. 7. 2014.....	33
Slika 23: Spremljanje temperature od 9. 7. do 16. 7. 2014.....	34
Slika 24: Spremljanje temperature od 27. 7. do 3. 8. 2014.....	34
Slika 25: Spremljanje temperature od 30. 7. do 6. 8. 2014.....	34

Slika 26: Spremljanje temperature od 7. 8. do 14. 8. 2014.....	35
Slika 27: Spremljanje temperature od 17. 8. do 24. 8. 2014.....	35
Slika 28: Spremljanje temperature od 31. 8. do 7. 9. 2014.....	35
Slika 29: Spremljanje temperature od 4. 9. do 11. 9. 2014.....	36
Slika 30: Spremljanje vrednosti pH po posameznih tednih kompostiranja	37
Slika 31: Spremljanje količine dodane vode za zalivanje kopice po posameznih tednih kompostiranja	37
Slika 32: Graf masne bilance enega cikla industrijskega kompostiranja.....	38
Slika 33: Laboratorijski kompostniki, v katerih je potekalo kompostiranje.....	40
Slika 34: Prikaz celice laboratorijskega kompostiranja biorazgradljivih plastičnih vrečk po 9 tednih poskusa	41
Slika 35: Ločeno zbrane frakcije v občini Piran od leta 2001 do 2013	43

SEZNAM OKRAJŠAV

BPK₅ = biološka potreba po kisiku po petih dneh

CRO = center za ravnanje z odpadki

KPK = kemijska potreba po kisiku

MVK = mejna vrednost za kompost

PVOH = polivinilalkohol

SRM = self-regulated media

SURS = Statistični urad Republike Slovenije

1 UVOD

Trend vsakoletnega povečevanja svetovnega prebivalstva se odraža v vse večjih potrebah po različnih surovinah, kar pa posledično prinese za seboj tudi vse večje količine odpadkov.

Nastale odpadke delimo po izvoru na komunalne in industrijske, zadnjih je količinsko veliko več kot komunalnih. Prednosti industrijskih odpadkov so velika homogenost, točkovni vir nastanka, reciklabilnost zaradi znane sestave in lažja ter ekonomsko in okoljsko sprejemljivejša ponovna raba, predvsem zaradi velikih količin le-teh. Pri komunalnih odpadkih pa naletimo na vrsto težav zaradi heterogene sestave in razpršenih virov nastanka, zato jih je treba že na začetku ločevati v različne frakcije (Tölgyessy J., 2001). Zbiranje komunalnih odpadkov se izvaja na ekoloških otokih, kjer ločeno zbiramo mešano embalažo, papir in lepenko, steklo, oblačila in tekstil ter ponekod tudi kosovne odpadke in elektronsko opremo. Na ekoloških otokih se zbirajo tudi biorazgradljivi odpadki, ki jih ravno tako prištevamo med komunalne odpadke (Ur. l. RS št. 103/2011). Ti so ključni element moje diplomske naloge.

Organski odpadki so glede na izvor lahko biološki odpadki, ki jim pravimo tudi kuhinjski odpadki, ter zeleni odpadki (t. i. zeleni odrez), ki predstavljajo predvsem ostanke vzdrževanja in pospravljanja rastja (Vuk D., 1998). Biorazgradljivi ali organski odpadki predstavljajo le manjši delež komunalnih odpadkov, tako je tudi delež njihove obdelave razmeroma nizek. V državah članicah Evropske unije takšno stanje pripisujejo predvsem dejstvu, da je delež biorazgradljivih odpadkov med komunalnimi odpadki majhen in je zato tudi potencial obdelave manjši. Drugi razlog je pomanjkanje splošnih zakonskih zahtev za njihovo obdelavo ter odsotnost predpisanih temeljnih standardov za proizvodnjo humoznega končnega izdelka predelave biorazgradljivih odpadkov. Kljub vsemu pa deleži obdelave takšnih odpadkov na državnih ravneh vsako leto naraščajo, predvsem zaradi izvajanja dobrih okoljskih praks. V Sloveniji predstavlja delež biorazgradljivih odpadkov med mešanimi komunalnimi odpadki manj kot 20 %, od tega pa je obdelanih le približno 4 % biorazgradljivih odpadkov (EEA, 2013). Po slovenski zakonodaji je ravnanje z biorazgradljivimi odpadki določeno s krovnim zakonom o varstvu okolja (Ur. l. RS št. 97/2013), natančneje z Uredbo o odpadkih (Ur. l. RS št. 103/2011), podrobneje določeno pa še z drugimi uredbami in pravilniki. Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih določa največje letno odlaganje biorazgradljivih komunalnih odpadkov na 178.000 ton do konca leta 2016, kar naj bi predstavljalo 25 % vseh nastalih komunalnih odpadkov. Cilj evropskih in slovenskih zakonodajnih dokumentov je predvsem dodatno 5 % zmanjševanje deleža odloženih biorazgradljivih odpadkov na odlagališča in učinkovita izraba odpadkov kot energetskega vir ali kot kompostno hranilo za bogatitev zemlje s humusom na obdelovalnih površinah (Ur. l. RS št. 61/2011; Kovačič Viler A., 2001).

Organske odpadke je možno obdelati na dva osnovna načina. Prvi je anaerobni način, ki mu pravimo tudi anaerobna fermentacija ali digestija. Takšen postopek poteka pri nadzorovanih pogojih brez prisotnosti kisika, s kontrolirano vsebnostjo vode v materialu in v prisotnosti termofilnih ali mezofilnih bakterij. Anaerobna fermentacija poteka v treh fazah; v prvi fazi je osrednji proces hidroliza organskih substanc v obliko, ki je topna v vodi, v drugi fazi kislega vrenja se tvorijo organske kisline z nizko molsko maso, v tretji fazi metanizacije pa nastajata metan in ogljikov dioksid. Nastali bioplin je sestavljen iz približno 70 vol. % metana (CH_4) in 30 vol. % ogljikovega dioksida (CO_2) a je razmerje

odvisno od organske snovi ter pogojev postopka. Bioplin po čiščenju izrabljamo kot vir energije neposredno v pečeh ali za kakšne druge naprave, ali pa ga vodimo do plinskega motorja z notranjim izgorevanjem, ki je priključen na električni agregat za proizvodnjo električne energije.

Celoten proces lahko poteka v enem reaktorju. Takemu procesu pravimo enostopenjski. V uporabi je tudi dvostopenjski proces, ki poteka v dveh reaktorjih, tako da potekata prvi dve fazi anaerobne razgradnje v enem in tretja faza v drugem reaktorju. Poznamo pa tudi tristopenjski proces, ki poteka podobno kot dvostopenjski, le da poteka v tretjem reaktorju še pospešena razgradnja celuloze na osnovne enote – glukozo. Sam postopek anaerobne obdelave organskih odpadkov se konča z aerobno obdelavo ostankov procesa – digestata, običajno s kompostiranjem (Vuk D., 1998).

Drugi način obdelave bioloških odpadkov je aerobni, z drugo besedo kompostiranje. V svoji diplomski nalogi sem podrobneje spremljala vpliv biorazgradljivih vrečk na proces kompostiranja.

Med organske odpadke sodi tudi biorazgradljiva plastika, ki jo najpogosteje uporabljamo v obliki vrečk za shranjevanje kuhinjskih odpadkov v gospodinjstvih, obstajajo pa še mnogi drugi načini uporabe. Biološke odpadke nato v takšni vrečki odložimo v zabojnik in vrečke obdelujemo skupaj z odpadnim organskim materialom. Osnovni cilj moje diplomske naloge je preveriti vpliv biorazgradljivih vrečk iz plastike, ki je certificirana kot kompostirna v industrijskem okolju, vključno z morebitnimi negativnimi vplivi na tehnološki postopek in kakovost končnega izdelka. Spremljala bom tudi hitrost razpada vrečk v posameznih stopnjah kompostirnega procesa in na koncu ovrednotila primernost uporabe in prisotnosti vrečk v procesu industrijskega kompostiranja.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Kompostiranje

2.1.1 Osnove kompostiranja

Kompostiranje je že od nekdaj eden izmed najbolj uporabljenih biotehnoloških načinov predelave biorazgradljivih odpadkov ter materialov (Tölgyessy J., 2001) in bi ga lahko opredelili kot biooksidativen proces razgradnje organske snovi (Vuk D., 1998). Proces kompostiranja je uvrščen pod R3 postopkom predelave odpadkov, ki označuje recikliranje ali pridobivanje organskih snovi, ki se ne uporabljajo kot topila (Ur. l. RS št. 103/2011). Izraz kompostiranje izhaja iz besede kompost, ki pomeni biološko stabilen, higieniziran, humusu podoben material brez motečih vonjav ter bogat z organsko snovjo, ki nastane s kompostiranjem (Ur. l. RS, št. 84/2005). Kompostiranje je popolnoma naraven proces, ki samodejno poteka na odmrlem organskem materialu v naravi. V naravi je proces seveda počasnejši, saj imajo vremenski pogoji neposreden vpliv nanj. Poglavitni cilj kompostiranja je časovno in ekonomično optimalna razgradnja bioloških odpadkov do stabilnih humusnih kompozitov, ki imajo tržni potencial in visoko mineralno obogatitveno vrednost za prst na obdelovalnih kmetijskih in drugih površinah (Tölgyessy J., 2001).

Končni izdelek kompostiranja, kompost, glede na vsebnost nevarnih snovi razvrščamo v več skupin: a) kompost za neomejeno uporabo ali kompost 1. razreda, b) kompost z omejeno uporabo ali kompost 2. razreda in c) kompost za neekmetijsko uporabo (Ur. l. RS, št. 84/2005). Kompost iz bioloških odpadkov dobre kakovosti, ki ne vsebuje težkih kovin, je možno uporabiti za obogatitev prsti na kmetijskih površinah. Če pa vsebuje izhodni humozni kompozit določene nevarne snovi ali težke kovine, ga lahko le v določenih količinah uporabimo za obogatitev prsti na travnikih v parkih, za obogatitev končnih plasti zemljine na odlagališčih odpadkov in v podobnih remediacijskih prekrivnih procesih (Tölgyessy J., 2001). Dober končni kompost mora imeti tako primerno kemijsko sestavo kakor tudi vidno kakovost brez vsebnosti koščkov plastike, kovin, stekla in drugih odpadnih materialov, ki so zašli v izhodiščni kompostni material (Vuk D., 1998). Le takšen kakovosten končni izdelek ima dober tržni in dobičkonosni potencial.

Kompostiranje je aerobni proces razgradnje organskih snovi v prisotnosti tako aerobnih, kot anaerobnih mikroorganizmov. Razgradnja organskih snovi in materialov v prisotnosti mikroorganizmov se izraža kot pretvorba kemijske energije iz izhodiščnih kompostnih snovi v toploto (Husić V., 2013) zaradi eksotermne narave procesa. Tvorijo se ogljikov dioksid (CO_2), amonijak (NH_3), različne mineralne snovi in voda (Vuk D., 1998; Tölgyessy J., 2001).

V začetni ali prvi fazi kompostiranja najprej poteče razgradnja organskih molekul, ki so lažje razgradljive, to so maščobe, beljakovine in sladkorji. Zaradi lažje razgradljivosti v prvi fazi kompostiranja, ki traja od 2 do 5 tednov, se prostornina vstopne surovine zmanjša tudi do 50 %. V tej fazi opravljajo biološko razgradnjo mezofilne bakterije, glive, plesni in aktinomicete, ki postopno povečujejo temperaturo komposta od 40 do 50 °C. Pri takšnih temperaturah začnejo mezofilni mikroorganizmi odmirati in nadomestijo jih termofilne bakterije, ki lahko prenesejo temperature tudi do 70 °C, kar je posledica njihovega intenzivnega delovanja razgradnje kompostnega materiala (Tölgyessy J., 2001). Torej je največja dosežena temperatura v kompostu okrog 70 °C,

vendar pa je nekajdnevno doseganje temperature 60 °C že dovolj, da je uničena večina mikroorganizmov, gliv in aktinomicet v kompostu. Takšni temperaturni pogoji povzročijo tudi uničenje patogenih organizmov, ličink žuželk (Gómez Brandón M. in sod., 2013) in rastlinskih semen, kar pa nam kot končni izdelek daje steriliziran humozni kompozit za nadaljnjo uporabo, ki ga imenujemo surovi kompost (Vuk D., 1998). Takšen temperaturni režim v kompostu je odločilnega pomena za nastanek dobrega izdelka, vendar pa je pomembno, da vemo, da je največja aktivnost mikroorganizmov v temperaturnem območju od 30 do 35 °C (Williams P. T., 2005), torej v sami začetni fazi kompostiranja.

Postopek kompostiranja se nadaljuje z drugo fazo, ki jo imenujemo kar faza presnove ali mezofilna faza. Ta lahko traja od 4 do celo 17 tednov in v njej temperatura postopoma upada in se nato stabilizira nekoliko nad temperaturo okolice, med 40 in 45 °C. Med fazo je značilno pojevanje metabolnih procesov mikroorganizmov, kar pomeni prehod v fazo glavnega razkroja težje razgradljivih organskih molekul, kot sta celuloza in lignin (Vuk D., 1998).

V tretji fazi se iz svežega komposta tvorijo huminske snovi, zato jo imenujemo tudi faza ohlajanja in zrelosti. Poteka od 10 do 50 tednov in temperatura pade, ker je pogojena s temperaturo okolice. V tej fazi nastali zreli kompost že naselijo večji organizmi, ki rahljajo in obračajo nastalo humusno gmoto, oziroma delujejo kot katalizatorji biološke razgradnje (Gómez Brandón M. in sod., 2013). Značilni predstavniki so deževniki, gliste, ličinke raznih žuželk, skakači, pršice, strige, prašički ali mokrice in drugi (Vuk D., 1998).

Hitrost in učinkovitost aerobne razgradnje sta pogojeni s stično površino delcev komposta z mikroorganizmi, saj potekajo presnovni procesi z izločanjem encimov mikroorganizmov ravno na površini delcev bioloških odpadkov. Iz tega sledi, da je stopnja aktivne biološke razgradnje organskih delcev odvisna od skupne površine delcev, ki je izpostavljena delovanju mikroorganizmov (Tölgyessy J., 2001). Ne samo velikost delcev, ampak tudi sestava kompostnega materiala oziroma izvor biorazgradljivih odpadkov, pH vrednost, vsebnost kisika in vode, razmerje dušika in ogljika v materialu ter druge značilnosti, določajo optimalne življenjske pogoje za mikroorganizme in nemoten proces kompostiranja.

V kompostu je optimalna količina kisika vsaj 4 g O₂ na gram organske snovi, kar je optimalno razmerje za popolno oksidacijo organske snovi v procesu (Vuk D., 1998). V kontroliranem postopku kompostiranja strmimo k temu, da se koncentracija O₂ v porah med delci ne spusti pod 15 %; v primeru, da je med delci manj kot 5 % O₂ pa to pomeni, da je prevladujoč proces v kopici anaerobna razgradnja. Za ohranjanje aerobnih procesov razgradnje je potrebno vzdrževati vsaj 18 % vsebnost O₂ (Williams P. T., 2005). Zadostno koncentracijo kisika dosegamo torej z rednim obračanjem kompostne kopice in postavljeno prezračevalno napravo (Vuk D., 1998).

Pri mletju kompostnega materiala je treba upoštevati, da kljub temu, da je z manjšo velikostjo delcev kompostna surovina bolj homogena, so vmesni prostori med delci manjši. Manjši vmesni prostori pa privedejo do težje dostopnosti kisika in povečajo zadrževanje vode v kompostu (Tölgyessy J., 2001). Takšni pogoji lahko privedejo tudi do nastanka anaerobnih pogojev (Williams P. T., 2005) in posledično pogina mikroorganizmov, potrebnih za normalen potek kompostiranja. Optimalna vsebnost vode v kompostni kopici je med 60 in 70 % mase. Za vzdrževanje deleža vode v kompostni kopici je treba včasih dodajati vodo, če je masa presuha ali pa kompostno kopico sušiti z dodajanjem lesnih sekancev, suhega listja ali slame (Vuk D., 1998).

Delež vode v materialu pod 40 % že zelo zmanjša hitrost in učinkovitost biorazgradnje (Williams P. T., 2005). Pravilno razmerje med zrakom in vodo v kompostni masi je odločilni faktor za doseg kakovostnega komposta.

Hitrost kompostiranja je odvisna tudi od vsebnosti različnih mikro- in makroelementov in razmerja le-teh, še posebej pomembno je razmerje med ogljikom in dušikom. Oba sta pomembna predvsem v prvi fazi kompostiranja, ko mora preskrba s hranilnimi snovmi za mikroorganizme omogočati njihov obstoj in razmnoževanje. Najugodnejše razmerje C:N je v območju od 20:1 do 35:1. Če nastopi pomanjkanje ogljika, pomeni, da je razpoložljive energije premalo glede na količino dušika, kar vodi v nastajanje amonijaka v kompostni kopici in posledično odmiranje mikroorganizmov zaradi njegovega strupenega delovanja. Remediacijski ukrep v tem primeru je ta, da počakamo, da primerna količina amonijaka izhlapi iz kompostne kopice in se vzpostavijo primerni pogoji za nadaljnji potek procesa. Nasprotno se pa zgodi, če nastopi pomanjkanje dušika, ki je omejujoč element za rast, izgrajevanje tkiv in uspevanje mikroorganizmov. Tako se ob pomanjkanju dušika proces razkroja upočasni in material začne gniti. Mikroorganizmi so primorani najprej porabiti presežek ogljika (Vuk D., 1998), ki je povečini vezan v organskih molekulah in v molekulah CO₂ (Štukl N., 2013).

Zadnji kemijski pogoj, ki je pomemben za uspešnost kompostiranja, je pH izhodiščnih surovin, ki se optimalno giblje okoli vrednosti 7 (od 5,5–8). Čim bolj nevtralen je pH kompostne mase, tem boljši so pogoji za bakterije, medtem ko imajo glive raje rahlo kislo okolje (Williams P. T., 2005; Husić V., 2013). V začetni fazi se sicer pH vrednost v kopici nekoliko zmanjša zaradi nastajanja organskih kislin, nitrifikacije in nastajanja CO₂, kasneje pa se pogoji stabilizirajo (Vuk D., 1998) in pH vrednost se zviša približno na raven nevtralne stopnje.

Kljub temu, da poznamo več načinov kompostiranja, imajo vsi približno enake temeljne stopnje procesa. V nekaterih primerih pa so določene stopnje tudi izpuščene iz postopka, saj lahko zahtevajo večje površinske razsežnosti ali zahtevnejšo mehanizacijo za njihovo izvedbo.

2.1.2 Priprava organskih odpadkov za kompostiranje

V osnovi imamo štiri mehanske postopke predobdelave bioloških odpadkov, ki so skoraj vedno izvedeni in potrebni; to so: a) izločanje motečih snovi, kot so plastični, kovinski, stekleni delci ali kamenje, b) drobljenje, c) sejanje in d) homogeniziranje (Vuk D., 1998; Zupančič K., 2007). S predpripravo bioloških odpadkov zmanjšamo njihovo začetno prostornino in posledično povečamo njihovo gostoto na približno 1 t/m³ (Zupančič K., 2007). S procesom drobljenja odpadkov dobimo delce, ki so veliki med 1 in 10 cm², odvisno od tipa materiala (Williams P. T., 2005). Pri pripravi kopice dodajamo tudi strukturni material, ki ga predstavlja mlet zeleni odrez in lesena embalaža. Njegov delež v kopici, je odvisen od sestave in vsebnosti vode vhodnega materiala. Strukturni material poveča razmerje C:N, omogoča boljšo ozračenost in zmanjša količino odvečne vode iz materiala (CRO Vrhnika, 2014). Suho listje, slama in les so bogatejši z ogljikom, medtem ko je svež zelen rastlinski material bolj bogat z dušikom (Štukl N., 2013).

2.1.3 Postopek kompostiranja

Predpripravi bioloških odpadkov sledi kompostiranje. V osnovi kompostiranje razdelimo na statično in dinamično. Razlika med statično in dinamično izvedbo faze predrazgradnje je ta, da pri statični izvedbi kompostne kopice ne premikamo 2–3 mesece, medtem ko jo pri dinamični izvedbi intenzivno zračimo s premiki na 2–7 dni. Sicer je treba v obeh primerih izvedbe paziti na zadostno prezračevanje in kakovost vstopne mase, vendar pa je v primeru statičnega procesa potreben še poseben poudarek nad kontrolo pogojev zaradi tega, ker kopica toliko časa stoji in so spremembe notranjih pogojev lahko nepričakovane in nezaželene. Poznamo tudi statično-dinamičen princip kompostiranja, ki ga ponazarja kompostiranje v kupih, pri katerih se material večkrat prelaga in premeša, vendar pa je ta večino časa mirujoč (Vuk D., 1998). Zelo pomemben del obračalnih procesov je čiščenje mehanizacije po uporabi, da ne pride do ponovne okužbe že higieniziranega komposta (Ur. l. RS št. 99/2013).

Kompost je higieniziran, ko pogoji v kompostni kopici ustrezajo eni od spodnjih zahtev:

- najmanj 2 tedna zaporedoma dosežena najmanjša delovna temperatura 55 °C pri kompostiranju na prostem, pri čemer je potrebno 5-krat premešati celotno kompostno kopico,
- najmanj 1 teden dosežena najmanjša delovna temperatura 65 °C pri kompostiranju na prostem, pri čemer je potrebno 2-krat premešati celotno kompostno kopico ali
- najmanj 1 teden dosežena najmanjša delovna temperatura 60 °C pri zaprtem kompostiranju.

Če proizvajalec ne more doseči enega od zgornjih pogojev higienizacije, je treba biološke odpadke predhodno toplotno obdelati najmanj eno uro pri 70 °C. Na enak način lahko končno obdelamo tudi kompost (Štukl N., 2013).

Zorenje in stabilizacija komposta potekata pri vseh različnih postopkih po principu klasičnega kupa (Vuk D., 1998).

2.1.4 Načini kompostiranja

Osnovna delitev načinov kompostiranja je na zaprte in odprte sisteme (Rhyner R. C. in sod., 1995). V nadaljevanju sem podrobneje opisala različne načine zaprtega in odprtega kompostiranja.

2.1.5 Odprti sistemi

Odprti sistemi so pod neposrednim vplivom vremenskih razmer, zato imamo manj možnosti nadzora in so običajno dolgotrajnejši. Zaradi nižjih stroškov postavitve, vzdrževanja in obratovanja takšnih sistemov je kompostiranje v odprtih sistemih v uporabi zelo razširjeno.

2.1.5.1.1 Kompostiranje v kopicah

Kompostiranje v kopicah je, kot že sama beseda pove, način kompostiranja, pri katerem naredimo trikotne ali trapezaste oblike kupov, ki imajo predpisane velikosti, pri katerih je v sami sredici kupa še zadostno prezračevanje oziroma koncentracija kisika med stadijem mirovanja kupa. Takšen način kompostiranja je opredeljen kot statično-dinamičen in traja različno dolgo glede na tehnični postopek in postavitve kompleksa. V primeru, da kopice redno obračamo, traja kompostiranje od 9 do 12 tednov; če kopice ne obračamo, ampak jih le preprihujemo, traja proces 12 do 16 tednov; če pa kopice ne obračamo, niti ne preprihujemo z zrakom, traja kompostni proces vse od 20 pa tja do 25 tednov (Bilitewski B. in sod., 1997). Predpisane velikosti kopic so med 3 do 4 metri širine in okrog 15 metrov, tudi do 50 metrov dolžine (Williams P. T., 2005). Najbolj pa je pomembna višina kopice, ki je največ 1 meter za trapezaste oblike kopic, trikotne kopice so pa omejene na 2,5 metra višine. Pri kopicah višjih od 1,5 metra sta dodatno prezračevanje in pogostejše obračanje skoraj obvezna za idealni potek procesa kompostiranja (Vuk D., 1998), uzakonjeno dodatno prezračevanje pa je določeno za kopice višje od 2,5 m (Ur. l. RS št. 99/2013). Pri višjih kopicah je treba spreminjati tudi vrsto materiala za kompost. Višja, kot je kopica, več strukturnega materiala, kot so npr. vejevje, sekanci in drugi biorazgradljivi odpadki trdnjše in bolj suhe strukture, mora vsebovati, da so prostori med delci večji in tako boljša dostopnost zraka do mikroorganizmov. Poleg zagotavljanja zadostne količine kisika v kopici je treba tudi paziti, da ne pride še do kakšnih drugih problemov, ki so tudi povezani s samo količino kisika v kompostni masi. Tako lahko pride do nastanka prevroče ali presuhe sredice, prevelikega ohlajanja zunanosti kopice ter prevelike vlažnosti na dnu kopice. Za zagotavljanje optimalnih pogojev v kopicah je torej zelo pomembno obračanje le-teh, ki je lahko izvedeno s trosilniki za hlevski gnoj ali specializiranimi mostnimi ali stranskimi obračalnimi stroji. Takšni stroji pobirajo material iz ene kopice, ga zmeljejo in prelagajo na drugo kopico, ki je vzporedna prvi in oddaljena največ 5 metrov. Nova kopica vsebuje dobro premešan in zdrobljen material ter zadostno količino zraka. Kompostiranje v kopicah ima razmeroma nizek vložni strošek zaradi nezahtevnosti procesa, zavzema pa kar veliko delovno površino, zato je najbolj priporočljiv za manjše do srednje velike kompostarne. Za večje kompostarne so bile razvite tehnike, pri katerih so kompostne kopice predstavljene v hale ali tunele in so popolnoma avtomatizirani. Obračanje kopic mora biti določeno glede na temperaturne in druge kemijske pogoje v kopici, ne pa le glede na časovni interval, zato je potrebno redno izvajanje meritev vsebnosti vode, vsebnosti kisika, pH vrednosti in temperature (Vuk D., 1998).

Razlike med trikotnimi in trapeznimi kopicami so predvsem v doseganju višjih temperatur in njihovih manjših variacij ter v boljši zadrževalni sposobnosti vode in manjši možnosti poplavljanja pri trapeznih oblikah kopic. Trikotne kopice so veliko bolj občutljive na vremenske vplive kakor trapezne, saj imajo majhno zadrževalno sposobnost za vodo. Voda hitro pronica skozi material, zato moramo v primeru trikotnih kopic, v kompostarni imeti tudi zelo dober drenažni sistem. Zaradi manjše količine materiala in doseganja višjih temperatur v trapeznih kopicah, je tudi higienizacija kompostne mase boljša (Vuk D., 1998).

2.1.5.1.2 Blazinasto kompostiranje

Blazinasto ali plastovito kompostiranje je statični sistem kompostiranja, ki traja 4–6 mesecev in je zasnovan na pred-razgradnji z zaključnim kompostiranjem v kopicah. Postopek je tehnično enostaven in omogoča homogenizacijo več različnih vstopnih

materialov ter tudi kompostiranje velikih količin biorazgradljivih odpadkov. Pri tem načinu kompostiranja po površini temeljne strukturne plasti razporedimo različne sloje zelenih in bioloških odpadkov ter jim v določenih primerih dodamo še kakšno plast svežega komposta za pospešitev razgradnje. Končno vse plasti s posebnimi drobilnimi in mešalnimi stroji premešamo in tako ustvarimo veliko kompostno kopico, v kateri se temperatura dvigne dovolj visoko, da se kompostna masa tudi higienizira (Vuk D., 1998). Ta postopek je enostaven in praktičen, ampak nekoliko dolgotrajen in zahteven glede površine, ki je potrebna za izvajanje.

2.1.6 Zaprti sistemi

Zaprti sistemi so ločeni od okoljskih vplivov in potekajo v posebnih halah, ki material ščitijo pred vremenskimi vplivi. Po večini so takšni sistemi avtomatizirani, z avtomatskim merjenjem posameznih količin (zrak, vsebnost vode, temperatura, pH) in samodejnim prezračevalnim sistemom. Zaradi strogo nadzorovanih pogojev v kompostnih kopicah je proces optimiziran in hitrejši v primerjavi z odprtimi sistemi. Pri določenih tehnikah kompost iz zaprtega sistema kompostiranja dokončno dozori v odprtih sistemih.

2.1.6.1.1 Kompostiranje v celici

Kompostiranje v celici (Slika 1) je statični sistem kompostiranja, ki da želeni izdelek že v 7–14 dneh. Proces temelji na vnosu kompostnega materiala v bioreaktorsko celico s stalnim prezračevanjem, mešanjem in prostornino med 30 in 60 m³. Zaradi zaprtosti sistema je omogočena kompletna računalniška vodenost in avtomatska merljivost najpomembnejših parametrov kompostiranja. Kontrolirani pogoji in manjše vstopne količine materiala omogočajo postopku, da je manj izbirčen glede vrste bioloških odpadkov, zato imamo manj težav z izbiro kakovosti začetnega kompostnega materiala. Zaprti sistemi imajo enostaven način povečevanja zmogljivosti delovanja, saj je potrebno kompostarni le dodati nove bioreaktorske celice (Vuk D., 1998) in urediti povezave odpadnega zraku do biofiltrirnih naprav ter odpadnih vod do čistilnih naprav. Takšen postopek kompostiranja je zelo hiter, učinkovit in omogoča lažji nadzor izpustov, vendar pa so investicijski stroški za vso opremo višji, prav tako so tudi višji stroški vzdrževanja (Rhyner R. C. in sod., 1995).



Slika 1: Prikaz zaprtega načina kompostiranja v celicah (Vir: Engineered Compost Systems, Inc.)

2.1.6.1.2 Postopek Brikollare

Brikollare postopek je statičen zaprti postopek s hitrim dosegom končnega izdelka v 3–4 tednih. Vstopni material je treba predhodno obdelati s stiskanjem v brikete okvirnih velikosti 20 x 30 x 15 cm. S stiskanjem iz materiala iztisnejo odvečno vodo, majhnost in kapilarna struktura briketov pa omogočajo zadostne količine kisika v samem stiskancu. Na površini briketa se razvijejo plesni, ki delujejo kot biofilter za preprečevanje izpustov neprijetnih vonjav, tako da lahko rečemo, da je ta proces razmeroma čist. Po 3–4 tednih iz briketov nastane svež kompost z 20 % vsebnostjo vode, ki je primeren za naknadno skladiščenje ali dokončno kompostiranje v kopicah (Vuk D., 1998). Postopek je bil razvit v Nemčiji v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, vendar ni nikoli prišel v obsežno rabo zaradi veliko dela, ki bi ga imeli s predpripravo kompostnega materiala in zaradi razvoja novejših, boljših tehnik kompostiranja.

2.1.6.1.3 Kompostiranje v bobnu

Kompostiranje v bobnu, prikazano na Sliki 2, je dinamičen in zelo hiter način kompostiranja. Surovi kompost po tem postopku nastane že v 24–36 urah. Začetni kompostni material postopoma vnašajo v vrteči ležeči boben. Vrtenje bobna omogoča homogenizacijo, drobljenje in stalno prezračevanje materiala. Izhodni zrak iz prezračevanja je voden preko biofiltra za odstranjevanje neprijetnih vonjav in drugih neželenih komponent. Na vodilih in po stenah bobna so stalno prisotni mikroorganizmi, ki takoj naselijo vstopni material in začnejo proces razkroja. Higienizacija materiala pri tem postopku ni dosežena. Pogoji za higienizacijo so vzpostavljeni šele, ko izhodni surovi kompost oblikujemo v kupe izven bobna (Vuk D., 1998).



Slika 2: Prikaz načina kompostiranja v rotirajočem bobnu (Vir: Groupe Commercial Paul Larouche)

2.1.6.1.4 Stolpni postopek

Stolpni postopek je, podobno kot kompostiranje v rotirajočem bobnu, dinamičen in hiter, saj traja 1–2 dni. Posamezen stolp je sestavljen iz več etažnih celic z vgrajenimi rotirajočimi strgali na dnu in prezračevalnim sistemom. Vstopne organske odpadke vnašajo vedno na najvišje ležečo celico, ki ima na sredini odprtino, skozi katero pade premešan biološki material na drugo etažno celico in tako naprej. Ko material doseže zadnjo, najnižje ležečo celico, je higieniziran in opredeljen kot surovi kompost (Vuk D., 1998).

2.1.6.1.5 Orgaver postopek

Izraz Orgaver izhaja iz kombinacije nemških besed "Organischestoffe Veredelung", ki v prevodu pomeni predelava organskih snovi. Razvit je bil za področja brez stalne dobave električne energije, saj napravo poganja dizelski agregat. Postopek združuje nekatere stopnje predpriprave vstopnega materiala. Integrirana enota za pripravo kompostne mase je kotalni prekucnik, ki združuje procese drobljenja, sekanja, mletja, gnetenja in homogenizacije. V prekucniku je en navpični mešalni polž, ki zagotavlja kroženje mase po navpični osi. Vodoravno pa delujejo štirje mešalni polži z različnimi elementi, ki trgajo, režejo in drobijo material. Polže poganja hidravlični sistem, ki ne potrebuje električne energije za delovanje. Kompostna celica je greta na 30 do 40 °C s posrednim prenosom odpadne toplote izpušnih plinov dizelskega pogonskega agregata. Takšna temperatura pospeši proces razkrajanja biološkega materiala in ga osuši do primerne stopnje za nadaljevanje kompostnega procesa v kupih (Vuk D., 1998).

2.1.7 Vplivi na okolje

Kljub temu, da je kompostiranje okolju prijazen način recikliranja in obdelave bioloških odpadkov, še vedno v okolje sprošča več vrst emisij. Med najbolj opaznimi negativnimi vplivi lahko izpostavimo obremenjevanje atmosfere z izhodnimi toplogrednimi plini in neprijetnimi vonjavami, prahom, aereosoli, hrupom iz strojne obdelave komposta ter z izcednimi vodami iz kompostnega materiala (Ur. l. RS št. 99/2013).

Za zmanjševanje plinastih emisij, ki se kažejo v obliki neprijetnih vonjav, je potrebno brezhibno vodenje procesa aerobne razgradnje, kontrolirano zajemanje odpadnega zraka in njegovo čiščenje z biofiltri, prilagajanje postopkov obračanja materiala glede na vremenske pogoje, preprečevanje raztrosa materiala med transportom ter preprečevanje daljšega zadrževanja ali vmesnega skladiščenja materialov, ki oddajajo posebej intenziven vonj, kot na primer ostanki iz agroživilskega kompleksa (Vuk D., 1998). Ne glede na zmogljivost kompostarne, pa je določeno, da mora obrat imeti urejene čim boljše tehnike za preprečevanje onesnaževanja atmosfere (Ur. l. RS št. 99/2013).

Raziskave so pokazale, da se koncentracija bioaereosolov, v oddaljenosti 100 do 500 metrov od kompostarne, spusti na koncentracijo ozadja. To pa še ne pomeni, da kompostarna nima vpliva na zdravje okoliškega prebivalstva, saj raziskave na tem področju še potekajo (Williams P. T., 2005).

Izcedne vode, ki nastanejo pri kompostiranju, so posledica celičnih tekočin, stiskanja materiala in kondenziranja vode zaradi konstantnega izparevanja. Nastanejo pa tudi kot posledica izpiralnega delovanja padavinskih voda, kar pa je možno preprečiti ali vsaj omejiti z raznimi nadstreški in sintetičnimi filci, ki padavinske vode ne prepuščajo, skoznje lahko prehajata le zrak in vodna para (Vuk D., 1998). Izcedne vode iz kompostnih kompleksov imajo zelo velike vsebnosti hranil, zato jih je treba pred izpuščanjem v vodotoke očistiti na čistilnih napravah oziroma jih obravnavamo po postopku čiščenja za industrijske odpadne vode (Ur. l. RS št. 99/2013). Ključni karakteristiki izcednih voda pri kompostiranju sta biološka potreba po kisiku z mejno vrednostjo $BPK_5 = 17000 \text{ mg O}_2/\text{L}$ in kemijska potreba po kisiku z mejno vrednostjo $KPK = 35000 \text{ mg O}_2/\text{L}$ (Vuk D., 1998).

Moteč hrup lahko omilimo s protihrupnimi ogradami ali zelenimi ogradami, ki delujejo hkrati kot vidna pregrada kompostarne. Hrup bi lahko omejili tudi z zamenjavo motornih agregatov z električnimi (Vuk D., 1998). Eden od učinkovitih načinov zmanjšanja morečega hrupa je tudi postavitvev kompostarne daleč od naselij.

Biološki material se pri procesu kompostiranja sicer higienizira, vendar pa neoporečnosti vstopnih bioloških odpadkov vsekakor ne moremo zagotoviti. V tem primeru je možna kontaminacija okolice kompostarne s patogenimi mikroorganizmi in bolezenskimi klicami v času, ko odpadki čakajo na vstop v proces kompostiranja (Vuk D., 1998). V fazi obračanja lahko pride do kontaminacije zraka s sporami gliv in aktinomicet, ki lahko izzovejo alergične reakcije v kontaktu z ljudmi. Identificirane spore v ozračju so bile vrst *Aspergillus fumigatus* in *Penicillium*, ki so dokazano alergene (Williams P. T., 2005). Čakajoči biološki material privablja v okolico tudi različne ptice, glodavce, muhe in druge žuželke, ki lahko predstavljajo nadlogo okoliškim prebivalcem; če pa ta vsebuje tudi semena rastlin, ki so za neko okolje potencialno invazivne narave in najdejo pot iz kompostne mase v okolico, lahko pride do vnosa in širjenja novih invazivnih vrst.

2.1.8 Postavitvev kompostarne

Pri postavitvi kompostarne je pomembnih veliko različnih dejavnikov in, čeprav je to ekološki objekt, lahko naletimo na spornost postavitve le-tega v določenem prostoru (Vuk D., 1998).

Najpomembnejša je izbira lokacije. Kompostarna mora imeti urejen dovoz do cestnega omrežja, dostop do pitne vode in povezavo z električnim omrežjem. Odločilnega pomena je tudi bližina naselij, posebej zaradi hrupnih in prašnih emisij ter emisij neprijetnih vonjav (Vuk D., 1998). Kompostarne z zaprtim tipom kompostiranja morajo biti oddaljene najmanj 300 m od bivališč ali raznih javnih prostorov, kompostarne z odprtim tipom kompostiranja pa najmanj 500 m od javnih in bivanjskih površin (Ur. l. RS št. 99/2013). Lokacija je pomembna tudi z vidika količine kompostnega materiala, ki ga je okolica sposobna kompostarni nuditi skozi celo leto. Če so količine zadostne, je kompostarna lahko konstantno delujoča in omogoča večje število zaposlenega osebja. Načeloma so veliki kompostni kompleksi učinkovitejši pri omogočanju ustreznih temperaturnih pogojev za higienizacijo materiala in učinkovitost njegove predelave, vendar pa se v praksi bolje obnesejo manjše kompostarne. Prednosti manjših kompostarn so v krajših transportnih razdaljah od mesta nastanka odpadka do kompostarne, kar se kaže v manjšem obremenjevanju okolja zaradi transporta in manjši stroški, tako za povzročitelje odpadkov kot tudi prevoznikov. Kompostarne manjšega obsega so tudi sprejemljivejše za okoliško prebivalstvo, ki lahko oskrbuje kompostarno z vhodnimi surovinami in je hkrati tudi potencialni potrošnik in uporabnik njenih proizvodov (Vuk D., 1998). Sama izbira lokacije je seveda omejena tudi glede na tip tal in relief, saj je potrebno na vodovarstvenih in ekološko občutljivih območjih postaviti nepropustne temelje in podobne ukrepe za zaščito okolja, ki zahtevajo več investicijskih sredstev. Poleg tega je odlaganje komposta na takšnih območjih prepovedano v določenih letnih obdobjih (Ur. l. RS št. 84/2005) in s tem postavljanje kompostarne v takem okolju skoraj nesmiselno zaradi zelo strogih zakonskih omejitev.

Za postavitvev kompostarne je potreben tudi dovolj velik prostor, ki pa je predvsem odvisen od predvidene količine vstopnega materiala in izbrane metode kompostiranja. Najbolj prostorsko varčni metodi sta kompostiranje v trapeznih kupih in blazinasto kompostiranje, saj potrebujeta približno 0,3 m² specifične površine na m³ biološkega

materiala. Poleg površine potrebne za sam proces kompostiranja in z njim povezanih tehničnih postopkov, je del površine kompleksa porabljen tudi za prostore za osebje, skladiščne prostore za kompost in mehanizacijo, za dovozne poti, skladišča in drugo infrastrukturo. Ne moremo pa izključiti možnosti, da bi se lahko zmogljivost kompostarne nekoč lahko povečala, zato je pri načrtovanju postavitve kompostarne velikokrat vključen tudi del ozemlja z možnostjo za njeno razširitev (Vuk D., 1998). Ne nazadnje pa je potrebno dodati, da mora biti kompostarna načrtovana in zgrajena tako, da prahu in blata, ki nastajata na njenem območju, ne raznašamo na površine javnih cest in bližnjo okolico naprave (Ur. l. RS št. 99/2013).

2.1.9 Določanje kakovosti in uporabe komposta

Različne države imajo različne standarde in zakonske omejitvene količine uporabe komposta, predvsem zaradi politike varstva tal (Komisija Evropskih skupnosti, 2008). V Sloveniji sta uporaba in določanje kakovosti komposta uzakonjena s krovnim zakonom o varstvu okolja (Ur. l. RS št. 41/2004), natančneje z Uredbo o vnosu nevarnih snovi in gnojil v tla (Ur. l. RS št. 84/2005) in z Uredbo o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Ur. l. RS št. 99/2013). Po tej uredbi se morajo ravnati tako povzročitelji bioloških odpadkov in njihovi predelovalci kakor tudi uporabniki komposta.

Celotno ozemlje Republike Slovenije je določeno kot ranljivo območje iz vidika varstva voda, zato je bilo treba vzpostaviti omejitve vnosa različnih nevarnih snovi in hranil v tla. Kot prvo so postavljene mejne vrednosti letnega vnosa dušika pri gnojenju zemljišč s kompostom. Letni vnos dušika na zemljiščih je tako omejen na 170 kg/ha, v varstvenih pasovih za zajemanje vode pa na 30 kg/ha (Ur. l. RS št. 84/2005). Mejne vrednosti, ki ne smejo biti prekoračene, se določijo po enačbi:

$$MVK = MVKi + 30 - B$$

V zgornji enačbi pomenijo oznake naslednje vrednosti:

- MVK – mejna vrednost letnega vnosa dušika za posamezno kulturo, izražena v kg N/ha pri oskrbljenosti z dušikom, ki je večja od 30 kg/ha;
- MVKi – mejna vrednost letnega vnosa dušika za posamezno kulturo, izražena v kg N/ha;
- B – izmerjena vrednost oskrbljenosti z mineralnim dušikom, izražena v kg N/ha.

Kljub določenim omejitvam na vodovarstvenih območjih pa je dovoljeno dodajanje komposta kot gnojila na zemljišča le v določenih časovnih obdobjih, v nobenem primeru pa količina dušika ne sme presegati 40 kg/ha (Ur. l. RS št. 84/2005).

Količino letnega vnosa dušika iz komposta je treba omejiti tudi glede na tip tal, ki jih gnojimo. Tako na lahkih tleh ne smemo presegati mejne vrednosti vnosa dušika 50 kg/ha, na srednje težkih in težkih tleh pa mejne vrednosti 80 kg/ha (Ur. l. RS št. 84/2005).

Kompost glede na kakovost razvrščamo v tri razrede: 1) kompost z neomejeno uporabo, 2) kompost z omejeno uporabo in 3) blato, mulj in kompost za nekmetijsko uporabo. Poleg vsebnosti dušika, nevarnih snovi, težkih kovin, pH vrednosti in podobnih parametrov, določamo v kompostu tudi vsebnost vode, zrnatost, stopnjo

zrelosti komposta, zasoljenost, vsebnost kamenja in drugih tujih snovi ter ostale karakteristike, ki so prikazane v Preglednici 1 (Vuk D., 1998). Izvajanje meritev in analiz parametrov je ne glede na zmogljivost kompostarne obvezno vsaj enkrat letno. Kompost vzorčimo po metodi, določeni s standardom SIST EN 12579. Meritve za kompost pa potem izvajamo po naslednji enačbi:

$$N = (A / 10000 t) + 1$$

Parametri v zgornji enačbi pomenijo:

- N – pogostost izvajanja meritev, pri čemer se rezultat zaokroži navzgor in pogostost ni večja od 12 na leto,
- A – letna količina biološko razgradljivih odpadkov za predelavo v tonah (Ur. l. RS št. 99/2013).

Preglednica 1: Mejne vrednosti parametrov za uvrstitev komposta v kakovostni razred (Ur. l. RS št. 99/2013)

Parameter	Enota	Kompost z neomejeno uporabo (1. razred)	Kompost z omejeno uporabo (2. razred)
Kadmij (Cd)	mg/kg s.s.*	1,5	3
Baker (Cu)	mg/kg s.s.	100	500
Nikelj (Ni)	mg/kg s.s.	50	100
Celotni krom (Cr)	mg/kg s.s.	100	250
Svinec (Pb)	mg/kg s.s.	120	200
Cink (Zn)	mg/kg s.s.	400	1800
Živo srebro (Hg)	mg/kg s.s.	1	3
Organska snov	% s.s.	>15	>15
Biološka stabilnost	mg O ₂ /kg s.s.	<1500	<1500
Policiklični aromatski ogljikovodiki (PAH)	mg/kg s.s.	6	6
Poliklorirani bifenili (PCB)	mg/kg s.s.	0,2	1
Nezaželene primesi in biološki parametri			
Trdni delci iz stekla, plastike ali kovine, večji od 2 mm	% s.s.	<0,5	<2
Mineralni trdni delci, večji od 5 mm	% s.s.	<5	<5
Semena in vegetativni razmnoževalni deli plevela	število/L	≤2	≤ 2
<i>Salmonella</i>	št.celic/25 g sveže snovi	0	0
<i>Escherichia coli</i>	CFU**/1 g sveže snovi	1000	1000

*okrajšava s.s. označuje suho snov komposta, ki jo merimo kot g

**CFU v angleščini pomeni colony-forming unit, to je merilna enota za oceno števila bakterij v vzorcu

Kompost lahko uporabimo za neposredno obogatitev prsti, lahko pa iz njega tudi proizvedemo razne mešanice z mineralnimi in hranilnimi snovmi ter zemljo. Na takšen način dobimo gnojila in dodatke na bazi kompostov (Vuk D., 1998). Uporaba komposta izboljšuje strukturo tal, infiltracijo in zmožnost zadrževanja vode, oskrbi mikroorganizme v tleh s hranili in zmanjšuje potrebo po uporabi mineralnih gnojil, kar je seveda zelo pozitiven vpliv na kakovost okolja (Komisija Evropskih skupnosti, 2008).

Kompost z neomejeno rabo oziroma kompost 1. razreda je dovoljen za uporabo na vseh zemljiščih, ne glede na območje nahajanja zemljišča, vendar pa zanj veljajo določena pravila. Kot prvo morajo biti izmerjene vrednosti nevarnih snovi v celotnem vzorcu komposta v okviru določenih mejnih vrednosti za nevarne snovi v kompostu. V kompostu delež organske snovi ne sme presegati 30 % suhe snovi komposta. Če vsebuje kompost več kakor 20 % suhe snovi, moramo njegovo uporabo omejiti na 8 t/ha v obdobju 5 let na kmetijskih zemljiščih, na nekmetijskih zemljiščih pa je njegova uporaba omejena na 40 t/ha v obdobju 3 let (Ur. l. RS št. 99/2013). Poleg tega pa mora biti kompost obdelan na takšen način, da pri nobenem od odvzetih vzorcev med kompostiranjem ali po zaključku procesa ne najdemo prisotne bakterije vrste *Salmonella* (Ur. l. RS št. 84/2005).

Kompost z omejeno rabo ali kompost za nekmetijsko uporabo, ki ga uvrščamo v 2. kakovostni razred, je mogoče nadaljnje uporabiti le v primeru, da ima lastnik oziroma upravljavec kompostarne okoljevarstveno dovoljenje. Okoljevarstveno dovoljenje mora imeti vsaka kompostarna z letno zmogljivostjo predelave bioloških odpadkov, večjo od 300 t (Ur. l. RS št. 99/2013). Kljub okoljevarstvenemu dovoljenju pa za kompost z omejeno rabo veljajo določena pravila. Njegova uporaba je prepovedana:

- na vodovarstvenih območjih,
- na otroških igriščih,
- na kraških tleh,
- 10 mesecev pred in med samim spravilom pridelka na zemljiščih kjer gojimo sadje in zelenjavo za surovo uživanje, z izjemo sadnih dreves,
- na travnikih in pašnikih, razen jeseni po zadnji košnji,
- na gozdnih zemljiščih in močvirjih,
- na nagnjenih zemljiščih z možnostjo odplakovanja ter
- na njivah s krmnimi poljščinami (Ur. l. RS št. 84/2005).

Kompost slabše kakovosti uporabljamo predvsem za gnojenje okrasnih rastlin v vrtnarijah in drevesnicah, za izboljšavo tal v parkih in površinah za prosti čas, za rekultivacijo glinokopov, odlagališč odpadkov, kamnolomov, degradiranih industrijskih površin in zemljišč prometne infrastrukture (Ur. l. RS št. 99/2013).

Okoljevarstveno dovoljenje za rabo komposta z omejeno ali nekmetijsko uporabo izda pristojno ministrstvo, če mejne vrednosti za nevarne snovi in kovine niso presežene ter če delež organskih snovi presega 20 % suhe snovi komposta. Tudi ti dve vrsti komposta slabše kakovosti morata biti brez bakterije *Salmonella* in prisotnost *Escherichie coli* mora biti znotraj mejnih vrednosti, določenih z zakonom (Ur. l. RS št. 99/2013).

Največja količina komposta, ki jo je dovoljeno vnašati na zemljišča, je določena na podlagi podatkov o prečiščenosti komposta, vsebnosti nevarnih snovi in hranil v kompostu in njegovi pH vrednosti. Če ima kompost pH vrednost nižjo od 6, je treba pri dovoljevanju njegovega vnosa v tla oceniti tudi povečano mobilnost težkih kovin in njihovo razpoložljivost za rastlinsko vsrkavanje ter akumuliranje le-teh v biomaso. Pri

določanju količin vnosa v tla je treba tudi oceniti možnost, da lahko pride do zbitosti tal. Kakor koli pa vnos komposta z omejeno rabo na kmetijska ali nekmetijska zemljišča ne sme presegati letne količine 10 ton suhe snovi na hektar zemljišča (Ur. l. RS št. 84/2005).

Tržne možnosti za kompost so zelo razsežne. Zrel kompost najvišje kakovosti je izjemno priljubljen za uporabo v vrtnarstvu, manj zreli komposti pa predvsem v kmetijstvu (Hogg D. in sod., 2002). V letu 2012 so v Nemčiji porabili 64,6 % proizvedenega komposta v kmetijstvu, 13,3 % za proizvodnjo obogatitvenih zemljin, 7,2 % za dognojevanje privatnih vrtov in isto količino za urejevanje javnih površin. Druge manjše količine so pa namenili drugim dejavnostim (Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V., 2013).

V Avstriji je bil razvit razvrstitveni sistem za različne faze kompostiranja z imenom ÖNORM S 2200. Kompost loči na 4 stopnje razkroja; v prvi stopnji pride do razkroja 30 % organske snovi, v drugi fazi se presnovi 40 % organske snovi, v tretji fazi pa se presnovi še do 50 % preostanka organske snovi po prvih dveh fazah in tako doseže četrto stopnjo razkroja (Vuk D., 1998).

Splošno znan certifikat, ki določa kakovost komposta, je RAL, ki je bil razvit v Nemčiji leta 1992. Kriteriji teh smernic so bili razdeljeni na smernice RAL GZ 251, ki veljajo za kompost in smernice RAL GZ 256, ki veljajo za ostanke presnove mikroorganizmov. V letu 2003 so podali tudi smernice RAL GZ 258, ki veljajo za kompost iz blata iz čistilnih naprav. Leta 2007 je bila obstoječim smernicam dodeljena še delitev na RAL GZ 245, ki obravnava presnovne izdelke in RAL GZ 246, ki obravnava presnovne izdelke, ali kompost iz obnovljivih virov rastlinskih surovin (QAS, 2011). Certifikat RAL določuje tudi zrelost komposta, zrnatost in vrste komposta glede na izhodne materiale (Vuk D., 1998).

Za države Evropske unije je bil uveden tudi sistem vrednotenja kakovosti komposta ECN-QAS (European Compost Network – Quality Assurance System), ki vsebuje smernice za korekten monitoring, nadzor nad procesi kompostiranja ter izdajo certifikatov kakovosti in ustreznosti uporabe komposta (QAS, 2011).

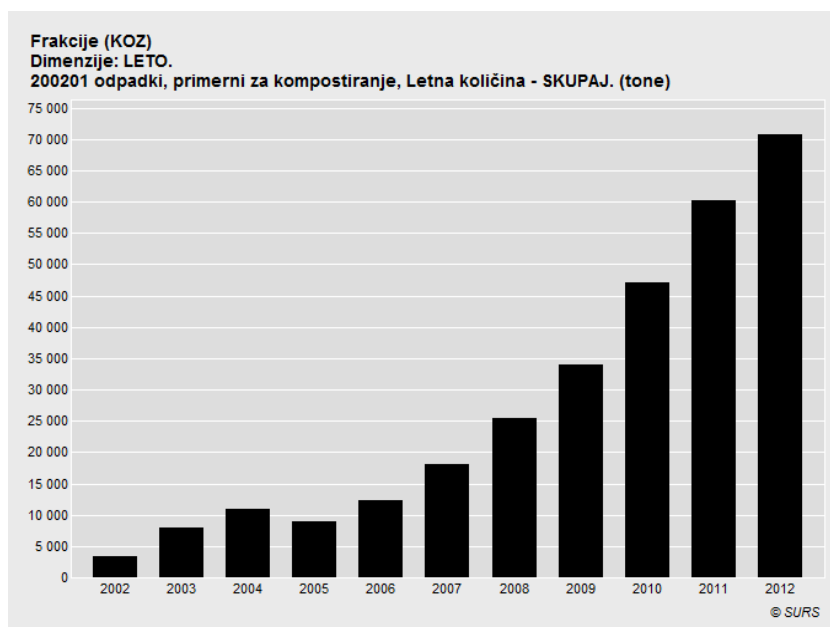
Vsem smernicam kakovosti je skupno to, da poleg spremljanja pravilnega procesa kompostiranja, določajo tudi karakteristike komposta z rednim izvajanjem meritev. Določevalne karakteristike za kakovost in uporabnost komposta so biološki in kemijski parametri, ki sem jih omenila že v besedilu zgoraj. Druge določevalne lastnosti materiala pa so še vsebnost bazično delujočih snovi, gostota, odstotek suhe snovi, električna prevodnost, vsebnost težkih kovin, vsebnost nečistoč, zrelost in s tem tudi stabilnost komposta, vsebnost vode, vsebnost organskega ogljika, vsebnost semen ter rastlinski odziv na dodatek komposta k podlagi (QAS, 2011).

Kompostu 1. kakovostnega razreda preneha status odpadka in postane proizvod, če je bil proizveden iz dovoljenih in primernih biološko razgradljivih odpadkov. Ob prodaji komposta je treba kakovost in vrsto komposta tudi pravilno označiti. Po Uredbi o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata (Ur. l. RS št. 99/2013) je na embalaži oziroma ob nakupu izdelka viden proizvajalec in blagovna znamka komposta, distributer ali uvoznik, če izdelek ni nastal na ozemlju Republike Slovenije, informacije o uporabi proizvoda, kakovosti ter informacije o različnih parametrih. Poleg tega pa mora biti iz deklaracije razvidna tudi primernost uporabe v ekološkem kmetijstvu in tip bioloških odpadkov iz katerih je kompost nastal.

2.1.10 Stanje v Sloveniji

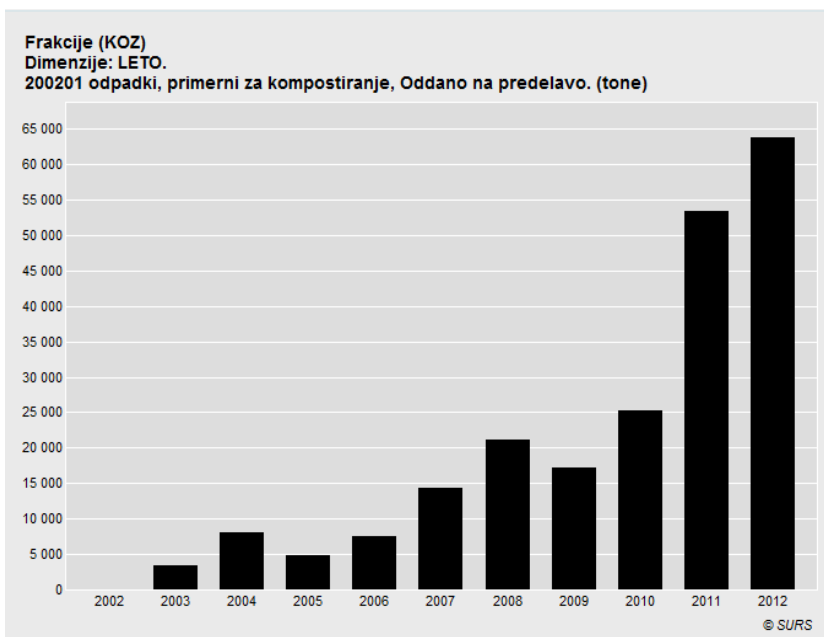
Kot sem že omenila v uvodu, je po podatkih Evropske okoljske agencije v Sloveniji predelanih le okrog 4 % vseh bioloških odpadkov (EEA, 2013). Po podatkih Statističnega urada Republike Slovenije (v nadaljevanju SURS) pa je bilo leta 2012 obdelanih precej več le-teh, natančneje 63.783 t ali 90,22 % vseh zbranih bioloških odpadkov. Podatki se razlikujejo zato, ker so v SURS-u zajeti le podatki o odpadkih, ki so primerni za kompostiranje, medtem ko so v podatkih Evropske okoljske agencije zajeti vsi odpadki biološkega izvora, tudi tisti, ki so za ta postopek obdelave manj primerni.

Na spodnji sliki (Slika 3) lahko opazimo trend vsakoletnega povečevanja količin zbranih odpadkov, ki so primerni za kompostiranje. To lahko pripišemo vse večji okoljski ozaveščenosti prebivalstva in uzakonjenemu zbiranju ločenih frakcij komunalnih odpadkov.



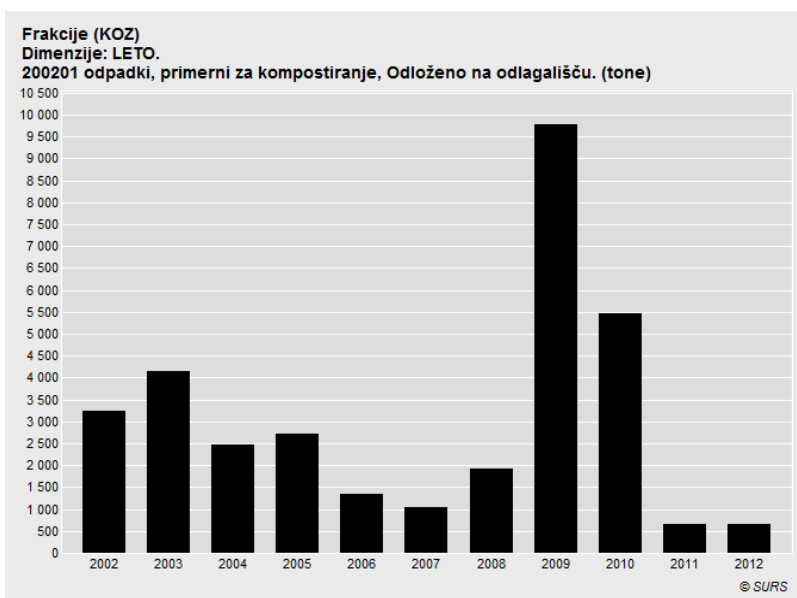
Slika 3: Skupna letna količina zbranih odpadkov, ki so primerni za kompostiranje v letih od 2002 do 2012 (SURS, 2013)

Najbolj uporabljen način predelave biorazgradljivih odpadkov je kompostiranje, delež tega načina obdelave je kar 95 % (Komisija Evropskih skupnosti, 2008). Prav tako kot na zgornji sliki, lahko iz istih razlogov spodaj (Slika 4) opazimo vsakoletni trend povečevanja količine obdelanih bioloških odpadkov, ki so primerni za kompostiranje. Iz tega je razvidno, da se biološki odpadki prebivalstvu ne zdijo več le kot nadloga, ampak tudi kot vir zaslužka s spreminjanjem le-teh v nov proizvod s tržnim potencialom. Takšna obdelava odpadkov je nadvse pozitivna v okoljskem smislu, saj iz nje pridobivamo nove uporabne surovine in hkrati zmanjšujemo pritisk na odlagališča odpadkov s polnjenjem.



Slika 4: Skupna letna količina odpadkov, ki so primerni za kompostiranje in so bili oddani na predelavo v letih od 2002 do 2012 (SURS, 2013)

V obdobju od leta 2002 do leta 2012 lahko po podatkih SURS (Slika 5) tako opazimo trend zmanjševanja količine odloženih odpadkov, ki so primerni za kompostiranje. Trend ustreza navodilom Direktive Evropske unije o odlaganju odpadkov na odlagališčih 1999/31/EC, ki določa državam, članicam Evropske unije, zmanjševanje količine odloženih biološko razgradljivih odpadkov na odlagališča za 35 % do leta 2016, glede na odloženo količino v izhodiščnem letu 1995 (Komisija Evropskih skupnosti, 1999).



Slika 5: Skupna količina odpadkov primernih za kompostiranje, ki so bili zbrani, vendar niso bili predelani in so bili potem odloženi na odlagališčih odpadkov v obdobju od leta 2002 do 2012 (SURS, 2013)

V Sloveniji imamo kar 12 predelovalcev biološko razgradljivih odpadkov v kompost (ARSO, 2014), med njimi je tudi kompostarna Saubermacher s hčerinsko družbo Center za ravnanje z odpadki Vrhnika d. o. o., v kateri je potekal moj praktični del diplomske naloge. Vsi registrirani predelovalci takšnih odpadkov morajo imeti okoljevarstveno dovoljenje in ne smejo presegati največje letne dovoljene količine predelave odpadkov za posamezen obrat.

2.2 Obseg kompostiranja

Kompostiranje se lahko izvaja v majhnem obsegu v obliki individualnega gospodinskega kompostiranja ali pa v večjem obsegu kot industrijsko kompostiranje (Williams P. T., 2005).

2.2.1 Domače kompostiranje

Pri domačem kompostiranju gre v principu za enak postopek biološke razgradnje materiala, le da temperatura v kompostni kopici ne dosega nikoli tako visokih vrednosti kot pri industrijskem kompostiranju in je zato material večinoma tudi nehigieniziran. Največja dosežena temperatura se giblje med 50 in 60 °C, predvsem v poletnem času. Pozimi so te temperature nižje, saj ima zunanja temperatura zraka, nanje velik vpliv. Kompostni material odlagamo v različne zračne kompostnike, ki so lahko leseni, plastični ali žičnati. Material mora biti v neposrednem stiku s tlemi in najbolje je, da kompostnik postavimo v senčen kraj. Za boljše prezračevanje in s tem delovanje mikroorganizmov in gliv, vsebino kompostnika večkrat premešamo. V primeru dolgih poletnih suš je priporočljivo, da kompostno maso tudi dodatno navlažimo, saj je le-ta pod neposrednim vplivom vremenskih dejavnikov, ki lahko negativno vplivajo na uspešnost našega kompostiranja (Ur. l. RS št. 39/2010).

Plastični materiali, primerni za domače kompostiranje, morajo ustrezati zahtevam standardne specifikacije AS 5810, ki je bila postavljena v letu 2010 (SAI GLOBAL, 2014). Skladno s to standardno specifikacijo obstajata v Evropi dve certifikacijski oznaki, ki zagotavljata, da je izdelek kompostiren v domačem okolju (PLASTICE, 2012).

2.2.2 Industrijsko kompostiranje

Industrijsko kompostiranje je postopek obdelave biološko razgradljivih odpadkov s ciljem pridelave stabiliziranega humoznega kompozita, ki ga uporabljamo kot gnojilo. Ta povečuje rodovitnost tal in izboljšuje njihovo mineralno strukturo (Williams P. T., 2005).

Celoten proces in načini industrijskega kompostiranja so opisani že v besedilu zgoraj, zato lahko proces kompostiranja povzamemo s spodnjo Sliko 6.



Slika 6: Shema procesa industrijskega kompostiranja (Vir: Williams P. T., 2005)

Pri manjših količinah bioloških odpadkov je nadzor nad vsebnostjo neželenih primesi plastike in drugih nerazgradljivih delcev lažji. Pri industrijskem kompostiranju naletimo na problem velikih količin bioloških odpadkov, ki imajo razmeroma veliko primesi drugih frakcij. Tu se znajdemo pred veliko težavo, saj se veliko organskih odpadkov izgubi oziroma gre na odlagališča skupaj s presevkom nezaželenih frakcij. To pomeni manjšo količino pridelanega komposta in posledično zmanjšan dobiček kompostarn. Po raziskavah naj bi se izgubilo kar 150–200 kg organskega materiala na vsakih 100 kg presevka (Garaffa C. in Breton T., 2011). Pomembno je spodbujati javnost k pravilnemu odlaganju bioloških odpadkov, brez odpadkov, ki niso biorazgradljivi. Najbolj praktična varianta bi bila v tem primeru uporaba biorazgradljivih plastičnih vrečk, ki jih lahko odlagamo skupaj z biološkimi odpadki.

Na svetovni ravni je Italija vodilna država pri uporabi kompostirnih vrečk za zbiranje bioloških odpadkov. Po uvedbi prepovedi uporabe vrečk iz plastike, ki ni biorazgradljiva, se je večina prebivalstva v Italiji vključila v aktivno uporabo vrečk iz kompostirne plastike. V letu 2012 se je zmogljivost kompostarn, vključno z novimi kompostarnami, potrojila v primerjavi z letom 1999. To nakazuje na povečanje količine zbranih bioloških odpadkov in povečane potrebe po njihovi reciklaži, večinoma s postopkom industrijskega kompostiranja (Garaffa C., 2012).

Pomembno pa je, da pri procesu industrijskega kompostiranja prilagodimo postopek tako, da ločevanja in sejanja primesi ne izvajamo pred postopkom kompostiranja. Po raziskavah, naj bi obrati za kompostiranje, ki predhodno ločujejo nečistoče od bioloških odpadkov, odstranili iz kompostirnega materiala tudi vrečke iz biorazgradljive plastike. Te nato končajo med presevkom in niso vključene v proces kompostiranja, kar gotovo ni njihov namen, saj so te specializirane za mineralizacijo v enem ciklu industrijskega kompostiranja. Uporaba vrečk iz biorazgradljive plastike je torej smiselna, če izvedemo sejanje ali ročno ločevanje primesi šele po postopku kompostiranja (Körner I. in sod., 2005).

2.3 Biorazgradljiva plastika

Na začetku razvoja polimernih materialov je bil poudarek predvsem na obstojnosti materiala in njegovi večji trajnosti, zato je razvoj potekal predvsem v to smer (Radonjič G., 2008). Postopoma pa so se velike količine obstojnih plastičnih izdelkov izkazale kot velik okoljski problem, zato je začel razvoj teči v smer okolju prijaznejših biološko razgradljivih polimernih materialov. Prednosti uporabe biorazgradljive plastike so predvsem CO₂ nevtralnost, varčevanje z uporabo fosilnih goriv ter hitra razgradnja materiala v temeljne naravne komponente (European Bioplastics, 2014). Poleg konvencionalne ali biološko nerazgradljive plastike je danes vse bolj uveljavljena uporaba biološko razgradljivih polimernih materialov za različne namene (Radonjič G., 2008).

Vsi polimerni materiali so podvrženi razgradnji, naj si bo v veliki ali majhni meri. Do tega po večini privedejo zunanji dejavniki okolja, ki izzovejo različne mehanizme razgradnje. Ti mehanizmi so svetlobna razgradnja zaradi ultravijolične svetlobe in povišane temperature, kemijska razgradnja zaradi hidrolize ali oksidacije ter biološka razgradnja zaradi delovanja mikroorganizmov (Radonjič G., 2008). Mehanizmi so med seboj povezani in delujejo sinergistično za razkroj polimerov.

Biorazgradljivost pomeni razkroj snovi pod vplivom biološke dejavnosti, se pravi mikroorganizmov z njihovimi prebavnimi encimi (PLASTICE, 2012). Vendar pa poteče biološka razgradnja le na podlagah, ki jih mikroorganizmi prepoznajo kot primerne za prehranjevanje in pridobivanje hranil. Prehranjevanje mikroorganizmov z bioplastiko je predvsem pogojeno s kemijsko strukturo oziroma s tipom kemijskih vezi, ki nastopajo v molekulah materiala (European Bioplastics, 2014) in so dovzetne za endo- ali eksoencimatsko katalitično delovanje (Kržan A., 2012; Ghanbarzadeh B. in Almasi H., 2013). Takšna je biorazgradljiva plastika, ki je izdelana na osnovi obnovljive biomase ali pa na osnovi neobnovljivih fosilnih virov (Radonjič G., 2008) s kemijskimi ali biotehnološkimi procesi (PLASTICE, 2012). Jang J. C. in sod. (2002) so pokazali, da dodatek biorazgradljive plastike v kompostu poveča število mikroorganizmov, vendar pa to ne vpliva na hitrost razgradnje materiala.

Biološka razgradnja plastike torej nastopi zaradi delovanja encimov mikroorganizmov. Proces biorazgradnje z mineralizacijo načeloma posplošujemo, vendar pa se ta cepitev polimerne verige loči na dva tipa kemijskih reakcij; to sta oksidacija in hidroliza. Razgradnja kondenzacijskih polimerov, kot so poliestri in poliamidi, poteka s hidrolizo. Oksidacijska razgradnja je značilna za polimere, ki so v osnovni verigi sestavljeni le iz ogljikovih atomov, kot je na primer PVOH. Izhodne snovi oksidacije se nato razgrajujejo še s hidrolizo (Kržan A., 2012).

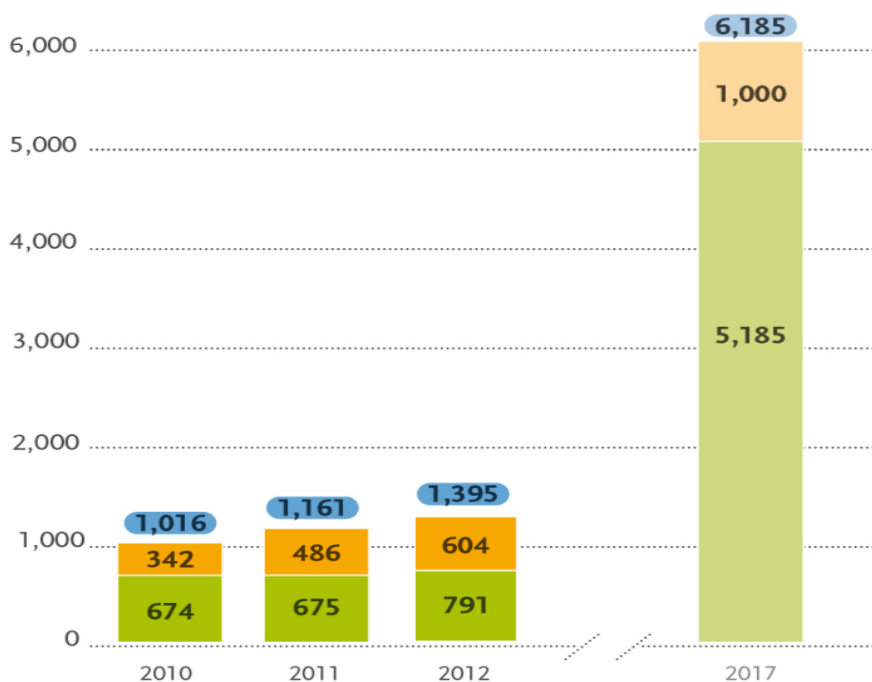
Potek biološke razgradnje lahko spremljamo z infrardečo spektroskopijo, s katero merimo koncentracije nastalih funkcionalnih skupin izhodnih snovi oksidacije. Nastale funkcionalne skupine so najpogostejše karbonilne ($-(C=O)-$). Samo cepitev polimernih verig pa merimo s porazdelitvijo molskih mas, ki jo izvedemo z masno spektrometrijo za večje molske mase, za manjše pa z merjenjem viskoznosti taline ali raztopine ter z izključitveno kromatografijo. Podatka, ki nam povesta stopnjo razgradnje polimernega materiala sta povprečna molska masa (povprečna dolžina fragmentov polimerne verige) in širina porazdelitve ali razpon dolžin fragmentov (Kržan A., 2012).

Biopolimere ali biorazgradljivo plastiko iz obnovljivih virov lahko razvrstimo v tri glavne skupine, glede na način proizvodnje: a) naravni polimeri iz biomase rastlinskega izvora

(škrob, celuloza, beljakovine idr.), b) polimeri nastali s sintezo naravnih spojin ali monomerov (polimlečna kislina idr.) in c) polimeri, ki so proizvedeni s pomočjo mikroorganizmov ali bakterij (polihidroksialkanoati idr.) (Radonjič G., 2008).

Biorazgradljiva plastika je najpogosteje uporabljena kot embalažni material, za prekrivne folije za kmetijstvo, za medicinske pripomočke in najbolj poznan način uporabe, vrečke za shranjevanje in odlaganje ločeno zbrane frakcije bioloških odpadkov primernih za kompostiranje (Radonjič G., 2008). Za shranjevanje hrane biorazgradljivo plastiko prevlečejo z antibakterijskimi prevlekami, da podaljšajo obstojnost materiala (Del Nobile M. A. in sod., 2009) ter preprečijo okužbe hrane z mikrobi (Siracusa V. in sod., 2008). Vedno več izdelkov iz bioplastike najdemo tudi v gostinstvu, za notranje avtomobilske dele (European Bioplastics, 2014) in za elektrotehniko (Mühl S. in Beyer B., 2014).

Proizvodnja bioplastike je pogojena s povpraševanjem, ki se vsako leto povečuje za okoli 20 %. V letu 2012 je obsegala svetovna proizvodnja bioplastike okoli 1,4 milijona ton, za leto 2017 pa so pri European Bioplastics napovedali letno proizvodnjo okrog 6 milijonov ton. Takšna rast v proizvodnji je pričakovana predvsem zaradi naraščajočih cen fosilnih goriv, zagotovo pa k večjemu povpraševanju po izdelkih iz bioplastike pripomore tudi večja okoljska osveščenost potrošnikov in manjši izpusti toplogrednih plinov v celotnem življenjskem ciklu materiala in izdelka (European Bioplastics, 2014).



Slika 7: Svetovna proizvodnja bioplastike v 1000 tonah od leta 2010 do 2012 in napoved za obdobje do leta 2017 (Vir: European Bioplastics in Institute for Bioplastics and Biocomposites, 2014)

Na zgornji sliki je z zeleno barvo označena bioosnovana plastika, ki ni biorazgradljiva; z oranžno barvo je označena biorazgradljiva plastika; z modro pa je označena celotna zmogljivost proizvodnje bioplastike.

Z napovedjo naraščanja proizvodnje bioplastike je postala sporna uporaba prehranskih surovin za proizvodnjo bioplastike. Evropska krovna organizacija za bioplastiko European Bioplastics je zato raziskovala koliko kmetijskih površin je

namenjenih za gojenje surovin za bioplastiko. V letu 2012 je bilo na svetovni ravni uporabljenih le 0,01 % ali 0,4 milijona ha kmetijskih zemljišč za pridelovanje bioplastike. V letu 2017 je sicer napovedana povečana poraba kmetijskih zemljišč za namen proizvodnje bio-materialov, vendar pa ta ne bo presegala 2 %, od katerih je za proizvodno bioplastike namenjenih 0,02 % ali 1,2 milijona ha. Torej bo za prehrano, pašništvo in gojenje biogorivnih poljščin ostalo še vedno na razpolago okrog 97 % kmetijskih zemljišč (od katerih je 1 % neobdelanih), kar ne more opravičiti velikih nasprotovanj in negativnih etičnih vidikov za povečevanje proizvodnje bioplastike (European Bioplastics, 2014).

2.3.1 Kompostirna plastika

Kompostirna plastika je plastika, ki se biološko razgradi pod pogoji in med trajanjem enega kompostirnega cikla. Kompostirna plastika je vedno biorazgradljiva, vendar pa vsa biorazgradljiva plastika ni nujno tudi kompostirna, saj lahko proces biorazgradnje poteka v drugačnem okolju in daljši čas. Biorazgradnja ne poteka enako hitro pri vseh vrstah biorazgradljive plastike in pogosto njihovo biorazgradnjo sprožijo šele točno določeni pogoji (PLASTiCE, 2012). Vse komponente in dodatki, dodani biorazgradljivi plastiki, prisotne v več kot 1 % mase, morajo biti biorazgradljive in nestrupene. Takšni dodatki so razna barvila, lubrikanti, črnila ali stabilizatorji, ki prav tako ne smejo vplivati na končno kvaliteto komposta (Kržan A., 2012). Unmar G. in Mohee R. (2008) sta preizkusila vpliv biorazgradljive plastike na kvaliteto komposta. Kompost, pridobljen iz bioloških odpadkov z dodatkom kompostirne plastike sta primerjala s čistim kompostom in kompostom z dodano oksidativno razpadljivo plastiko, ki je občutljiva na oksidacijo in svetlobno razgradnjo. Ugotovila sta, da je kakovost komposta, ki je imel dodano biorazgradljivo plastiko, najvišja glede na vsebnost dušika, kalija, fosforja in drugih mikroelementov. Tudi analiza, kako takšen kompost vpliva na rastline, je dala najboljše rezultate, saj sta znanstvenika izmerila najdaljšo radikulo gorčičnih semen.

Za uvrščanje in trženje z izdelki iz biorazgradljive plastike je treba določiti zahteve, ki jim mora izdelek zadostovati, da mu lahko pripišemo oznako kompostiren. Zahteve za ustreznost izdelkov podajajo različne standardizacijske organizacije, v Evropi Evropski komite za standardizacijo – CEN, zahteve pa so navedene v standardnih specifikacijah (Radonjič G., 2008).

Kompostirnost materiala je določena s standardno specifikacijo EN 13432, ki določa mejne vrednosti, ki jih mora material zadostiti, da lahko povemo, da je kompostiren. Standardna specifikacija vsebuje 4 zahteve: 1) mehanski razpad materiala, 2) vsebnost težkih kovin znotraj zakonsko določenih meja, 3) odsotnost negativnega vpliva na rastline in 4) minimalno 90 % razgradnjo organskega ogljika v CO₂ pod določenimi pogoji v 180 dneh (Mühl S. in Beyer B., 2014).

Delež biorazgradnje plastičnih materialov določamo po standardu ISO 14855 in enačbi:

$$\text{Biorazgradnja (\%)} = ((CO_2)_T - (CO_2)_B) / ThCO_2 \times 100$$

V enačbi pomenijo oznake naslednje:

- $(CO_2)_T$ – kumulativna količina sproščenega CO_2 v reaktorju z vzorcem v enoti [g / reaktor],
- $(CO_2)_B$ – povprečna kumulativna količina sproščenega CO_2 v slepem reaktorju z enoto [g / reaktor] in
- $ThCO_2$ – teoretična količina sproščenega CO_2 , ki ga lahko pridobimo iz plastičnega vzorca v enoti [g / reaktor]. $ThCO_2$ izračunamo po naslednji enačbi:

$$ThCO_2 = M_{TOT} \times C_{TOT} \times (44 / 12)$$

V zgornji enačbi za teoretično količino sproščenega ogljikovega dioksida, pomenijo oznake naslednje:

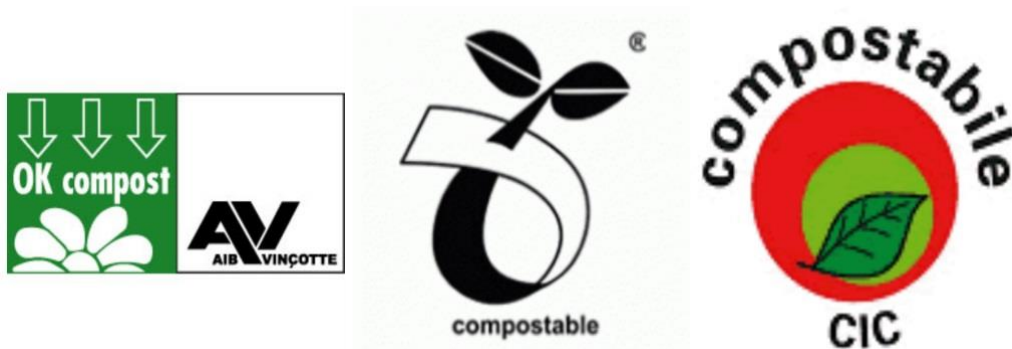
- M_{TOT} - celotna suha masa snovi, oziroma količina plastičnega vzorca, ki jo na začetku poskusa vstavimo v kompost v enotah [g],
- C_{TOT} – celotni organski ogljik v suhem plastičnem vzorcu v enoti [g / g],
- številki 44 in 12 pa predstavljata molekulsko maso CO_2 in atomsko maso C (Leejarkpai T. in sod., 2011).



Slika 8: Postopek razgradnje biorazgradljive plastike s končno stopnjo mineralizacije snovi (Vir: PLASTiCE, 2012)

Izhodiščna surovina ter proizvodni proces za biorazgradljivo plastiko nista pogoj za razvrščanje takšne plastike kot biorazgradljive, biorazgradljivost je odvisna predvsem od kemijske strukture polimera (PLASTiCE, 2012). Cilj biorazgradnje polimerov je pridobiti izhodne snovi, ki so naravni metaboliti in se neposredno vključujejo v kroženje snovi v naravi (Radonjič G., 2008). Končno biorazgradljivost merimo s količino vhodnega ogljika v materialu in izhodno količino CO_2 po končanem postopku biološke razgradnje (Kržan A., 2012).

Če izdelek ustreza standardnim zahtevam za kompostirnost, mu certifikacijska organizacija dodeli certifikat, ki potrjuje kompostirnost izdelka. Posamezne certifikacijske organizacije imajo različne oznake za označevanje kompostirnih izdelkov. Najbolj znani evropski certifikacijski organizaciji za bioplastiko sta belgijski Vinçotte in nemški DIN CERTCO. Certifikate podeljujeta tako za izdelke, primerne za industrijsko kompostiranje, kot tudi za izdelke, primerne za kompostiranje v domačem kompostniku (PLASTiCE, 2012).



Slika 9: Oznake za biorazgradljive kompostirne materiale v nekaterih državah; od leve proti desni: Belgija, Nemčija, Italija (Vir: Mühl S. in Beyer B., 2014)

Standardna specifikacija EN 14995 je nadgradnja standarda EN 13432, saj določa kriterije za kompostiranje različnih vrst plastike, ne samo embalaže (PLASTiCE, 2012). Podobni standardni specifikaciji sta tudi ASTM D6400 in ISO 17088 (ASTM, 2012). Obstaja pa še veliko drugih standardov, ki bolj podrobno obravnavajo in določajo primernost plastičnih materialov za kompostiranje.

3 EKSPERIMENTALNI DEL

Z naraščajočo uporabo biorazgradljive plastike z namenom shranjevanja in odlaganja biorazgradljivih odpadkov, je potrebno preveriti tudi primernost za obdelavo le-te v postopku industrijskega kompostiranja. Postopek kompostiranja sem spremljala v celoti, od priprave kompostne kopice, v nadaljevanju tehnično obdelavo, stopnjo razgradnje vrečk iz kompostirne plastike ter na koncu ocenila kakovost izhodnega komposta in količino presevka.

3.1 Potek kompostiranja v kompostarni Centra za ravnanje z odpadki Vrhnika

Poskus kompostiranja vrečk iz kompostirne plastike je potekal v kompostarni Centra za ravnanje z odpadki na Vrhniki. Kompostirni cikel traja približno 12 tednov, oziroma ga lahko glede na uspešnost kompostiranja spremenimo na podlagi rezultatov spremljanja pogojev. Pred začetkom industrijskega kompostiranja biološke odpadke zbirajo, dokler ne dobijo dovolj materiala, da pripravijo kopico, veliko okoli 300 m³ in z maso od 150 do 200 ton. Kopico sestavlja približno 80 % mase biološko razgradljivih gospodinskih odpadkov, katerim na začetku dodajo 10 % strukturnega materiala, ki ga predstavlja zmleti zeleni odrez. Strukturni material pridobijo z drobljenjem zelenega odreza na mobilnem drobilnem stroju WALLIBALD MZA 4600.

Ko zberejo dovolj materiala, pripravijo kopico v tunelu v prvi hali, kjer poteka intenzivni razkroj organskega materiala. V prvi hali ostane kopica 4 tedne, vendar jo tedensko prestavljajo iz enega tunela v drugega. Med prestavljanjem hkrati mešajo in prezračujejo kopico. Po 4 tednih intenzivnega razkroja materiala, kopico premaknejo v drugo halo oziroma šotor, takrat jo tudi zmeljejo. Mletje nato poteka vsak teden, vse do konca kompostirnega postopka, ko izvedejo še sejanje materiala. Sejanje kopice lahko poteče tudi pred ali po dvanajstem tednu, odvisno od vsebnosti vode v materialu. Čas sejanja določijo po metodi pesti, pri kateri mora biti material na otip vlažen, vendar ne moker oziroma iz njega ne sme kapljati voda. Po dvanajstih tednih je intenzivni razkroj komposta zaključen, sledi mu le še faza zorenja. Med zorenjem kompost miruje na prostem še približno 4 tedne, da izginejo neprijetne vonjave. Zadnja stopnja je samo še sušenje komposta, ki poteka v hali. Tako pridobijo kompost, primeren za prodajo. Glede na letno količino vstopnega materiala 10.000 ton pridelajo v kompostarni okrog 4.500 ton komposta, ki je primeren za prodajo.

V kompostarni navadno uporabljajo tudi pripravek za pospešitev aerobne razgradnje podjetja EUROVIX, ki pospeši biorazgradnjo tudi do dvakrat. Gre za pripravek, ki je mešanica encimov in mikroorganizmov, ki pripomorejo k hitrejšemu poteku reakcij razgradnje materiala (EUROVIX, 2014). V primeru uporabe preparata EUROVIX, traja proces kompostiranja od 6 do 10 tednov, namesto običajnih 12. Pripravek dodajajo pri začetni postavitvi kopice v količini 100 g/m³ materiala. V našem primeru je potekalo kompostiranje kopice po standardnih metodah brez dodatkov, saj smo želeli preveriti, kako poteka kompostiranje biorazgradljivih plastičnih vrečk po klasičnem postopku industrijskega kompostiranja.

Kompostiranje smo začeli 26. junija 2014. Za potrebe diplomske naloge so v CRO Vrhnika zbrali 100 t bioloških odpadkov s prostornino 230 m³. Zbrane biološke odpadke smo najprej očistili neželenih primesi. Majhen del zbranih odpadkov so razgrnili po ploščadi kompostarne in ročno odstranjevali smeti, ki ne spadajo med biološke odpadke, kot je razvidno na spodnji sliki (Slika 10). Na tak način smo se znebili veliko

odpadkov, ki negativno vplivajo na kakovost komposta in motijo sam proces kompostiranja. Prav tako pa bi lahko običajne plastične vrečke motile mojo določitev uspešnosti kompostiranja biorazgradljivih vrečk, saj bi jih po pomoti lahko zamenjala s tistimi, ki smo jih mi vstavljali. Odstranili smo veliko neprimernih odpadkov, po grobi oceni sklepam, da je bilo med biološkimi odpadki najmanj 15 % drugih neprimernih odpadkov (steklenice, cigaretni ogorki, običajne plastične vrečke, plenice, pločevinke idr.).



Slika 10: Prikaz odstranjevanja neželenih primesi v bioloških odpadkih



Slika 11: Prikaz odstranjenih nečistoč iz bioloških odpadkov

Ko smo odstranili del neprimernih odpadkov (Slika 11) iz posameznega dela bioloških odpadkov, smo vmešali naše kompostirne vrečke. Vrečke so narejene iz materiala, ki je registriran kot kompostiren. Dobili smo jih od podjetja Termoplasti Plama, ker so med proizvodnjo imeli težave z varjenjem ročajev na vrečke. V celotno kopico smo raztrosili in vmešali 380 kg vrečk iz biorazgradljive plastike, kakor je prikazano na spodnji sliki (Slika 12). Razmerje med vrečkami in materialom je 1:263, posamezna vrečka tehta 30 g. Tako smo z našim poskusom simulirali situacijo, ko je v eni vrečki lahko največ

8 kg bioloških odpadkov, kar je sicer malo večja količina kot jo običajno odložimo v eno vrečko. Povprečno gospodinjstvo zbere v enem tednu okrog 4 kg bioloških odpadkov, kar je za polovico manj od količine, ki jo simulira naš poskus. Kljub temu, da naš poskus ne simulira dejanskih pogojev je vseeno zelo dober približek realni situaciji.



Slika 12: Pripravljanje kompostne kopice z vstavljenimi vrečkami iz biorazgradljive plastike

Ko smo vrečke vstavili v biološke odpadke, smo pripravili kompostno kopico v enem od tunelov v prvi hali (Slika 13). Kopica je v tej hali ostala 3 tedne, tedensko smo jo prestavljali iz enega tunela v drugega in tako material mešali in ga prepihovali z zrakom.



Slika 13: Pripravljena kopica v tunelu z vmešanimi biorazgradljivimi vrečkami

17. julija 2014, en teden prej kot običajno, smo kompostno kopico prestavili v drugo halo in takrat smo jo tudi prvič zmleli. Stroj za mletje JENZ MU 2000 (Slika 14) je opravljal svoje delo brez motenj in vrečke niso negativno vplivale na postopek mletja. Stroj je med mletjem vrečke prepolovil. Naše vrečke smo brez težav še našli, ampak so rahlo spremenile barvo in postale so bolj raztegnjene in elastičnejše.



Slika 14: Prikaz prvega mletja kompostne kopice s še vidnimi delci vrečk iz kompostirne plastike



Slika 15: Primerjava vrečk v kompostni kopici, levo je vrečka po dveh tednih v kompostni kopici, desno pa vrečka, ki je bila v postopku kompostiranja tri tedne

Drugo mletje in obračanje kompostne kopice je potekalo 31. julija 2014. Kosi plastike so v naslednjih dveh tednih postali še tanjši, mehkejši in elastičnejši na otip. Zaradi mehanskih vplivov (mletje in posedanje materiala) se je zmanjšala tudi njihova velikost. Delce smo že težje našli. Predvsem smo našli skupke vrečk (Slika 16), kjer je bilo več plasti nakopičenih ena na drugo.



Slika 16: Najden skupek vrečk v kompostni kopici po petih tednih kompostiranja

Tretje prestavljanje kopice je potekalo 18. avgusta 2014. Kompostiranje je takrat potekalo 7 tednov in pol. Ker na prvi pogled vrečk nisem več našla, sem vsak zajem materiala ob prestavljanju natančno pregledala in komaj našla nekaj koščkov vstavljenih vrečk. Najdeni delci so se ob dotiku trgali. Koščke sem odnesla domov in jih sprala ter shranila za morebitne nadaljnje analize. Ob spiranju so se koščki še hitreje trgali in razpadali na vedno manjše delce, kot je razvidno na spodnji sliki (Slika 17). Za četrto prestavljanje kopice (9 tednov in pol) sem pričakovala, da ne bom našla čisto nobenega delca več, torej, da so vse kompostirne plastične vrečke tekom kompostiranja že popolnoma mineralizirale.



Slika 17: Sprani delci vrečk iz biorazgradljive plastike po približno 7 tednih in pol kompostiranja

Zadnje prestavljanje kopice je bilo 3. septembra 2014. Kot sem predvidevala, koščkov vrečk iz kompostirne plastike ni bilo več mogoče opaziti, torej so se vse vrečke popolnoma razgradile. Poleg tega je bilo v kopici prisotnih veliko žuželk. Na pogled je

bila kopica že precej suha, tako da smo sklenili, da bomo opravili sejanje le-te v roku dveh tednov.

Po 11 tednih kompostiranja smo 8. septembra zaključili s poskusom in opravili sejanje nastalega komposta, ki je prikazano na spodnji sliki (Slika 18). S strojem FARWICK smo kompostno kopico sejali in podrobno opazovali končni presevek, če bi našli še kakšen delec naših kompostirnih vrečk. V skladu s pričakovanji, vrečk nismo našli.



Slika 18: Sejanje kompostne kopice s prvim presevkom na desnem kupu

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

4.1 INDUSTRIJSKO KOMPOSTIRANJE

4.1.1 Problematika neželenih primesi med biološkimi odpadki

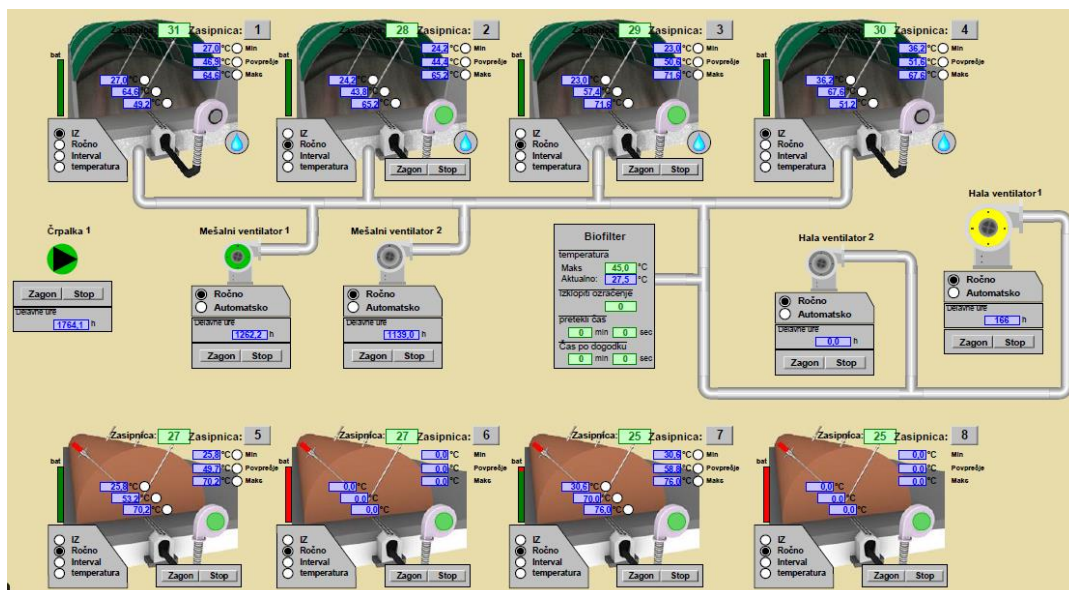
V Sloveniji je ločeno zbiranje odpadkov zakonsko določeno in obvezno. Kljub temu pa v ločenih frakcijah odpadkov najdemo precej visoke deleže smeti, ki tja ne sodijo. Pri pregledu zbranih organskih odpadkov smo opazili veliko količino običajne plastike, ki so jo ljudje odložili skupaj z biološkimi odpadki. Predvsem so ljudje odlagali kuhinjske odpadke v vrečkah iz običajne plastike, v kar nekaj primerih pa so odvrgli vreče, ki so v celoti vsebovale mešane komunalne odpadke. Po grobi oceni bi rekla, da je bilo nečistoč v bioloških odpadkih vsaj 15 %.

Glavni razlog za velik delež nečistoč je predvsem slaba ozaveščenost ljudi. Večina je seznanjena z obveznim ločevanjem odpadkov pri viru, ampak se ne zavedajo, kakšen negativen vpliv imajo nepravilno odloženi odpadki na postopek obdelave odpadkov. Delež nečistoč v bioloških odpadkih bi zmanjšali, najverjetneje z večjo ozaveščenostjo ljudi, kar pa je dolgotrajen postopek. Mnogo odgovornosti za trenutno situacijo pa nosijo tudi družbe za ravnanje z odpadki, ki bi morale bolj dosledno preverjati ločevanje odpadkov pri viru in informirati potrošnike.

4.1.2 Pregled spremljanih parametrov med procesom

Med postopkom kompostiranja smo spremljali več parametrov. V kompostarni kontinuirno spremljajo temperaturo kompostne kopice in povezanih postopkov (zalivanje, delovanje ventilatorjev, pravilno delovanje SRM sond ipd.), kar beleži program COMPOscan. Ta grafično zapiše izmerjeno temperaturo v 15 minutnih intervalih. Ostale parametre (pH, relativna vlaga, suha snov, preverjanje SRM sond) izvaja vodja kompostarne enkrat tedensko. Vsebnost vode v kompostu določajo gravimetrično. Vzorec sušijo 2 uri pri 105 °C oziroma do konstantne mase. Razlika v masi vzorca predstavlja vsebnost vode v kompostni kopici.

Na spodnji sliki (Slika 19) je prikazana postavitev kompostarne, na kateri lahko vidimo, kako so povezane kopice in kanali ter nahajanje biofiltra in ventilatorjev. Tako spremljajo vse postopke v kompostarni.

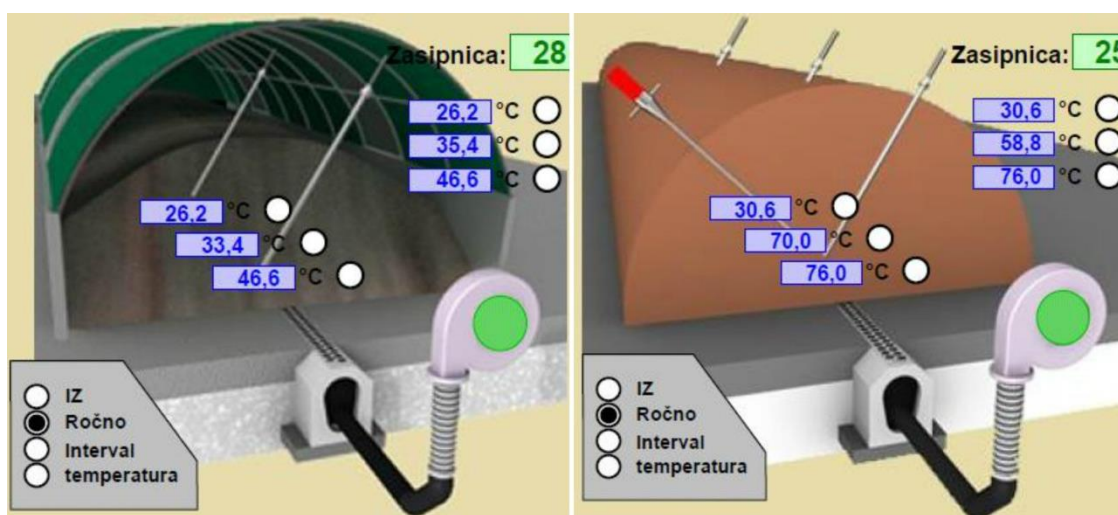


Slika 19: Prikaz kontrolnega sistema celotne kompostarne v programu COMPOscan

Na spodnji sliki (Slika 20) levo je postavljena kompostna kopica v tunelu, desno pa kopica v hali. Številki 25 in 28 desno zgoraj označujeta številko kopice v tekočem letu. Izpis temperatur na kopici prikazuje trenutne izmerjene temperature, izpis desno zgoraj pa po vrstnem redu navzdol najmanjšo, povprečno in najvišjo izmerjeno temperaturo tekočega dne. V spodnjem delu slike vidimo izhodni kanal z delujočo črpalko, ki ustvarja podtlak in izcedno vodo iz kopice. Levo spodaj je označba za prikaz meritev in upravljanje sistema. Najbolj uporabljena ukaza sta:

- ročno, ki dovoljuje pričetek ali zaključek zalivanja in
- interval, ki določa intervalno izklapljanje in vklapljanje ventilatorjev.

Ukaz IZ pomeni izklop črpalke, ukaz temperatura pa izberemo, če želimo grafični zapis meritev v intervalih, ki jih določimo sami (npr. namesto 15 minutnega intervala, izberemo 10 minutnega).



Slika 20: Primer prikaza kontrolnega in merilnega sistema COMPOscan

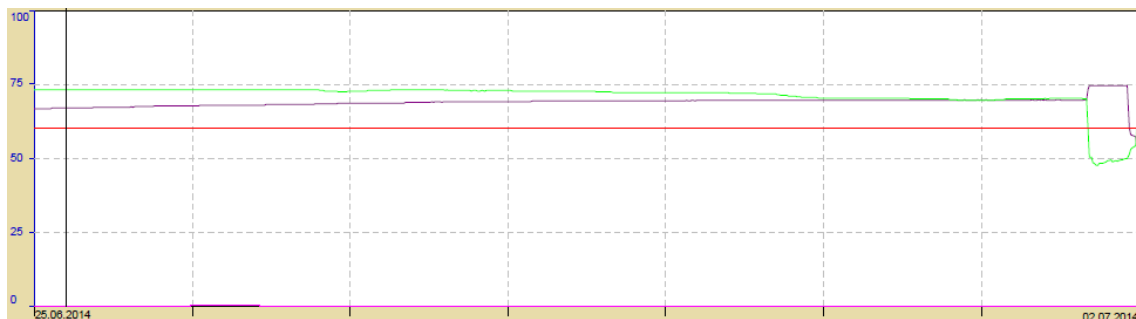
4.1.2.1 Temperaturni režim med procesom

Temperatura kompostnih kopic je spremljana kontinuirno s SRM sondami, enkrat tedensko pa še ročno za kontrolo pravilnega delovanja sond. Rezultat hrani programski sistem COMPOscan. Temperaturna skala prikazuje meritve v [°C], spodaj pa je označeno časovno obdobje merjenja.

V spodnjih grafih posamezna barva prikazuje spreminjanje temperature v posameznem predelu kompostne kopice. Barve pomenijo sledeče:

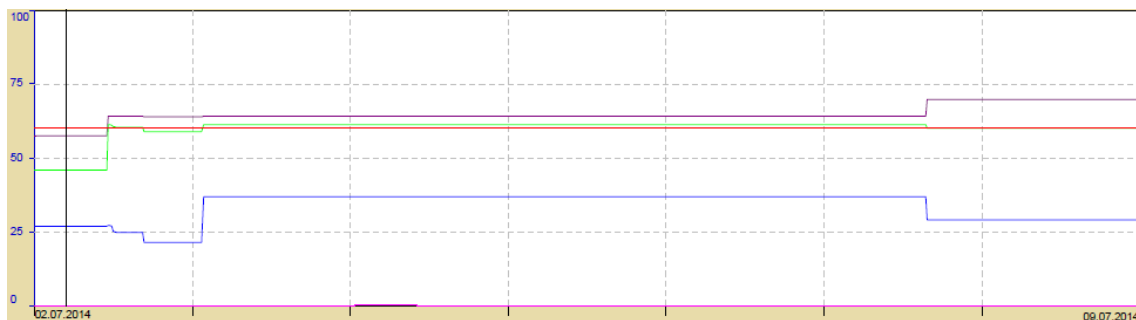
- modre krivulje predstavljajo izmerjene temperature v spodnjem delu kopice,
- zelene krivulje predstavljajo izmerjene temperature v srednjem delu kopice,
- vijolične krivulje predstavljajo izmerjene temperature v zgornjem delu kopice.

Rdeča ravna črta predstavlja temperaturo higienizacije kompostne kopice, ki je nastavljena pri 60 °C.



Slika 21: Spremljanje temperature od 25. 6. do 2. 7. 2014

Zgornji graf (Slika 21) prikazuje prvi teden kompostiranja z začetkom 26. junija 2014. Že takoj po postavitvi kopice se je temperatura dvignila nad temperaturo higienizacije in ostala nad temperaturo higienizacije naslednjih 5 dni. Ob koncu tedna opazimo upad temperature, ki je posledica zalivanja kompostne kopice z izcedno vodo. Zalivanje so v kompostarni izvedli zato, da so preprečili pregrevanje kompostne mase. Previsoka temperatura kompostne kopice namreč ni zaželena, saj povzroči odmiranje mikroorganizmov in bakterij. K hitremu dvigu temperature v kopici je pripomogla tudi visoka temperatura zunanjega zraka. Na tem grafu modre krivulje ne opazimo, saj se popolnoma prekriva z zeleno, kar je zelo pogost pojav med kompostirnim procesom.



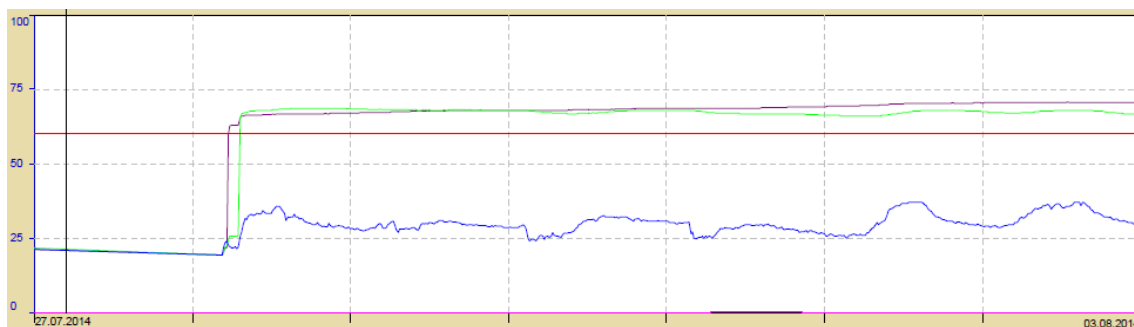
Slika 22: Spremljanje temperature od 2. 7. do 9. 7. 2014

Slika 22 prikazuje drugi teden kompostiranja. Na začetku opazimo nižje temperature kompostne kopice zaradi zalivanja, potem pa se ustalijo, saj se pogoji v kopici normalizirajo.



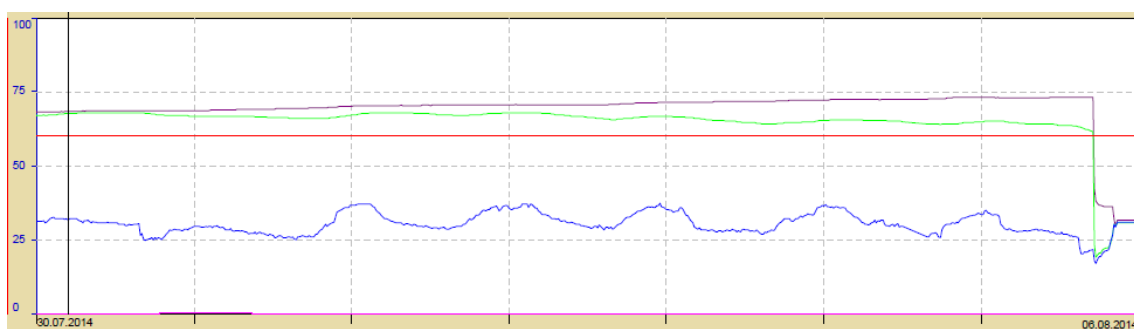
Slika 23: Spremljanje temperature od 9. 7. do 16. 7. 2014

Zgornji graf (Slika 23) prikazuje tretji teden kompostiranja. Opazimo, da se krivulje temperatur popolnoma prekrivajo, saj so v tem in naslednjem tednu izvajali kontrolo sond. Ko SRM sonde med kontrolo kažejo enake temperature vse pravilno delujejo. Takšno tedensko kontrolo sond izvajajo v kompostarni najmanj dvakrat letno, da zagotovijo pravilno delovanje opreme. V tem času so meritve temperature v kopici izvajali ročno z digitalnim termometrom, vrednosti pa beležili v dnevnik kompostarne. V tednu testiranja sond je bila izmerjena povprečna temperatura kopice 64,8 °C.



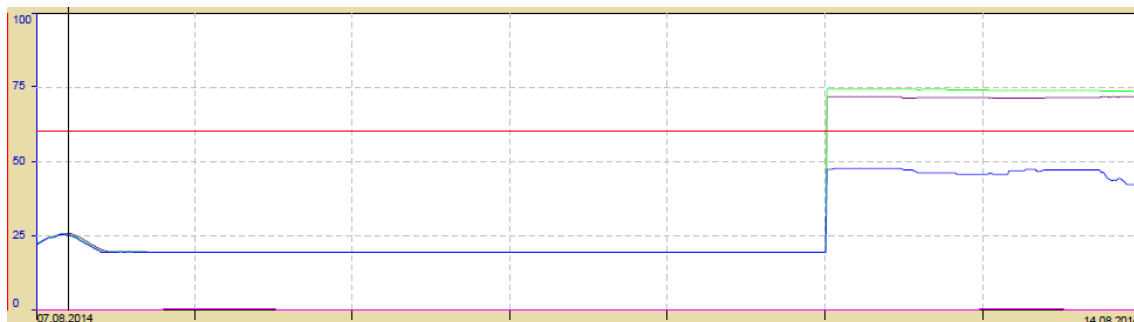
Slika 24: Spremljanje temperature od 27. 7. do 3. 8. 2014

Zgornji graf (Slika 24) prikazuje peti teden kompostiranja. Kot lahko opazimo, sta zgornja in srednja temperatura kopice približno enaki, spodnja pa je nižja zaradi večje vsebnosti vode in podtlaka na dnu kopice.



Slika 25: Spremljanje temperature od 30. 7. do 6. 8. 2014

Zgornji graf (Slika 25) prikazuje šesti teden kompostiranja. Opazen je podoben trend krivulj kot v petem tednu. Na koncu tedna opazimo nenaden upad temperatur v kopici zaradi prestavljanja. Ob prestavljanju se material prezrači, premeša in s tem tudi nekoliko ohladi.



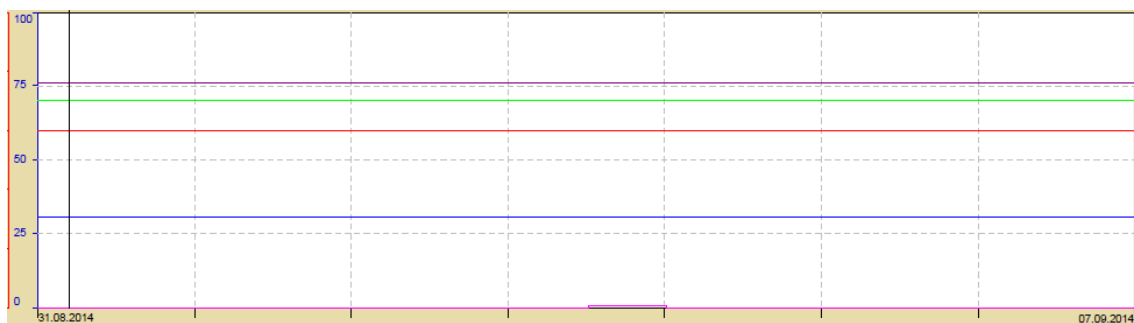
Slika 26: Spremljanje temperature od 7. 8. do 14. 8. 2014

Slika 26 prikazuje sedmi teden kompostiranja. Prekrivanje grafov nakazuje na ponovno testiranje SRM sond. Konec tedna opazimo dvig temperatur zaradi končnega testiranja sond in merjenja temperatur v kopici.



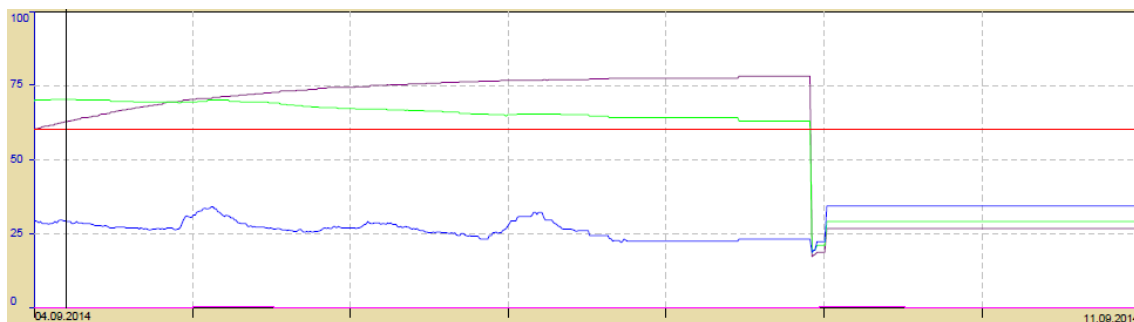
Slika 27: Spremljanje temperature od 17. 8. do 24. 8. 2014

Zgornja slika (Slika 27) prikazuje deveti teden kompostiranja. V začetku tedna lahko opazimo nenadno znižanja temperatur zaradi zalivanja kopice. Sledi ponoven porast temperatur in vzpostavitev normalnega stanja. Nato se graf nenadoma spremeni in krivulje se izravnajo. To je nastalo zaradi tega, ker sonde niso več oddajale radijskih signalov zaradi okvare baterij.



Slika 28: Spremljanje temperature od 31. 8. do 7. 9. 2014

Zgornji graf (Slika 28) prikazuje okvaro SRM sond med desetim tednom kompostiranja. V tem tednu so temperature merili ročno, beležili pa v dnevnik kompostarne. Povprečna temperatura kompostne kopice je bila v tem tednu 64,8 °C.



Slika 29: Spremljanje temperature od 4. 9. do 11. 9. 2014

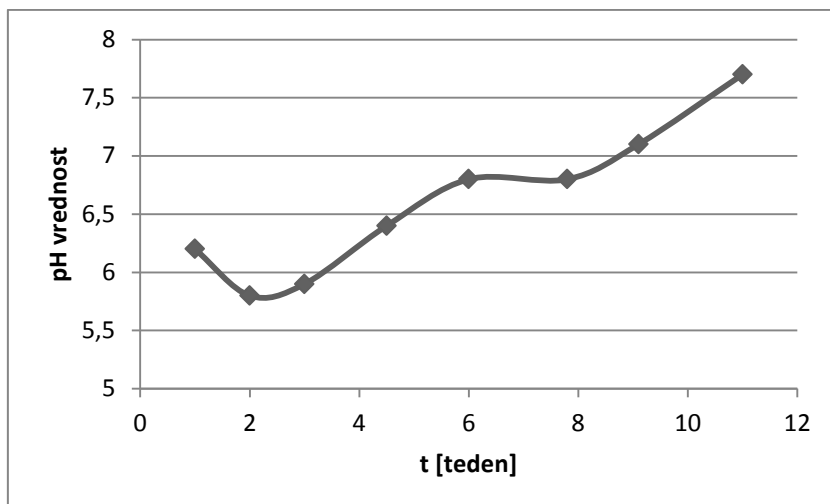
Zgornji graf (Slika 29) prikazuje enajsti, zadnji teden kompostiranja z zaključkom postopka 8. septembra 2014. Iz grafa je lepo razviden datum sejanja, saj temperature upadejo.

Temperaturni režim naše kompostne kopice se ne razlikuje od temperaturnega režima kompostiranja običajne kopice, kar nam pokaže, da naše vrečke nimajo opaznega vpliva na potek kompostiranja.

4.1.2.2 pH režim med procesom kompostiranja

Merjenje pH vrednosti kompostne kopice izvajajo tedensko s pH metrom po standardu SIST EN 12579:2013. Vzorec pripravijo tako, da 200 g biološko razgradljivih odpadkov dodajo 1000 mL deionizirane vode in nato mešajo 30 minut. Tako pripravljena mešanica mora stati približno 2 uri. pH meter umerijo s pufroma, ki imata pH vrednosti 7 in 10, včasih pa uporabijo tudi pufer s pH-jem 4. Stekleno elektrodo pH metra pomočijo v vzorec in počakajo, da se vrednost ustali. Meritev vedno izvajajo v dveh paralelkah. Če se meritvi razlikujeta za manj kot 0,5 enote pH pomeni, da je bila meritev pravilna. Meritev pH-ja včasih preverijo tudi z indikatorskimi lističi.

Na spodnjem grafu (Slika 30) je razvidno znižanje pH-ja na začetku, nato pa se vrednosti počasi povečujejo do konca postopka, ko dosežemo pH vrednosti med 7 in 8. Na začetku postopka ima kompostna kopica nižje vrednosti pH-ja, saj poteka takrat tvorba organskih kislin. Vrednosti se nato zvišujejo zaradi nastajanja amonijaka (NH_3), ki deluje bazično. Ob koncu kompostiranja doseže material praviloma nevtralne vrednosti pH med 7 in 8 (Kovačič J., 2009). Če primerjamo pH vrednosti naše kompostne kopice s spreminjanjem pH-ja običajne kompostne kopice, ne opazimo razlik, kar pomeni, da vstavljene kompostirne vrečke niso vplivale na postopek kompostiranja.



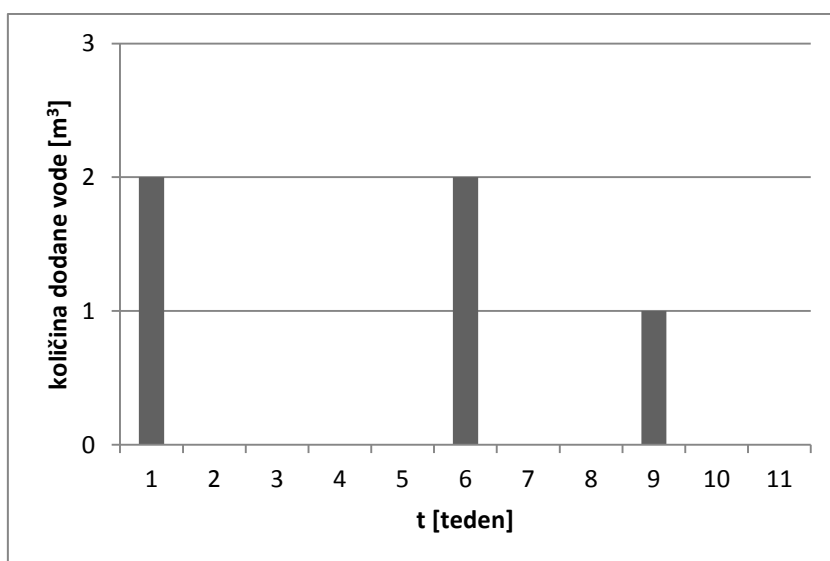
Slika 30: Spremljanje vrednosti pH po posameznih tednih kompostiranja

4.1.2.3 Količina dodane vode med procesom

Kompostiranje je eksotermen proces in pogosto se kompostna kopica pregreva, kar lahko negativno vpliva na prisotne mikroorganizme. Da bi preprečili neželeno pregrevanje kompostne kopice med intenzivnim kompostiranjem, jo hladijo z izcedno vodo, hkrati pa ohranjajo zaželeni delež vlage v kompostni kopici. Tekom kompostiranja je zalivanje določeno s principom mokre pesti. Določanje je izkustvene narave in ga uporabljajo tudi za preverjanje ustreznosti materiala za sejanje. Po principu mokre pesti z roko zajamejo naključni del kompostnega materiala, stisnejo pest in preverijo, ali iz materiala kaplja voda ali ne.

Kopico zalivajo z izcedno vodo iz zbiralnika. Režim zalivanja določa vodja kompostarne ali njegov namestnik na podlagi temperatur v kompostni kopici in principa pesti.

Režim zalivanja in količina dodane vode sta prikazani v spodnjem grafu (Slika 31).

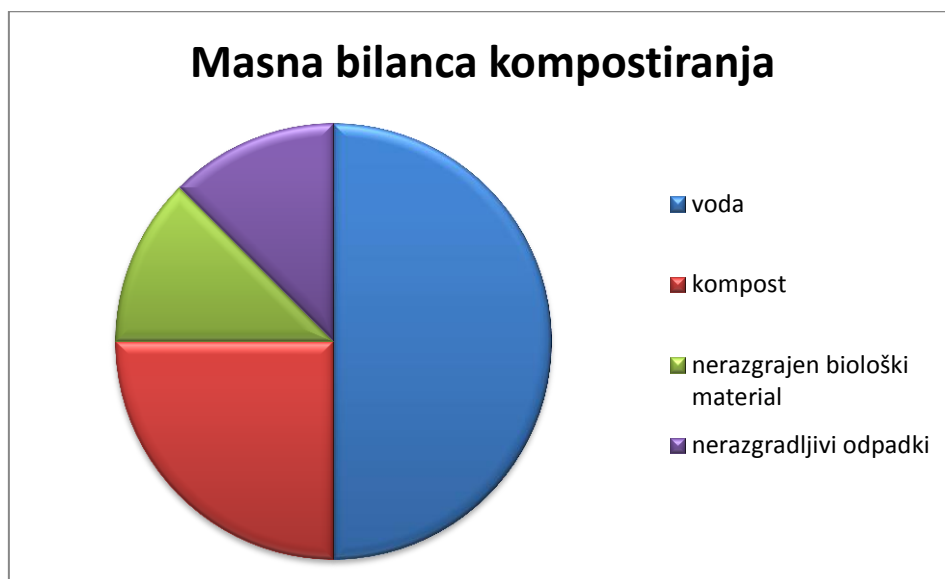


Slika 31: Spremljanje količine dodane vode za zalivanje kopice po posameznih tednih kompostiranja

Na koncu prvega tedna so kompostno kopico zalili z 2 m³ vode, kljub temu, da je bila vlažnost vhodnega materiala precej visoka, in sicer 45,90 % mase kopice. Zalivanje so izvedli, ker se je kopica pregrevala in pet dni zaporedoma dosegala temperature nad mejo higienizacije. Nato zalivanje kopice ni bilo potrebno vse do šestega tedna, ko so kopico zopet zalili z 2 m³ vode iz enakih razlogov kot v prvem tednu. V devetem tednu so kopici dodali le še 1 m³ vode, saj je bil material po oceni po principu pesti presuh.

4.1.3 Masna bilanca kompostiranja

Pri običajnem postopku kompostiranja predstavljajo nerazgradljivi odpadki, prisotni v kompostu, približno 25 % končne mase kompostne kopice. Tudi pri sejanju naše kompostne kopice je bilo enako, kljub temu, da smo odstranili velik delež nerazgradljivih odpadkov. Približno polovico presevka so predstavljale vrečke iz običajne plastike, torej tiste, ki smo jih pri odstranjevanju neprimernih odpadkov spregledali ali pa so bile pretežke, da bi jih odstranili. Drugo polovico presevka pa je predstavljal nerazgrajen strukturni material biološkega izvora (glej Sliko 32). Prvi presevek po kompostiranju nato v kompostarni vmešajo v še en cikel kompostiranja, kjer poteče razgradnja preostalega strukturnega materiala in končno ostane le nerazgradljiv odpad. Ta je predvsem sestavljen iz običajne plastike in drugih primesi, ki končajo na odlagališču odpadkov ali v sežigalnicah.



Slika 32: Graf masne bilance enega cikla industrijskega kompostiranja

4.1.4 Vpliv vrečk na industrijsko kompostiranje in uspešnost razgradnje

Delež vrečk v kompostu je bil velik (1 vrečka na približno 8 kg bioloških odpadkov) in posledično smo sklepali, da bi vrečke utegnile vplivati na postopek kompostiranja in obdelave bioloških odpadkov. V začetni fazi kompostiranja so vrečke opravljale tudi delno funkcijo strukturnega materiala, kar pozitivno vpliva na proces zaradi boljšega pretoka zraka in vode v kopici. Sam postopek kompostiranja vključuje veliko strojnega dela, od priprave kopice, premikanja le-te, mešanja, mletja in sejanja. Na vse te procese bi vrečke lahko negativno vplivale, saj bi se lahko ovijale okoli nožev in tako mašile stroje ali talne prezračevalne kanale, vendar nismo zaznali nobenega

negativnega vpliva na strojno opremo. S kopico, pripravljeno za naš test, ni bilo nobenega dodatnega dela, seveda če ne štejemo same predpriprave kompostne kopice, ko smo ročno odstranjevali neprimerne odpadke.

Poskus je potekal pod pogoji običajnega industrijskega kompostiranja in dal zelo dobre rezultate. Med testom so se vse vrečke, ki smo jih vstavili, razgradile in posledično kompost ni bil onesnažen z našimi vrečkami, kar je potrdilo moja pričakovanja.

4.1.5 Stroški kompostiranja naše kopice

Pri kompostiranju naše kompostne kopice nismo imeli dodatnih stroškov.

Za obdelavo naše kompostne kopice je bilo potrebno naslednje:

- stroj za obračanje JENZ MU 2000 – 4 ure,
- stroj za mletje WALLIBALD MZA 4600 – 4 ure,
- sejalni stroj FARWICK – 5 ur,
- kolesni nakladalnik CATERPILLAR 938 G – 18 ur.

Skupni stroški strojnega dela so znašali 1.245 €.

Prisotnost zaposlenih je bila potrebna za upravljanje strojev in nadzor postopka kompostiranja, tako da je v stroške potrebno vključiti tudi delovne ure zaposlenih. V ta strošek je všteto mletje in vnos materiala v tunel, prestavljanje gred, čiščenje kanalov, sejanje komposta ter čiščenje in nadzor vseh uporabljenih strojev. Skupno je bilo opravljenih 32 delovnih ur, kar pomeni 414 € stroškov za delo osebja.

Skupni stroški obdelave naše kopice so znašali 1.659 €, oziroma z vštetim 22 % DDV-jem 2.023,98 €.

4.2 Laboratorijski poskus kompostiranja vrečk iz biorazgradljive plastike

Industrijski postopek kompostiranja sem želela primerjati z laboratorijskim. Na Visoki šoli za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu imajo laboratorijski kompostnik, s katerim preizkušajo, kako se različni materiali obnašajo v kompostirnem okolju.

Laboratorijsko kompostiranje skuša posnemati pogoje in tehniko industrijskega kompostiranja. V majhen prenosni kompostnik lahko odlagamo gospodinske biološke odpadke, ki se veliko hitreje razgradijo v humusno snov, kot bi se sicer na vrtnem kompostu, saj poteka razkroj pod kontroliranimi pogoji. V ta E-kompostnik (Slika 33) znamke NatureMill smo vstavili moje vzorce in spremljali, kaj se dogaja z materialom.



Slika 33: Laboratorijski kompostniki, v katerih je potekalo kompostiranje

Kompostna celica je greta na 44 °C, kompost pa dosega temperature do 58 °C, kakor določajo standardi (Baljit S. in Sharma N., 2008). V kompostni komori je mešalo, ki v intervalih meša material in prezračevalni sistem. Za vzdrževanje primerne temperature majhne količine bioloških odpadkov je potreben grelec, saj bi material, kljub temu, da je komora zelo dobro toplotno izolirana, v nasprotnem primeru prehitro izgubljal toploto. Dno komore je sitasto, da višek vode odteka. Če se material prekomerno suši, je treba dodatno vlažiti.

Pri laboratorijskem kompostiranju kot cepič uporabimo zrel, vsaj dva tedna star kompost, ki mu primešamo delce materiala, ki ga želimo testirati. Odločili smo se, da bomo test izvedli po standardu za laboratorijsko kompostiranje polimernih materialov. Na podlagi debeline folije smo skladno s standardom, vrečko razrezali na kvadrate površine 4 cm² in jih primešali kompostu. Po vzpostavitvi laboratorijskega kompostiranja smo spremljali postopek razgradnje naših vzorcev in na podlagi rezultatov določili hitrost razkroja vzorcev.

Na Sliki 33 vidimo še prisotne delce plastike, vendar so ti že očitno zmanjšani. Po 12 tednih vzorcev nismo več zaznali v kompostu.



Slika 34: Prikaz celice laboratorijskega kompostiranja biorazgradljivih plastičnih vrečk po 9 tednih poskusa

Menim, da sta poskusa laboratorijskega in klasičnega industrijskega kompostiranja do določene mere primerljiva in dobro kažeta potek biorazgradnje kompostiranih vrečk. Po hitrosti in učinkovitosti razgradnje sta skoraj enaka, čeprav je v laboratorijskem kompostiranju mešanje mnogo bolj pogosto (vsako uro), temperatura je zelo konstantna in ni odvisna od mikrobiološke aktivnosti in sušenje je bolj poudarjeno, zato je treba pogosteje vlažiti. Laboratorijsko kompostiranje ima prednost v tem, da je količina materiala, ki jo potrebujemo za izvedbo poskusa, veliko manjša v primerjavi s kompostiranjem v industrijskem okolju. Zagotovo pa laboratorijski poskus ne razkrije možnih negativnih vplivov na strojno opremo v kompostarni. Vsak način kompostiranja ima svoje prednosti in najbolj podrobne rezultate dobimo, če ju delamo vzporedno.

4.3 Primer dobre prakse zbiranja bioloških odpadkov v občini Piran

V Sloveniji smo identificirali zgolj en obstoječi sistem zbiranja bioloških odpadkov z vrečkami iz kompostirne plastike, in sicer v mestni občini Piran. Za komunalne storitve v občini Piran skrbi Javno podjetje Okolje Piran d. o. o., ki oskrbuje 17.560 prebivalcev. Uvedli so zelo sistematičen in urejen odvoz in zbiranje ločenih frakcij odpadkov, tudi bioloških.

Mestna občina Piran je posebna, saj spada med najmanjše občine v Sloveniji, hkrati pa zberejo velike količine odpadkov, velik del odpadkov izvira iz turistične dejavnosti. Zbiranje bioloških odpadkov zahteva posebno skrb, saj ti vsebujejo veliko količino vode, ki lahko izteka iz vrečk, hkrati pa sproščajo neprijetne vonjave in omogočajo razvoj raznih organizmov, na primer žuželk in črvov. Zaradi geografske lege mesta Piran in oteženega dostopa smetarskega kamiona do hiš, so razvili poseben sistem zbiranja bioloških odpadkov, pri katerem uporabljajo 10-litrne biorazgradljive vrečke, vstavljene v posebne košare. V mestu Piran zbirajo biološke odpadke po sistemu od vrat do vrat trikrat tedensko. Izven mesta biološke odpadke zbirajo na ekoloških otokih, kamor jih prebivalci pripeljejo ravno tako zbrane v biorazgradljivih vrečkah. Takšen sistem so uvedli že leta 2006 in ga s časom razvijali do sedanje oblike. Podjetje letno razdeli 144 vrečk vsakemu posameznemu gospodinjstvu, po potrebi pa lahko občani dobijo dodatne vrečke.

Kljub temu, da se v občini Piran trudijo zagotoviti dobro ločene frakcije odpadkov, so identificirali nekaj težav. Eden izmed razlogov za slabo kakovost vstopnih materialov so turisti, ki odlagajo mešane odpadke v naključne zabojnike, prav tako pa določen del prebivalcev še vedno ne ločuje, najslabše rezultate so zaznali v večstanovanjskih zgradbah. Kot dodaten razlog za slabo ločene frakcije navajajo tudi uporabo vrečk iz običajne plastike ko uporabnikom zmanjkajo kompostirne, kljub dejstvu da so jim na voljo dodatne vrečke.

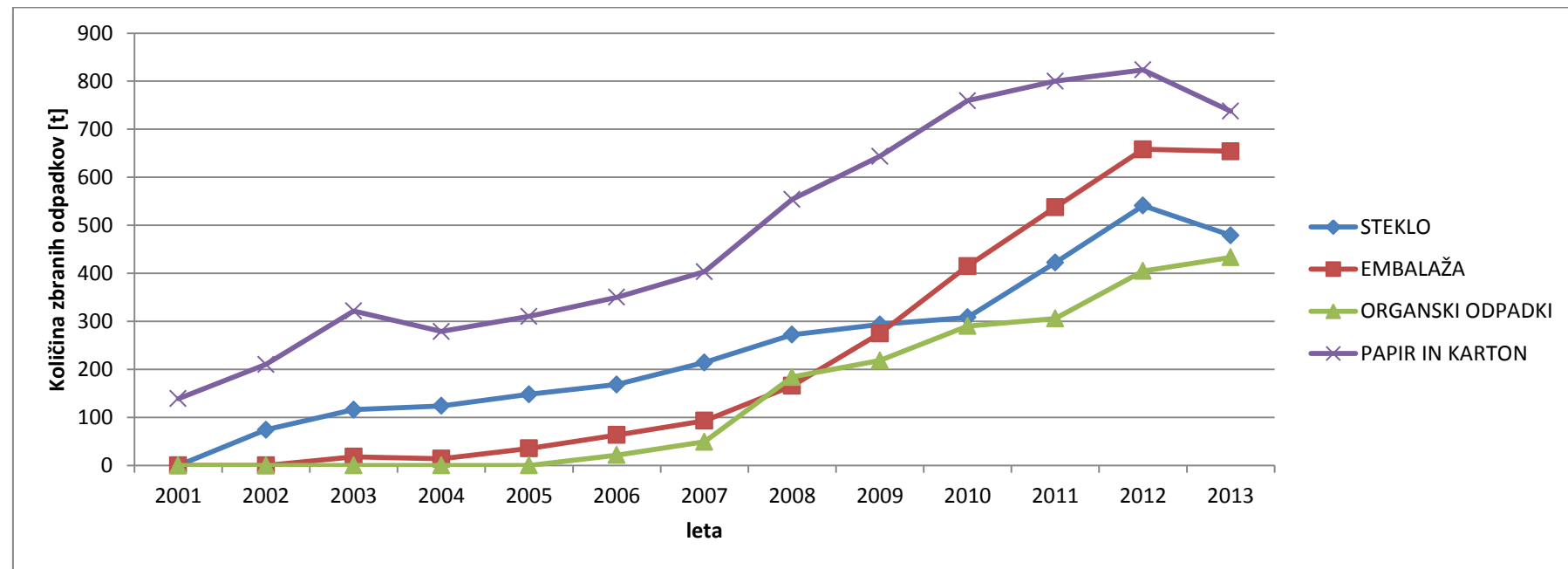
V podjetju Okolje Piran pozitivno ocenjujejo uvedbo biorazgradljivih vrečk, saj v primerjavi s papirnatimi vrečkami, preprečujejo odtekanje izcedne vode. Opazili so tudi, da imajo boljše ločevanje odpadkov kot v sosednjih občinah. V občini Piran količina ločeno zbranih odpadkov narašča predvsem na račun dostopnosti ekoloških otokov in vpeljanega sistema zbiranja odpadkov od vrat do vrat.

V Preglednici 2 in grafu (Slika 34) na naslednji strani lahko opazujemo letne količine ločeno zbranih frakcij. Opazimo lahko vsakoletni trend povečevanja količin vseh zbranih frakcij, torej lahko rečemo, da je učinkovitost ločevalnega sistema odpadkov v občini Piran zelo dobra. Količine zbranih bioloških odpadkov so v zadnjih 7 letih narasle za faktor 20 in pričakujejo, da se bodo v prihodnje še povečevale. Če primerjamo količino zbranih bioloških odpadkov v letu 2012 in 2013 vidimo, da je ta večja kar za 7 %. V podjetju menijo, da njihovi uporabniki ne bi samoiniciativno ločeno zbirali bioloških odpadkov, če njihovo podjetje ne bi redno delilo biorazgradljivih vrečk.

Deljenje biorazgradljivih vrečk predstavlja strošek, Okolje Piran ocenjuje da je dodaten letni strošek deljenja biorazgradljivih vrečk nekje 35.000 €, kar ni malo. Denar pa prihranijo na drugih postavkah. Ker odpadke predelajo in ne odlagajo, se izognejo plačilu stroškov za odlaganje odpadkov, ki znaša 135 €/t odloženih odpadkov, na ta račun prihranijo 58.000 € letno, kar povrne stroške za deljenje biorazgradljivih vrečk. Če bi biološke odpadke kompostirali, bi se stroškom za deljenje vrečk pridružili še stroški sprejema bioloških odpadkov od predelovalca. Ti znašajo okoli 80 €/t, kar bi za sprejem bioloških odpadkov iz občine Piran znašalo dodatnih 35.000 €. Skupno bi za kompostiranje porabili okoli 70.000 €, kar je več kot za odlaganje bioloških odpadkov. Kljub temu pa je iz ekološkega stališča kompostiranje boljše kot odlaganje, saj ima boljši učinek na okolje.

Preglednica 2: Pregled ločeno zbranih frakcij v občini Piran od leta 2001 do 2013 (Vir: Okolje Piran)

FRAKCIJA [t / leto]	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
STEKLO	/	74,1	115,9	123,9	147,9	168,2	214,3	272,2	293,3	308,3	422,2	540,8	479,1
EMBALAŽA	/	/	17,9	13,9	35,4	63,3	92,9	165,7	274,9	414,9	537,4	658,1	654,2
PAPIR IN KARTON	139,0	210,3	321,7	278,9	310,2	350,0	403,2	553,9	643,5	759,5	800,1	823,8	737,5
ORGANSKI ODPADKI	/	/	/	/	/	21,5	48,9	183,9	218,2	290,3	305,9	404,7	433,3
SKUPAJ LOČENE FRAKCIJE	139,0	284,4	455,5	416,7	496,1	610,6	768,5	1184,9	1429,2	1773,0	2065,6	2427,4	2304,1



Slika 35: Ločeno zbrane frakcije v občini Piran od leta 2001 do 2013

4.4 Prenos rezultatov poskusa na osrednjo Slovenijo

Podatke, pridobljene od podjetja Okolje Piran, sem želela razširiti na območje osrednje Slovenije. Zanimalo me je, kakšno količino biorazgradljivih vrečk bi porabilo eno večje komunalno podjetje in oceniti, kakšen strošek bi za njih predstavljalo deljenje biorazgradljivih vrečk. Okvirni izračun sem naredila za območje, ki ga oskrbuje Snaga d. o. o.

Javno podjetje Snaga d. o. o. oskrbuje s svojimi storitvami 10 občin v osrednjem delu Slovenije (Snaga, 2014). Področje oskrbovanja zavzema 380.000 prebivalcev, od katerih je zbiranje bioloških odpadkov omogočeno pri 360.000 prebivalcih, saj imajo ostali večinoma domače kompostnike. V letu 2013 je podjetje zbralo skoraj 20.000 t bioloških odpadkov. Bioloških odpadkov ne vozijo v kompostarno, ampak jih anaerobno predelajo v bioplinarni.

Podatke, pridobljene od Okolja Piran, sem ekstrapolirala na podatke, pridobljene od podjetja Snaga. Primerjala sem celotno količino zbranih bioloških odpadkov, količino zbranih bioloških odpadkov na osebo in stroške, nastale zaradi deljenja kompostirnih vrečk. Primerjava podatkov je prikazana v Preglednici 3.

Preglednica 3: Primerjava stroškov za komunalni podjetji Okolje Piran in Snaga

	OKOLJE PIRAN	SNAGA D. O. O.
Število prebivalcev	17.560	360.000
Ocenjeno število gospodinjstev (število prebivalcev/2,5) *	7.024	144.000
Zbrani biološki odpadki v letu 2013 (t)	433	20.000
Zbrani biološki odpadki/osebo	0,025	0,056
Število razdeljenih vrečk (št. gospodinjstev x 144)	1.011.456	20.736.000
Strošek za vrečke (št. vrečk x 0,03 €) **	30.343	622.080
Stroški odlaganja (135 €/t)	58.455	2.700.000
Stroški sprejema odpadkov za kompostiranje (80 €/t ***)	34.640	1.600.000
Cena kompostiranja	64.983	2.222.080
Odlaganje / kompostiranje	0,899	1,215

* faktor 2,5 predstavlja povprečno število članov v gospodinjstvu (Vir: SURS)

** cena ene vrečke (Vir: spletne trgovine za veleprodajo)

*** uporabljen uradni cenik CRO Vrhnika (Vir: <http://www.crovrhnik.si/ceniki/>)

Prvi podatek vreden omembe je količina zbranih bioloških odpadkov na osebo. Podjetje Snaga zbere dvakrat več bioloških odpadkov na osebo kot Okolje Piran. Razlog za to je najverjetneje dejstvo, da Snaga pokriva bolj urbano okolje, kjer prebivalci predelajo doma manj bioloških odpadkov.

Primerjamo lahko ceno odlaganja bioloških odpadkov in kompostiranja. Za obe komunalni podjetji sem preračunala strošek odlaganja bioloških odpadkov in strošek nakupa vrečk ter sprejema odpadkov v kompostarni.

Podjetje Okolje Piran bi za odlaganje bioloških odpadkov porabilo okoli 58.000 €, kar je nekoliko manj, kot znaša strošek oddaje odpadkov v kompostarno in strošek nakupa

kompostirnih vrečk (65.000 €). Žal nimam informacije, kolikšna je cena oddaje bioloških odpadkov v anaerobno predelavo. Ob upoštevanju uporabljenih cen za Okolje Piran kompostiranje ni cenovno najbolj ugoden način obdelave bioloških odpadkov, vendar ne smemo zanemariti okoljskega učinka. Kompostiranje je zagotovo okoljsko bolj sprejemljivo kot odlaganje, saj ima manj negativnih vplivov na okolje.

Odlaganje vseh bioloških odpadkov za področje oskrbovanja Snage bi znašalo 2.700.000 €. Po podatkih SURS-a, obsega povprečno gospodinjstvo 2,5 člana, torej ocenjujem, da Snaga na območju osrednje Slovenije oskrbuje 144.000 gospodinjstev. Strošek deljenja biorazgradljivih vrečk bi po vzorcu iz Okolja Piran, za območje oskrbovanja Snage znašal okrog 622.080 €. Temu strošku moramo prišteti tudi strošek oddaje bioloških odpadkov predelovalcu. Ta znaša 80 €/t, kar pomeni, da bi Snaga za sprejem bioloških odpadkov v kompostiranje morala plačati 1.600.000 €. Skupni strošek za kompostiranje bi tako znašal 2.222.080 €. Poleg vseh okoljskih prednosti kompostiranja bi podjetje Snaga imelo tudi ekonomske prihranke.

Stroškovno med tema dvema načinoma ravnanja z biološkimi odpadki ni velikih razlik. Kakor koli pa ima kompostiranje manjši negativen vpliv na okolje, saj z njim ne polnimo odlagališč, pridobimo gnojilo za rastline in zmanjšamo izpust toplogrednih plinov. Pri aerobni razgradnji nastaja CO₂, ki sicer je toplogredni plin, vendar pa pri odlaganju zaradi anaerobnih pogojev vedno nastaja CH₄, ki ni v celoti zajet v zajemu plinskih izpustov iz odlagališč. Metan ima kar 23-krat večji toplogredni učinek kakor CO₂ (Pančur K., 2009).

Ključni pozitivni učinek uporabe biorazgradljivih plastičnih vrečk je, da uporabnikom olajšajo zbiranje bioloških odpadkov in tako povečajo njihovo pripravljenost sodelovati v sistemu ločenega zbiranja. Italijanske izkušnje (Garaffa C. in Giavini M., 2010) kažejo, da se z uporabo namenskih kompostirnih plastičnih vrečk poveča kakovost zbranega materiala v smislu, da vsebuje manj odpadkov, ki niso biološkega izvora. Rezultat so torej večje količine bolj čistega materiala, kar neposredno zmanjša izločeni presevek, preko katerega gre del bioloških odpadkov na odlagališča, poveča se proizvodnja komposta, storilnost kompostarne in v kompostu je pričakovati manj nerazgradljivih primesi. Kompostirne vrečke se v celoti biorazgradijo, torej je tudi vsebina vrečk zagotovo vključena v proces kompostiranja. V primeru odloženih bioloških odpadkov v običajni plastični vrečki lahko pride do tega, da se vrečka pri mletju ne raztrga, material v njej pa tako ni vključen v kompostiranje.

OPOMBA: Preračun je narejen zgolj informativno za potrebe diplomske naloge. Pri preračunu nisem upoštevala stroška anaerobne predelave bioloških odpadkov, ker nikjer nisem dobila natančnih cen prevzema bioloških odpadkov v bioplinarni. Cene, uporabljene v Preglednici 3, so pridobljene na spletnih straneh, ocena o številu gospodinjstev je informativna, saj sem uporabila statistične podatke. V preračunu sem uporabila ceno odlaganja bioloških odpadkov ki sem jo dobila od Okolja Piran in ne velja nujno tudi za podjetje Snaga.

5 ZAKLJUČKI

V okviru diplomske naloge sem preverjala vpliv vrečk iz biorazgradljive plastike na celotni postopek industrijskega kompostiranja. Med postopkom kompostiranja sem spremljala tehnološke postopke, kot so prestavljanje, mletje in sejanje kompostne kopice ter razgradnjo vrečk. Na koncu sem ocenila vpliv vrečk na kakovost komposta in količino prvega presevka. Industrijsko kompostiranje sem nato primerjala z laboratorijskim. Dobro uveljavljeno prakso zbiranja bioloških odpadkov v občini Piran sem prenesla na območje osrednje Slovenije in primerjala stroške kompostiranja in odlaganja bioloških odpadkov.

Po zaključenem poskusu ugotavljam, da množična uporaba vrečk iz kompostirne plastike nima negativnega vpliva na postopek industrijskega kompostiranja. Prav tako smo z analizo komposta ugotovili, da njihova uporaba nima nikakršnega negativnega vpliva na njegovo kakovost. Res pa je, da smo pri iskanju naših vrečk imeli nekaj težav z njihovim prepoznavanjem. Gotovo bi bilo bolje, če bi bile kompostirne vrečke živih barv (npr. rdeče barve), saj bi jih na takšen način lažje ločili od ostalih plastičnih vrečk.

Največjo prednost in smisel ima uporaba biorazgradljivih plastičnih vrečk za zbiranje bioloških kuhinjskih odpadkov, zato bi bilo treba začeti prav na tem področju. Prebivalcem je treba predstaviti pomen in prednosti, ki jih ima uporaba takšnih vrečk. Menim, da je ozaveščenost ljudi trenutno najbolj odvisna od služb za ravnanje z odpadki in od okoljevarstvenih organizacij. Potrebno bi pa bilo postopanje na državni in zakonski stopnji. Zgledujemo se lahko po italijanskih in gotovo še mnogih drugih regijah po svetu, ki imajo uzakonjeno uporabo biološko razgradljivih vrečk za odlaganje kuhinjskih odpadkov. V plačevanju glob za nepravilno odlaganje ljudje ne vidijo smisla, zato se raje držijo pravil in zakonov, hkrati pa pripomorejo k čistejšemu okolju in zmanjšanju nastanka dolgoživih odpadkov.

Dober primer ravnanja z biološkimi odpadki je uveljavljen v občini Piran, kjer prebivalcem komunalno podjetje razdeli vrečke iz kompostirne plastike. Če takšna praksa dobro uspeva v obsegu manjše občine, menim, da bi se obnesla tudi na večjem območju Slovenije. V primeru kompostiranja tako zbranih bioloških odpadkov je pa potrebno paziti, da jih ne bi mešali z biološkimi odpadki, ki so bili zbrani na običajen način, na primer v drugih občinah. Ti biološki odpadki bi namreč vsebovali nečistoče in bi posledično pri kompostiranju še vedno vsebovali delež presevka.

Danes med biološkimi odpadki najdemo velik delež običajne plastike, ki poveča delež presevka in količina, ki konča na odlagališčih, ali kot alternativno gorivo predstavlja tudi več kot 25 % končne mase kompostne kopice. Razumeti moramo, da takšna kontaminacija komposta z navadno plastiko ne le poveča deleža izmeta in stroškov, ki ga imamo posledično z njegovim odlaganjem, ampak je količina izmeta tudi po nepotrebnem vključena v proces kompostiranja. Neželene primesi ravno tako porabljajo energijo, delo in prostor v kompostarni, vendar iz njih ne pridobimo tržnega izdelka in predstavlja to nepotreben strošek za kompostarno. Poleg tega lahko fragmenti konvencionalne plastike onesnažijo končni kompost, kar mu zmanjša kakovost in tržno vrednost. Pozitivno pri uporabi kompostirnih vrečk je tudi to, da se bo z razgradnjo vrečk gotovo kompostirala tudi njihova vsebina, česar ne moremo trditi pri uporabi navadnih plastičnih vrečk.

Menim, da je ključni dejavnik zmanjšanja količine presevka, izboljšanje ločevanja odpadkov, kar pa se dogaja na samem viru nastanka odpadka. To je možno storiti le z večjo ozaveščenostjo ljudi o problematiki odlaganja običajne plastike skupaj z biološkimi odpadki in boljšim nadzorom samega ločevanja pri viru. Nekaterim ljudem predstavlja nakup vrečk iz biorazgradljive plastike nesprejemljiv strošek, zato bi bilo smiselno uvesti minimalni dodatek pri smetarini, ki bi ga komunalno podjetje lahko uporabilo za razdeljevanje vrečk svojim oskrbovancem.

Biološki odpadni material s takšno prakso ne bi bil onesnažen že na začetku z običajno plastiko, kar bi izboljšalo postopek industrijskega kompostiranja in posledično presevka za odlaganje sploh ne bi bilo. Odlaganje na odlagališčih predstavlja tudi veliko breme za okolje, saj so obstoječa odlagališča vedno bolj polna, ustreznih lokacij za nova pa skorajda ne najdemo več. Hkrati pa s prevozom na odlagališča in odlaganjem povzročamo onesnaževanje zraka z izpušnimi plini motornih vozil in toplogrednimi plini iz odlagališč. Kljub temu, da je v nekaterih primerih odlaganje cenovno bolj ugodno kot kompostiranje, moramo pri odločanju glede ravnanja z biološkimi odpadki upoštevati okoljski vidik in prednosti, ki jih kompostiranje ima.

S povečanim povpraševanjem po biorazgradljivi plastiki obstaja možnost predelave biorazgradljive plastike tudi na območju Slovenije. Trajnostni način pridobivanja surovin in izdelovanja materiala bi lahko prinesel nova delovna mesta, možnosti mednarodnega poslovanja in trgovanja ter čistejše okolje.

6 VIRI IN LITERATURA

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2014. Seznam predelovalcev biološko razgradljivih odpadkov v kompost.

URL: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/odpadki/podatki/predelovalci%20biolo%C5%A1ko%20razgradljivih%20odpadkov%20v%20kompost%2030052014.pdf> (pregledano 14. julij 2014)

American Society for Testing and Materials (ASTM).

URL: <http://www.astm.org/Standards/D6400.htm> (pregledano 7. avgust 2014)

Baljit S., Sharma N. 2008. Review article - Mechanistic implications of plastic degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 93: 561-584

Bilitewski B., Härdtle G., Marek K. 1997. Waste management. Berlin, Springer.

URL: <http://books.google.si/books?id=7NPRa4rBMSkC&pg=PA219&lpq=PA219&dq=dynacomp+composting&source=bl&ots=mnf5fKebC6&sig=jpmpCcETcWHLrZS0bFIAd9sgjY&hl=en&sa=X&ei=izy9U8fSHaf8ywPir4LwBw&ved=0CB8Q6AEwAQ#v=onepage&q&f=false> (pregledano 9. julij 2014)

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V., 2013. Activity report 2013.

URL: http://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/2010/08/Activity-report-BGK_2013.pdf (pregledano 11. julij 2014)

Del Nobile M. A., Buonocore G. G., Incoronato A. L., Massaro A., Panza O. 2009. Active packaging by extrusion processing of recyclable and biodegradable polymers. *Journal of Food Engineering*, 93: 1-6

Engineered Compost Systems, Inc.

URL: <http://www.compostsystems.com/systems/cv-composter> (pregledano 16. avgust 2014)

European Bioplastics.

URL: <http://en.european-bioplastics.org/bioplastics/> (pregledano 5. avgust 2014)

URL: <http://en.european-bioplastics.org/technologymaterials/materials/> (pregledano 5. avgust 2014)

URL: <http://en.european-bioplastics.org/market/> (pregledano 5. avgust 2014)

URL: <http://en.european-bioplastics.org/market/applications/> (pregledano 5. avgust 2014)

EUROVIX, Biotechnologie per la vita.

URL: http://eurovix.it/campo_di_utilizzo/linea-discariche-e-compostaggio/ (pregledano 5. oktober 2014)

Garaffa C. 2012. The Advantages of Compostable Bags for Food Waste Collection. Orbit, ECN News

Garaffa C., Breton T. 2011. Italy's pioneering approach to food waste. *Organics Recycling*, Autumn 2011: 26-27

Garaffa C., Giavini M. 2010. Intensive Source Separated Organics. *BioCycle*, April 2010

Ghanbarzadeh B., Almasi H. 2013. Biodegradable Polymers, Biodegradation - Life of Science, Dr. Rolando Chamy (ed.). Rijeka, InTech.

URL: <http://www.intechopen.com/books/biodegradation-life-of-science/biodegradable-polymers> (pregledano 11. avgusta 2014)

Gómez Brandón M., Fernandez-Delgado Juarez M., Insam H., Dominguez J. 2013. Animal Manures: Recycling and Management Technologies, Biomass Now - Cultivation and Utilization, Dr. Miodrag Darko Matovic (ed.). Rijeka, InTech.

URL: <http://www.intechopen.com/books/biomass-now-cultivation-and-utilization/animal-manures-recycling-and-management-technologies> (pregledano 10. avgusta 2014)

Groupe Commercial Paul Larouche.

URL: <http://www.compost-gcpl.com/modeles-de-composteurs-rotatifs-industriels/> (pregledano 16. avgust 2014)

Hogg D., Favoino E., Nielsen N., Thompson J., Wood K., Penschke A., Economides D., Papageorgion S. 2002. Economic Analysis of options for managing biodegradable municipal waste. Final report to the European Commission.

URL: http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/pdf/econanalysis_finalreport.pdf (pregledano 13. julij 2014)

Husić V. 2013. Kompostiranje oljčnih tropin. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Ljubljana.

Jang J. C., Yoon J. S., Lee I. M., Lee H. S., Kim M. N. 2002. Glucose effect on the biodegradation of plastics by compost from food garbage. *Polymer Degradation and Stability*, 76: 155-159

Komisija Evropskih skupnosti. 1999. Direktiva Sveta 1999/31/ES z dne 26. aprila 1999 o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Bruselj.

URL: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:4435e426-04b3-4129-850d-a99eb3805506.0001.01/DOC_15&format=PDF (pregledano 14. julij 2014)

Komisija Evropskih skupnosti. 2008. Zelena knjiga o ravnanju z biološkimi odpadki v Evropski uniji. Bruselj.

URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:SL:PDF> (pregledano 14. julij 2014)

Kovačič J. 2009. Kompostiranje pozno košenega barjanskega sena in prašičje gnojevke. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Ljubljana.

Kovačič Viler A. 2001. Ravnanje z odpadki. Ljubljana, GV Založba.

Kržan A. 2012. Biorazgradljivi polimeri in plastika. Ljubljana, PLASTiCE.

URL: <http://www.plastice.org/sl/publikacije/> (pregledano 16. avgust 2014)

Körner I., Redemann K., Stegmann R. 2005. Behaviour of biodegradable plastics in composting facilities. *Waste Management*, 25: 409-415

Leejarkpai T., Suwanmanee U., Rudeekit Y., Mungcharoen T. 2011. Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. *Waste Management*, 31: 1153-1161

Managing municipal solid waste – a review of achievements in 32 European countries. 2013. Copenhagen, European Environment Agency. Str.: 15-18

Mühl S., Beyer B. 2014. Bio-Organic Eletronics – Overview and Prospects for the Future. *Electronics*, 3: 444-461

National Quality Assurance Sistem. 2011. Compost production and cost in Europe, Annex 1-7.

URL: http://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/2011/06/Annex1-7_Compost-production-and-use-in-Europe.pdf (pregledano 12. julij 2014)

Pančur K. 2009. Vpliv podnebnih sprememb na nastanek naravnih nesreč. Diplomsko delo. Univerza v Mariboru, Fakulteta za varnostne vede. Maribor.

PLASTiCE. 2012. Bioplastika – Priložnost za prihodnost. (zloženska).

URL: http://issuu.com/plasticeproject/docs/sl_bioplastics_final (pregledano 16. avgust 2014)

Projekt PLASTiCE.

URL: <http://www.plastice.org/sl/domov/> (pregledano 26. julij 2014)

URL: <http://www.plastice.org/sl/about-the-project/> (pregledano 26. julij 2014)

Radonjič G. 2008. Embalaža in varstvo okolja. Zahteve, trendi in podjetniške priložnosti. Maribor, Založba Pivec.

Rhyner C. R., Schwartz L. J., Wenger R. B., Kohrell M. G. 1995. Waste management and resource recovery. Boca Raton, Lewis Publishers.

SAI GLOBAL.

URL: <http://infostore.saiglobal.com/EMEA/Details.aspx?ProductID=1418390> (pregledano 7. avgust 2014)

Siracusa V., Rocculi P., Romani S., Dalla Rosa M. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19: 634-643

Snaga Javno podjetje d.o.o.

URL: <http://www.snaga.si/odvoz-odpadkov> (pregledano 20. september 2014)

Statistični urad Republike Slovenije, Podatkovni portal.

URL: http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/varval.asp?ma=2706101S&ti=&path=../Database/Okolje/27_okolje/02_Odpadki/01_27061_odvoz_odpadkov/&lang=2 (pregledano 9. julij 2014)

Statistični urad Republike Slovenije. Podatkovni portal SI_STAT.

URL: http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/27_okolje/02_Odpadki/01_27061_odvoz_odpadkov/01_27061_odvoz_odpadkov.asp (pregledano 14. julij 2014)

Štukl N. 2013. Zasnova metodologije za implementacijo mestnega kompostiranja na lokalni ravni v RS. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

Tölgyessy J., Piatrik M., Kontić B., Schmidt R., Szakál P. 2001. Solid Waste Chemistry and Management. Banska Bystrica, Pedagogická spoločnosť Jána Amosa Komenského.

Unmar G., Mohee R. 2008. Review - Assessing the effect of biodegradable and degradable plastics on the composting of green wastes and compost quality. *Bioresource Technology*, 99: 6738-6744

Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla, Ur. l. RS št. 84/2005
URL: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlurid=20053646> (pregledano 7. julij 2014)

Uredba o obdelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata, Ur. l. RS št. 99/2013
URL: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=115208> (pregledano 14. julij 2014)

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih, Ur. l. RS št. 61/2011
URL: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlurid=20112892> (pregledano 6. oktober 2014)

Uredba o odpadkih, Ur. l. RS št. 103/2011
URL: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=106484#!/Uredba-o-odpadkih> (pregledano 11. julij 2014)

Uredba o ravnanju z biološko razgradljivimi kuhinjskimi odpadki in zelenim vrtnim odpadom, Ur. l. RS št. 39/2010
URL: <http://www.uradni-list.si/1/content?id=97775> (pregledano 18. september 2014)

Vuk D. 1998. Ravnanje z odpadki biološkega izvora (skripta). Kranj, Moderna organizacija.

Williams P. T. 2005. Waste Treatment and Disposal – Second Edition. West Sussex, JOHN WILEY & SONS, Ltd.

Zakon o varstvu okolja, Ur. l. RS št. 92/2013
URL: [http://www.uradni-list.si/1/content?id=114980#!/Zakon-o-spremembah-in-dopolnitvah-Zakona-o-varstvu-okolja-\(ZVO-1F\)](http://www.uradni-list.si/1/content?id=114980#!/Zakon-o-spremembah-in-dopolnitvah-Zakona-o-varstvu-okolja-(ZVO-1F)) (pregledano 7. julij 2014)

Zupančič K. 2007. Mehansko biološka obdelava odpadkov in možnosti njene uporabe v Sloveniji. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Ljubljana.

PRILOGE (ANNEXES)

PRILOGA 1

Seznam biološko razgradljivih odpadkov, ustreznih za predelavo v kompost, ki je proizvod ali digestat, ki je proizvod (Ur. l. RS, št. 99/2013)

Številka biološko razgradljivih odpadkov	Vrsta in opis biološko razgradljivih odpadkov	Podrobnejši opis biološko razgradljivih odpadkov	Opombe	Kompostiranje
02	ODPADKI IZ KMETIJSTVA, VRTNARSTVA, RIBOGOSTVA, GOZDARSTVA, LOVA IN RIBIŠTVA, PRIPRAVE IN PREDELAVE HRANE			
02 01	Odpadki iz kmetijstva, vrtnarstva, ribogostva, gozdarstva, lova in ribištva			
02 01 01	Mulj iz pranja in čiščenja	Npr. mulj, ki nastane pri proizvodnji sladkorne pese, krompirja in v drugih postopkih predelave zelenjave	Če je pranje potekalo brez uporabe kakršnih koli sintetičnih sredstev in dodatkov	DA
02 01 03	Odpadna rastlinska tkiva	Alge, ostanki krme, žetveni ostanki, pokošena trava, rastlinski odpadki iz kmetijstva, rastlinski deli naplavin, rastlinski odpadki biofilterskega materiala, slama, obrežno rastlinje, izrabljena zemlja rastlinskih tkiv kot kompost iz ločeno zbranih bioloških odpadkov, šota in lubje, morsko rastlinje		DA
02 01 06	Živalski iztrebki, urin in gnoj (tudi onesnažena slama) in ločeno zbrane industrijske odpadne vode, obdelane zunaj kraja nastanka	Živalski iztrebki, urin in gnoj, vključno s steljo (npr. slama, žagovina, lesni oblanci ali skobljan les) ter ostala živalska gnojila	ŽSP** Stelja ne sme vsebovati furnirja, premazov ali sredstev za zaščito	DA
02 01 07	Odpadki v gozdarstvu	Lubje	Ni dovoljeno, če vsebuje furnir, premaze ali sredstva za zaščito	DA
02 01 99	Drugi tovrstni odpadki	Porabljeni substrati za gojenje gob		DA
02 02	Odpadki iz priprave in predelave mesa, rib in drugih živil živalskega izvora			
02 01 99	Drugi tovrstni odpadki	Porabljeni substrat za gojenje gob		DA
02 03	Odpadki iz priprave in predelave sadja, vrtnin, žita, jedilnih olj, kakava, kave, čaja in tobaka; iz konzerviranja; iz proizvodnje kvasa in kvasnega ekstrakta, iz priprave in iz fermentacije melase			
02 03 01	Mulj iz pranja, čiščenja, lupljenja, centrifugiranja in ločevanja	Blato pri pranju, čiščenju, lupljenju, centrifugiranju in ločevanju pri pripravi in predelavi sadja, vrtnin, žita, jedilnega olja ter pri konzerviranju sadja in vrtnin	Samo če je pranje brez uporabe sintetičnih sredstev in dodatkov	DA
02 03 04	Snovi, neprimerne za uporabo ali predelavo	Moka s pretečenim rokom uporabe; razoljena belilna zemlja; fermentacijski ostanki iz proizvodnje encimov; žetveni ostanki; kvas in kvasu podobni ostanki; kokosova vlakna; ostanki melase; ostanki oljnih semen; ostanki proizvodnje krompirja, riža, koruze ali škroba; ostanki iz proizvodnje kave, čaja in kakava; ostanki iz		DA

		proizvodnje sadja, zelenjave in žita; ostanki iz postopka konzerviranja; ostanki iz proizvodnje začimb; lupine, prah lupin in žitni prah; tobačni prah in blato; živila s pretečenim rokom uporabe; uporabljeni filtri, diatomejska zemlja, aktivna zemlja, aktivno oglje; poškodovane serije cigaret (brez filtrov)		
02 04	Odpadki iz proizvodnje sladkorja			
02 04 03	Blato iz čiščenja industrijske odpadne vode na kraju nastanka	Mulj, ki nastanejo pri čiščenju sladkorne pese in ostalih stopnjah proizvodnega postopka	Samo če je pranje brez uporabe sintetičnih sredstev in dodatkov	DA
02 06	Odpadki iz pekarn in slaščičarn			
02 06 01	Snovi, ki so neprimerne za uporabo ali predelavo	Kruh in pecivo, ki jim je potekel rok uporabnosti, živila, ki jim je potekel rok uporabnosti, odpadno testo		DA
02 07	Odpadki iz proizvodnje alkoholnih in brezalkoholnih pijač (razen kave, čaja in kakava)			
02 07 01	Odpadki, ki nastanejo pri pranju, čiščenju in mehanskem drobljenju surovin	Odpadki pri pranju, čiščenju in mehanskem drobljenju surovin, ki nastajajo pri proizvodnji alkoholnih in brezalkoholnih pijač	Samo če je pranje brez uporabe sintetičnih sredstev in dodatkov	DA
02 07 02	Odpadki, ki nastanejo pri destilaciji žganih pijač	Tropine, sadje in krompirjeva kaša ter blato, ki nastane pri destilaciji žganih pijač		DA
02 07 04	Snovi, ki niso primerne za uporabo ali predelavo	Sadni sokovi in druge snovi, neprimerne za uporabo ali predelavo, in nastajajo pri proizvodnji alkoholnih in brezalkoholnih pijač; luščine, kal in prah slada, porabljeni hmelj, usedline in mulj iz pivovarn, mulj pri proizvodnji vina, jabolčna mezga, vinske usedline ter kvas, odpadne kvasine, aktivna zemlja, aktivno oglje		DA
03	ODPADKI IZ OBDELAVE IN PREDELAVE LESA TER IZ PROIZVODNJE IVERNih PLOŠČ IN POHIŠTVA IZ VLAKNIN PAPIRJA IN KARTONA			
03 01	Odpadki iz obdelave in predelave lesa ter proizvodnje ivernih plošč in pohištva			
03 01 01	Odpadno lubje in pluta ter odpadno lubje in les		Naravno lubje in nemešani proizvodi za nadaljnjo predelavo čistega lubja. Ni dovoljeno, če vsebuje furnirje, druge premaze ali sredstva za zaščito	DA
03 01 05	Žagovina, oblanci, sekanci, odrezki, les, delci plošč in furnir	Žagovina in lesna volna	Samo material iz neobdelanega lesa v lesnopredelovalni industriji. Nedovoljeno, če vsebuje furnirje, druge premaze ali sredstva za zaščito	DA
03 03	Odpadki iz proizvodnje in obdelave celuloze, papirja in kartona			
03 03 01	Odpadno lubje in pluta		Naravno lubje in les. Nedovoljeno, če vsebuje furnirje, druge premaze ali sredstva za zaščito	DA
03 03 08	Odpadki pri sortiranju papirja in kartona, namenjenega za recikliranje			DA
03 03 10	Vlakninski izvrški in mulj vlaknin,			DA

	polnil in premazov iz mehanske separacije			
03 03 11	Blato iz čiščenja industrijske odpadne vode na kraju nastanka, ki ni navedeno pod 03 03 10			DA
04	ODPADKI IZ INDUSTRIJE USNJA, KRZNA IN TEKSTILIJ			
04 02	Odpadki iz industrije tekstilij			
04 02 21	Opadna neobdelana tekstilna vlakna	Opadna celulozna vlakna, odpadna rastlinska vlakna in odpadna volna, ki nastaja pri proizvodnji tekstilij		DA
07	ODPADKI IZ ORGANSKIH KEMIJSKIH POSTOPKOV			
07 02	Odpadki iz proizvodnje, priprave, dobave in uporabe plastike, sintetične gume in umetnih vlaken			
07 02 13	Opadna plastika		Biološko razgradljiva embalaža in biološko razgradljiva plastika po standardu EN 13432/EN 14995 Za anaerobno obdelavo po standardu ISO 15985, ISO 11734 ali ISO 14853	DA
07 05	Odpadki iz proizvodnje, priprave, dobave in uporabe farmacevtskih proizvodov			
07 05 14	Trdni odpadki, ki niso navedeni pod 07 05 13	Opadna zelišča po ekstrakciji z vodo ali etanolom, pulpa iz zdravilnih rastlin, micelij		DA
15	ODPADNA EMBALAŽA; ADSORBENTI, ČISTILNE KRPE, FILTRIRNA SREDSTVA IN ZAŠČITNA OBLAČILA, KI NISO NAVEDENI DRUGJE			
15 01	Embalaža (vključno z ločeno zbrano odpadno embalažo, ki je komunalni odpadek)			
15 01 01	Papirna in kartonska embalaža			DA
15 01 02	Embalaža iz plastike		Embalaža iz biološko razgradljive plastike po standardu SIST EN 13432/EN 14995 Za anaerobno obdelavo po standardu ISO 15985, ISO 11734 ali ISO 14853	DA
15 01 03	Lesena embalaža			DA
15 01 05	Sestavljena (kompozitna) embalaža	Če gre za sestavljeno embalažo iz biorazgradljivih materialov, kakor so les, papir, slama in podobno		DA
16	ODPADKI, KI NISO NAVEDENI DRUGJE NA SEZNAMU			
16 03	Serije, ki ne ustrezajo opisom in nerabljeni proizvodi			
16 03 06	Organski odpadki, ki niso navedeni pod 16 03 05	Organski odpadki od neuspešnih proizvodnih serij, ki ne vsebujejo nevarnih snovi	Prehrambni odpadki s pretečenim rokom	DA
19	ODPADKI IZ NAPRAV ZA RAVNANJE Z ODPADKI, ČISTILNIH NAPRAV IN IZ PRIPRAVE PITNE VODE IN VODE ZA INDUSTRIJSKO RABO			
19 05	Odpadki iz aerobne obdelave trdnih odpadkov			
19 05 03	Kompost, ki ne ustreza specifikaciji	Preostanek presejanega komposta	Ostanek komposta pri sejanju, ki je bil proizveden iz odpadkov iz priloge 1	DA
19 06	Odpadki iz anaerobne obdelave trdnih odpadkov			
19 06 06	Digestat iz anaerobne obdelave živalskih in rastlinskih odpadkov		Digestat iz anaerobne obdelave materialov iz priloge 1	DA

20	KOMUNALNI ODPADKI (gospodinjski in njim podobni odpadki iz trgovine, industrije in javnega sektorja), VKLJUČNO Z LOČENO ZBRANIMI FRAKCIJAMI			
20 01	Ločeno zbrane frakcije (razen 15 01)			
20 01 01	Papir in karton	Opadni papir razen papirnih tapet ali papirja visokega sijaja		DA
20 01 08	Biološko razgradljivi kuhinjski odpadki iz gospodinjstev		Kompostiranje v skladu s to uredbo	DA
20 01 38	Les, ki ni naveden pod 20 01 37		Naraven les. Ni dovoljeno, če vsebuje furnir, premaze ali sredstva za zaščito lesa	DA
20 02	Odpadki z vrtov in parkov (vključno z odpadki s pokopališč)			
20 02 01	Biorazgradljivi odpadki	Rastlinski odpadki z vrtov in parkov, ribnikov, razen rastlin z roba cest		DA
20 03	Drugi komunalni odpadki			
20 03 02	Odpadki z živilskih trgov	Ločeno zbrani odpadki z živilskih trgov		DA

ŽSP** - živalski stranski proizvodi

PRILOGA 2

Seznam biološko razgradljivih odpadkov, ustreznih za predelavo v kompost ali digestat (Ur. l. RS, št. 99/2013)

Številka biološko razgradljivih odpadkov	Vrsta in opis biološko razgradljivih odpadkov	Podrobnejši opis biološko razgradljivih odpadkov	Opombe	Kompostiranje	Anaerobna razgradnja
02 04 02	Kalcijev karbonat, ki ne ustreza specifikaciji (saturacijski mulj)	Blato čistilnih naprav industrijske odpadne vode, razen blata čistilnih naprav za industrijske odpadne vode iz obratov za toplotno obdelavo odpadkov živalskega izvora, ki so uvrščeni med stranske živalske proizvode 1. in 2. kategorije, ter blata čistilnih naprav za industrijske odpadne vode klavnic		NE	DA
03 03 05	Mulj tiskarskih barv (razčrniljenje) iz recikliranja papirja	Če so izpolnjene zahteve za vnos blata čistilnih naprav v ali na tla, določene v predpisu, ki ureja uporabo blata iz komunalnih čistilnih naprav v kmetijstvu		DA	NE
03 03 07	Mehansko ločeni izvrški (rejekti) iz papirne kaše odpadnega papirja in kartona			DA	DA
03 03 09	Odpadni apneni mulj			DA	NE
04 01 06	Blato, ki vsebuje krom, zlasti iz čiščenja industrijske odpadne vode na kraju nastanka			NE	DA
04 01 07	Blato, ki ne vsebuje kroma, zlasti iz čiščenja industrijske odpadne vode na kraju nastanka			NE	DA
04 02 20	Blato iz čiščenja industrijske odpadne vode na kraju nastanka, ki ni navedeno pod 04 02 19			NE	DA
04 02 22	Odpadna obdelana tekstilna vlakna	Če ne vsebujejo odpadkov živalskega izvora, ki so uvrščeni med stranske živalske proizvode 1. in 2. kategorije		DA	DA
07 05 14	Trdni odpadki, ki niso navedeni pod 07 05 13	Pulpa iz zdravilnih rastlin, micelij, ostanki gobjih substratov in odpadni proteini, nastali pri proizvodnji, pripravi, dobavi in uporabi farmacevtskih proizvodov		DA	DA
08 04 10	Odpadna lepila in tesnilne mase, ki niso navedeni pod 08 04 09*	Lepila in tesnilne mase organskega izvora brez topil		NE	DA

08 04 12	Mulj lepil in tesnilnih mas, ki niso navedeni pod 08 04 11*	Lepila in tesnilne mase organskega izvora brez topil		NE	DA
08 04 14	Vodni mulj lepil tesnilnih mas, ki niso navedeni pod 08 04 13*	Lepila in tesnilne mase organskega izvora brez topil		NE	DA
17 02 01	Les	Les iz gradbenih materialov, če ne vsebuje premazov in lepil z nevarnimi snovmi		DA	NE
19 08 05	Blato iz čiščenja komunalnih odpadnih voda			DA	DA
19 08 12	Blato iz biološke obdelave industrijskih odpadnih voda, ki ni navedeno pod 19 08 11			NE	DA
19 08 14	Blato iz druge obdelave industrijskih odpadnih voda, ki ni navedeno pod 19 08 13			DA	DA
19 09 01	Trdni odpadki primarnih sit in filtrov			DA	DA
20 01 39	Plastika	Biološko razgradljiva plastika po standardu EN 13432/EN 14995 Za anaerobno obdelavo po standardu ISO 15985, ISO 11734 ali ISO		DA	DA
20 03 06	Odpadki iz čiščenja kanalizacije			NE	DA
20 03 07	Kosovni odpadki	Leseni kosovni odpadki, če ne vsebujejo premazov in lepil z nevarnimi snovmi		DA	NE

PRILOGA 3

Seznam podjetij, ki so pridobila okoljevarstveno dovoljenje za predelavo biološko razgradljivih odpadkov po postopku predelave R3 v kompostarni na podlagi 82. člena Zakona o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 39/06-ZVO-1-UPB1, 49/06-ZMetD, 66/06-OdlUS, 33/07-ZPNacrt 57/08 -ZFO-1A, 70/08 in 108/09), z navedbo vrst ter letnih dovoljenih količin predelave biološko razgradljivih odpadkov (ARSO, 2014)

Naziv in sedež podjetja	Lokacija naprave	Najvecja letna dovoljena količina predelave (v tonah)	Klasifikacijska številka odpadka	Veljavnost do
Saubermacher Slovenija d.o.o. Ulica Matije Gubca 2 9000 Murska Sobota	Kompostarna Žice; št.par. 492/2, 497/2; k.o. Žice;	1.930	02 01 01, 02 01 02, 02 01 03, 02 01 06, 02 01 07, 02 01 99, 02 02 01, 02 02 02, 02 02 03, 02 02 04, 02 02 99, 02 03 01, 02 03 04, 02 03 05, 02 03 99, 02 04 02, 02 04 03, 02 05 01, 02 05 02, 02 05 99, 02 06 01, 02 06 03, 02 07 01, 02 07 02, 02 07 04, 02 07 05, 02 07 99, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 03 03 02, 03 03 05, 03 03 07, 03 03 08, 03 03 09, 03 03 10, 03 03 11, 04 01 06, 04 01 07, 04 02 20, 04 02 21, 04 02 22, 07 05 14, 08 04 10, 08 04 12, 08 04 14, 16 03 06, 17 02 01, 19 06 04, 19 06 06, 19 08 05, 19 08 12, 19 08 14, 19 09 01, 19 09 02, 19 09 03, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 38, 20 01 39, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 04, 20 03 06, 20 03 07;	9. 11. 2019
Komunala Kranj d.o.o. Ulica Mirka Vadnova 1 4000 Kranj	Kompostarna Žice; št.par. 492/2, 497/2; k.o. Žice;	100	02 03 04, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02;	6. 3. 2018
Roks recikliranje d.o.o. 1000 Ljubljana – Špaja dolina 1290 Grosuplje		9.990	02 03 04, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 03 03 07, 03 03 11, 17 02 01, 19 08 05, 20 01 01, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 04, 20 03 06, 20 03 07;	9. 4. 2014
Roks recikliranje d.o.o. Kamnogoriška cesta 6 1000 Ljubljana – Stara Vrhnika		20.000	02 03 04, 03 01 01, 03 03 01, 03 03 07, 03 03 11, 07 05 14, 15 01 03, 17 02 01, 20 01 01, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 04, 20 03 06, 20 03 07;	28. 2. 2018
Kogal Karli Udovcic s.p. Proizvodnja - Trgovina - Storitve Vrbova pot 2 2212 Šentilj	Kompostarna št. par. 398/5, k.o. Ceršak; Občina Šentilj;	36.000	02 01 01, 02 01 03, 02 01 06, 02 01 07, 02 03 01, 02 03 04, 02 04 03, 02 06 01, 02 07 01, 02 07 02, 02 07 04, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 03 03 05, 03 03 07, 03 03 08, 03 03 09, 03 03 10, 03 03 11, 04 02 21, 04 02 22, 07 05 14, 15 01 01, 15 01 02, 15 01 03, 15 01 05, 16 03 06, 17 02 01, 19 06 06, 19 08 05, 19 09 01, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 38, 20 01 39, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 07;	15. 5. 2020
Kostak d.d. Leskovška cesta 2a 8270 Krško		10.000	02 01 01, 02 01 03, 02 03 01, 02 07 01, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 07 05 14, 16 03 06, 17 02 01, 19 06 04, 19 06 06, 19 08 05, 19 08 12, 19 08 14, 19 09 01, 19 09 02, 19 09 03, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 04, 20 03 06, 20 03 07;	27. 5. 2015
Center za ravnanje z odpadki Vrhnika d.o.o. Pot na Tojnice		10.000	02 01 01, 02 01 03, 02 01 06, 02 01 07, 02 02 01, 02 02 04, 02 03 01, 02 03 04, 02 03 05, 02 03 99, 02 04 02, 02 04 03, 02 05 02, 02 05 99, 02 06 01, 02 06 03, 02 07 01, 02 07 02, 02 07 04, 02 07 05, 02 07 99, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 03 03 02,	25. 6. 2021

40 1360 Vrhnika			03 03 05, 03 03 07, 03 03 08, 03 03 09, 03 03 10, 03 03 11, 04 01 06, 04 01 07, 04 02 20, 04 02 21, 04 02 22, 07 05 14, 08 04 10, 08 04 12, 08 04 14, 15 01 03, 16 03 06, 17 02 01, 19 06 04, 19 06 06, 19 07 03, 19 08 05, 19 08 09, 19 08 12, 19 08 14, 19 09 01, 19 09 02, 19 09 03, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 38, 20 01 39, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 04, 20 03 07;	
Luka Koper INPO d.o.o. Vojkovo nabrežje 38 6501 Koper		5.575	02 01 03, 02 01 07, 02 01 99, 02 03 01, 02 03 04, 02 03 05, 02 03 99, 02 04 03, 02 05 99, 02 06 01, 02 06 03, 02 07 01, 02 07 02, 02 07 04, 02 07 05, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 02, 03 03 07, 03 03 09, 03 03 11, 07 05 14, 19 08 05, 19 08 12, 19 08 14, 19 09 01, 19 09 02, 20 01 01, 20 03 02;	20. 11. 2016
Gramoz d.o.o Trimlini 2F 9220 Lendava		7.260	20 01 08, 20 02 01;	6. 12. 2016
Komunala Kranjska Gora d.o.o. Spodnje Rute 50 4282 Gozd Martuljek		350	19 08 05, 20 02 01;	7. 2. 2018
Humko d.o.o. Bled Sebenje 54 4260 Bled	Kompostarna Podnart 33a, št. par. 988/22, 854/5, 856, 857; vse k.o. Zaloše; občina Radovljica;	3.000	02 01 07, 20 02 01;	9. 9. 2018
KOCEROD, družba za ravljanje z odpadki d.o.o. Mislinjska Dobrava 108 A 2383 Šmartno pri Slovenj Gradcu		3.000	02 01 03, 02 01 07, 02 03 01, 02 03 04, 02 03 05, 02 03 99, 02 05 02, 02 06 01, 02 06 03, 02 07 01, 02 07 02, 02 07 05, 02 07 99, 03 01 01, 03 01 05, 03 03 01, 03 03 11, 04 01 07, 16 03 06, 17 02 01, 19 06 04, 19 08 05, 19 08 12, 19 08 14, 20 01 01, 20 01 08, 20 01 38, 20 02 01, 20 03 02, 20 03 06;	31.7. 2023