

Mogućnost smanjenja tokova biootpada

Dalmatinac, Arno

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:706471>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ARNO DALMATINAC

MOGUĆNOST SMANJENJA TOKOVA BIOOTPADA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2024.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 19. 07. 2024. u 9 sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, 05. 07. 2024.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Prof. dr. sc. Saša Korčić

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Aleksandra Anđić Vučković
- 2) Doc. dr. sc. Ivana Preseki
- 3) Doc. dr. sc. Vjekoslav Preseki

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

MOGUĆNOST SMANJENJA TOKOVA BIOOTPADA

KANDIDAT:
ARNO DALMATINAC



MENTOR:
PROF.DR.SC. ALEKSANDRA
ANIĆ VUČINIĆ

KOMENTOR:
DOC.DR.SC. IVANA
PRESEČKI

VARAŽDIN, 2024.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Mogućnost smanjenja tokova biootpada

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Prof.dr.sc. Aleksandre Anić Vučinić i Doc.dr.sc. Ivane Presečki.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 28.6.2024.

Arno Dalmatinac

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Mogućnost smanjenja tokova biootpada

pregledan anti-plagijat programskim paketom Turnitin te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 28.6.2024.

Prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

(Mentor)

(Vlastoručni potpis)

Zahvala

Iskreno se zahvaljujem mentorici Prof.dr.sc. Aleksandri Anić Vučinić i komentorici Doc.dr.sc. Ivani Presečki na nesebičnoj pomoći, savjetima i podršci na mom akademskom putu te pri izradi ovog diplomskog rada.

Neizmjerne sam zahvalan zaposlenicima Čistoće Varaždin, posebno mentoru Saši Aviroviću, na dobroj volji i bezbroj objašnjenja na mojih bezbroj pitanja.

Posebnu zahvalu upućujem mojim roditeljima, obitelji i prijateljima, na neizmornoj podršci, strpljenju i ljubavi bez kojih ništa od ovog ne bi bilo moguće!

Sažetak

Ime i prezime autora: Arno Dalmatinac

Naslov rada: Mogućnost smanjenja tokova biootpada

Ključne riječi: gospodarenje otpadom, biootpad, alternativne metode obrade

Gospodarenje otpadom predstavlja jedan od najvećih izazova suvremenog društva. Cilj je ovog rada prikazati različite alternativne metode zbrinjavanja biootpada te analizirati njihov utjecaj na sustav gospodarenja otpadom.

U radu su dane ključne informacije o biootpadu, od njegovog sastava, mogućih načina obrade te potencijala kao resursa. Opisano je trenutno stanje u Republici Hrvatskoj, s fokusom na obradi biootpada te aktualnim mjerama za poboljšanje stanja po tom pitanju. U nastavku su objašnjene metode za smanjenje biootpada koje su usko vezane uz prehrambene navike stanovništva, kao što je pravilno skladištenje hrane i ispravno tumačenje deklaracija na proizvodima. U radu se, također, opisuju metode obrade biootpada kao što je konvencionalno kompostiranje, bokashi kompostiranje, vermikompostiranje, te je pobliže analizirana mogućnost ugradnje drobilica za hranu kao načina obrade otpada od hrane u zgradama.

Analizirani su tehnički i ekonomski faktori ugradnje kuhinjskih drobilica za hranu te su uz pomoć MS Excela izrađena 3 modela, u ovisnosti o postotku korisnika zainteresiranih za ugradnju drobilica. Rezultat modela 1 pri 30% zainteresiranih korisnika pokazuje da se količina biootpada prikupljena kamionima godišnje smanji za 534 t, što rezultira godišnjem smanjenju troškova njegovog prikupljanja i zbrinjavanja od 56.358 €. Rezultat modela 2 pri zainteresiranosti za ugradnju drobilica od 40% pokazuje smanjenje količina biootpada od 720 t, rezultirajući uštedom na račun prikupljanja i zbrinjavanja biootpada od 75.144 €. Rezultat modela 3 koji pretpostavlja najveći interes za ugradnju drobilica od 60% pokazuje da će se količina biootpada smanjiti za 1068 t, čime Čistoća štedi 75.144 € na račun troškova sakupljanja i zbrinjavanja. Uz sufinanciranje projekta od strane Fonda od 40% očekuje se povrat investicije za 7 godina. Rezultati su prikazani grafički te je izveden zaključak s prijedlogom najoptimalnijeg smjera djelovanja.

Abstract

Name and surname of the author: Arno Dalmatinac

Paper Title: The possibility of reducing biowaste flows

Keywords: waste management, biowaste, alternative treatment methods

Nowadays, waste management represents one of the biggest challenges we face. The aim of this paper is to present various alternative methods of biowaste disposal and to analyze their impact on the waste management system.

Key information about biowaste is provided, including its composition, processing methods and potential as a resource. Current situation in the Republic of Croatia is further described, with emphasis on biowaste disposal strategies and current measures to improve the situation. The following sections describe methods for reducing biowaste that are closely related to the dietary habits of population, from proper food storage to correct interpretation of product labels. The processing methods are then described, including conventional composting, bokashi composting, vermicomposting, with the possibility of installing food waste grinders in apartment buildings being further analysed.

Technical and economic factors for the implementation of food waste grinders is further analysed, from which three models are created using MS Excel, each for different percentages of interested users. The result of Model 1, with 30% of users interested in food waste grinders installation, shows that the amount of bio-waste collected by trucks annually would be reduced by 534 tons, resulting in annual cost savings of €56.358 for its collection and disposal. The result of Model 2, with 40% interest in the installation of grinders, shows a reduction in bio-waste of 720 tons, resulting in savings of €75.144 for the collection and disposal of bio-waste. The result of Model 3, assuming the highest interest in the installation of grinders at 60%, shows that the amount of bio-waste would be reduced by 1.068 tons, saving €112.760 in collection and disposal costs. With 40% co-financing from the Fund, the investment payback period is expected to be 7 years. The results are presented graphically, and a conclusion is drawn with a proposal for the most optimal course of action.

Sadržaj

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Uvod..... | 1 |
| 2. | Općenito o otpadu..... | 3 |
| 2.1 | Gospodarenje otpadom..... | 4 |
| 2.2 | Gospodarenje otpadom kroz povijest..... | 6 |
| 2.3 | Odlagališta otpada..... | 7 |
| 3. | Biorazgradivi otpad..... | 9 |
| 4. | Obrada biootpada..... | 11 |
| 4.1 | Aerobna razgradnja..... | 11 |
| 4.2 | Anerobna razgradnja..... | 12 |
| 4.2.1 | Biosušenje..... | 12 |
| 5. | Trenutno stanje..... | 9 |
| 5.1 | Republika Hrvatska..... | 9 |
| 5.2 | Republika Hrvatska – količine generiranog otpada..... | 11 |
| 5.3 | Grad Varaždin – općenito o sustavu..... | 14 |
| 5.4 | Grad Varaždin – količine generiranog otpada..... | 18 |
| 6. | Metode sprječavanja nastanka biootpada..... | 19 |
| 7. | Metode obrade biootpada na mjestu nastanka..... | 21 |
| 7.1 | Kućno kompostiranje..... | 21 |
| 7.1.1 | Konvencionalno kompostiranje..... | 21 |
| 7.1.2 | Bokashi kompostiranje..... | 22 |
| 7.1.3 | Vermikompostiranje..... | 23 |
| 7.2 | Uređaji za obradu biootpada na mjestu nastanka..... | 24 |
| 7.2.1 | Drobnice za hranu..... | 24 |
| 7.2.2 | Električni kućni komposter..... | 26 |
| 8. | Smanjenje nastanka biootpada primjenom drobnica – grad Varaždin..... | 28 |
| 8.1 | Materijali i metode..... | 28 |
| 8.2 | Rezultati..... | 30 |
| 8.3 | Smanjenje biootpada u zgradama..... | 33 |
| 8.3.1 | Model 1..... | 35 |
| 8.3.2 | Model 2..... | 37 |
| 8.3.3 | Model 3..... | 39 |
| 8.4 | Smanjenje biootpada u kućanstvima..... | 41 |
| | Diskusija..... | 43 |
| 9. | Zaključak..... | 46 |

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 10. | Literatura..... | 47 |
| 11. | Popis slika..... | 50 |
| 12. | Popis tablica..... | 51 |

1. UVOD

U današnjem dinamičnom i tehnološki orijentiranom svijetu, sve veći porast stanovništva i životnog standarda dovodi do enormnog povećanja količina otpada. Svaki otpad, ukoliko se njime ne gospodari na odgovarajući način, može dovesti do trajnih oštećenja okoliša, a time i problema za same ljude. Jedan od velikih problema predstavlja biootpad, čije nepravilno odlaganje dovodi do ispuštanja procjednih tekućina u tlo te posljedično potencijalne kontaminacije podzemnih voda. U uvjetima bez kisika dolazi do stvaranja velikih količina metana, stakleničkog plina koji podržava efekt staklenika te je velikim dijelom odgovoran za klimatske promjene.

O biootpadu se u Hrvatskoj do prije 20ak godina jako malo razmišljalo. Uobičajena praksa je bila njegovo zbrinjavanje zajedno s miješanim komunalnim otpadom na većinski nesanitarnim odlagalištima, što je za sobom povlačilo gore navedene posljedice. Ulaskom u Europsku uniju RH se obvezala ispuniti ciljeve gospodarenja otpadom definirane direktivom 2006/12/EZ, koja je uspostavila okvir za gospodarenje otpadom u EU, stavljajući naglasak na hijerarhiju gospodarenja otpadom koja uključuje prevenciju, ponovnu uporabu, reciklažu, energetske uporabu i kao posljednju opciju, odlaganje otpada.

Kako je briga za okoliš uzimala maha, problematika biootpada se sve češće počela spominjati, zajedno s potencijalnim načinima rješavanja koji se grubo mogu podijeliti na aerobne i anaerobne te kućne i industrijske.

U Hrvatskoj biootpad sve češće predstavlja izazov za komunalne tvrtke, s jedne strane u vidu smanjenja nastanka koji se najviše tiče edukacije i implementacije posebnih načina obrade, a s druge strane po pitanju gospodarenja već nastalim biootpadom u sustavu. Biootpad ima jako visok udio vlage što zahtjeva dobro zabrtvljene kamione, a brza razgradnja i posljedično stvaranje neugodnih mirisa uvjetuju potrebu za učestalijim odvozom. Uz sve to potrebno je osigurati dodatne kante za odvojeno sakupljanje biootpada. Turističke sredine i stare gradske jezgre se često susreću s dodatnim problemima – ograničenošću

prostora za smještaj spremnika te velikom količinom generiranog otpada u kratkom vremenu.

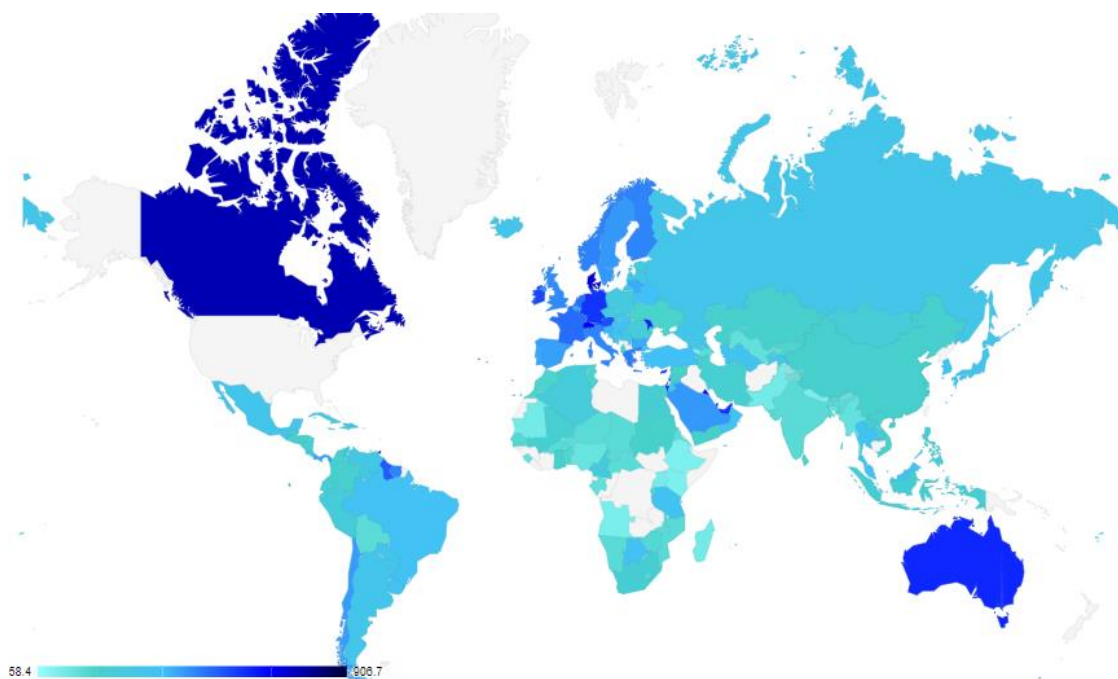
Uspostavu konkretnog sustava gospodarenja biootpadom još dodatno potiču politike i ciljevi Europske unije, koji uvelike ovise baš o ovoj vrsti otpada. Iz paketa mjera za smanjenje biootpada ističu se sufinanciranje projekata izgradnje postrojenja za njegovu obradu, nabava spremnika za njegovo sakupljanje, edukativne kampanje i slično.

Cilj ovog rada je analizirati moguće metode smanjenja biootpada na mjestu nastanka, povezane parametre, njihovu izvedivost u praksi, te konačno njihov utjecaj na sustav u cjelini. Kako bi se smanjili troškovi gospodarenja biootpadom, potrebno je smanjiti količinu otpada koja ulazi u sustav što se postiže edukacijom stanovništva te primjenom alternativnih metoda obrade biootpada. Edukacija uz dobro postavljen tehnički aspekt sustava predstavlja ključ uspješnog gospodarenja otpadom i zdravog okoliša.

2. OPĆENITO O OTPADU

Općenito, otpad je svaki predmet ili tvar koju posjednik (čovjek) odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [1], što znači da je otpad neizbježna posljedica svakodnevnih čovjekovih aktivnosti, bilo da je riječ o radnjama iz domaćinstva, industrije, turizma ili nekog drugog sektora. Svaki predmet koji se trenutno koristi će u nekom trenutku postati otpad koji je onda bitno zbrinuti na pravilan način.

Brzorastuće gospodarstvo, porast stanovništva i povećana potrošnja rezultiraju stvaranjem velikih količina otpada, što zahtijeva intenzivne napore kako bi se taj otpad i adekvatno zbrinulo. Otpad je izvrstan pokazatelj razvijenosti neke zemlje. Zemlje sa snažnim gospodarstvom i visokim životnim standardom proizvode 600 ili više kilograma otpada po stanovniku godišnje. Primjerice, prosjek u SAD-u je 941 kg/stanovniku godišnje. Naprednije zemlje u razvoju proizvode između 300 i 400 kilograma, dok ostale zemlje u razvoju proizvode između 200 i 300 kilograma (Kina). Ostale zemlje u prosjeku proizvode oko 150 kilograma po stanovniku godišnje [1]. Na slici 1 je vidljiva razlika u količinama generiranog otpada prikazana na karti.



Slika 1 – Proizvedeni komunalni otpad po državama [2]

Otpad se radi lakšeg opisivanja i upravljanja može podijeliti u nekoliko kategorija. Po nastanku, otpad može biti:

1. Komunalni otpad - „miješani komunalni otpad i odvojeno sakupljeni otpad iz kućanstava, uključujući papir i karton, staklo, metal, plastiku, biootpad, drvo, tekstil, ambalažu, otpadnu električnu i elektroničku opremu, otpadne baterije i akumulatorne te glomazni otpad, uključujući madrace i namještaj te otpad iz drugih izvora, ako je taj otpad po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, ali ne uključuje otpad iz proizvodnje, poljoprivrede, šumarstva, ribarstva i akvakulture, septičkih jama i kanalizacije i uređaja za obradu otpadnih voda, uključujući kanalizacijski mulj, otpadna vozila i građevni otpad“ [3].
2. Proizvodni otpad – otpad koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, a po sastavu i svojstvima se razlikuje od komunalnog otpada. Proizvodnim otpadom se ne smatraju ostaci iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača [3].

Miješani komunalni otpad je otpad nastao u kućanstvu, iz kojeg nikakvim posebnim postupcima nisu izdvojeni pojedini materijali [3].

Po svojim svojstvima, otpad može biti opasni, neopasni i inertni. Opasni otpad karakterizira barem jedno od opasnih svojstava (eksplozivnost, toksičnost, nadražujuće djelovanje...), dok neopasni nema nijedno takvo svojstvo [3]. Interni otpad je otpad koji ne prolazi kroz značajne fizikalne, kemijske ili biološke promjene te u okolišu ne predstavlja prijetnju za zdravlje ljudi i ostalih živih bića.

2.1 Gospodarenje otpadom

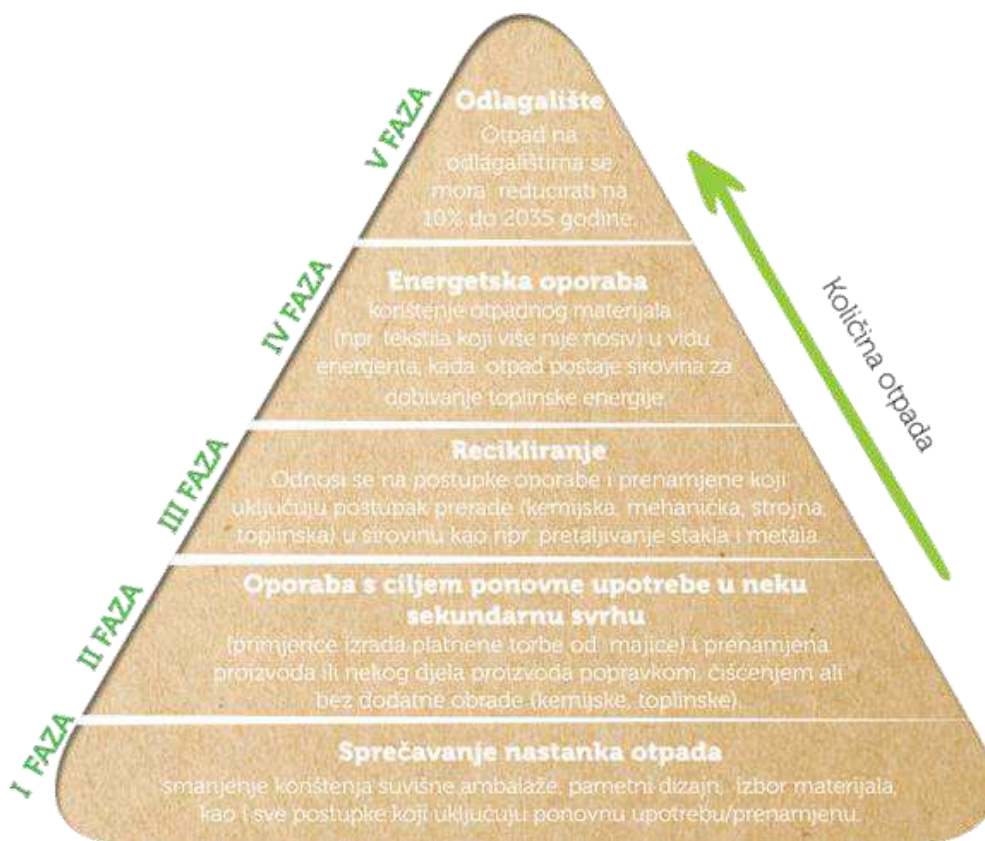
Gospodarenje otpadom je pojam koji podrazumijeva niz aktivnosti usmjerenih prema smanjenju količina i štetnog utjecaja, skupljanja, prijevoza, obrade i zbrinjavanja otpada [4]. Ako se otpadom ne upravlja pravilno, može doći do emisija u zrak, vodu i tlo, što štetno utječe na ljudsko zdravlje i okoliš kao cjelinu. Utjecaj ovisi o sastavu i količini otpada, a najviše o načinu upravljanja njime.

Čovjek gospodarenjem otpadom želi postići tri cilja:

1. Očuvanje vlastitog zdravlja
2. Očuvanje okoliša, čije zdravlje uvjetuje vlastito postojanje
3. Iskorištavanje vrijednih svojstava otpada

Pojam hijerarhije gospodarenja otpadom uveden je kako bi se definirali prioriteti u postupanju s otpadom, s ciljem smanjenja količina otpada koje završe na odlagalištima. Sastoji se od 5 faza koje su poredane po poželjnosti. Najpoželjnije je da se izbjegne nastanak nekog otpada, a kad se to dogodi nastoji se obraditi ga na prvi sljedeći za okoliš najprihvatljiviji način. Primjerice, otpad koji se više ne može reciklirati potrebno je energetski obraditi umjesto da ga se odloži na odlagalište.

Hijerarhija gospodarenja otpadom se prikazuje kao piramida (slika 2).



Slika 2 - Hijerarhija gospodarenja otpadom [5]

Najvažnija faza hijerarhije gospodarenja otpadom je sprečavanje nastanka otpada, što obuhvaća aktivnosti i radnje usmjerene prema smanjenju generiranog otpada. Obuhvaća

produljenje životnog vijeka proizvoda, smanjenje nepotrebne ambalaže, korištenje održivijih materijala te prenamjenu proizvoda koji time uopće ne bi postao otpad.

Druga faza je priprema za ponovnu upotrebu, a uključuje provjeru, popravak ili čišćenje proizvoda ili dijela proizvoda kako bi se bez dodatne predobrade mogao ponovno iskoristiti [6]. Primjerice, stara odjeća se može prenamjeniti u krpe za čišćenje.

Treća faza je recikliranje, a obuhvaća svaki postupak uporabe kojim se otpadni materijal prerađuje u proizvode, druge materijale ili sirovinu za ponovno korištenje ili uporabu [6]. Recikliranjem dolazi do dekategoriacije, odnosno gubitka statusa otpada recikliranog predmeta. Glavni ciljevi recikliranja su smanjenje upotrebe prirodnih resursa te smanjenje otpada koji se treba energetske obraditi ili ultimativno odložiti na odlagalištu. Obuhvaća mehaničku, toplinsku ili kemijsku obradu, kao što je pretaljivanje metala ili mljevenje PET plastike u granulatu iz kojeg će se kasnije moći proizvesti novi proizvod.

Četvrta faza je energetska obnova koja pretpostavlja korištenje otpada kao energenta. Najbolji primjer je energetska obnova odnosno spaljivanje otpada koji se ne može reciklirati te iskorištavanje dobivene topline za proizvodnju električne energije ili grijanje.

Peta i najmanje prihvatljiva faza je zbrinjavanje otpada na odlagalištima, a trebala bi se primjenjivati isključivo kad su iscrpljene mogućnosti iz prethodne četiri faze. Cilj Europske unije je da se do 2035. godine na odlagališta odlaže najviše 10% komunalnog otpada [7].

2.2 Gospodarenje otpadom kroz povijest

Na Knososu na Kreti zabilježen je prvi organizirani sustav gospodarenja otpadom, dok se u 5. st. pr. Kr. izgrađuje prvo odlagalište otpada za grad Atenu. Uvedena je uredba koja zabranjuje odlaganje otpada unutar 1500 metara od gradskih zidina, organizirajući istovremeno sakupljanje i transport otpada do odlagališta. [1].

Srednji vijek dobar je primjer potpune nebrige o otpadu i higijeni općenito. Otpad se izbacivao direktno na ulice gdje je dolazilo do njegovog nakupljanja i raspadanja, što je za posljedicu imalo pojavu zaraznih bolesti poput kuge, kolere i tifusa. Malo poboljšanje vidi se u godinama poslije industrijske revolucije, ali i dalje ni blizu kako bi trebalo biti. Praksa spaljivanja otpada

na otvorenom ili njegovog odlaganja u more je bila vrlo učestala. Tek nakon 1970. se stvari počinju kretati na bolje. Zbog značajnog onečišćenja zraka zabranjuje se nekontrolirano spaljivanje otpada na otvorenom te se zatvaraju spalionice. Zatvaranjem popunjenih odlagališta dolazi do nedostatka prostora za odlaganje otpada čime se nameće alternativa, recikliranje, koje postepeno zauzima prvenstvo u hijerarhiji gospodarenja otpadom.

Smanjenje opterećenja okoliša uz održavanje visokog životnog standarda jedan je od ključnih ekoloških izazova današnjice [3]. Aktivnosti na području zaštite okoliša i zbrinjavanja otpada sve se više spominju u svim sferama znanstvenog i društvenog djelovanja. Sve veći pritisak javnosti po pitanju zaštite okoliša utječe na povećanje troškova zbrinjavanja otpada potičući na taj način razvoj naprednijih i potencijalno jeftinijih tehnologija obrade. Istraživanjem i implementacijom efikasnijih i održivijih sustava za upravljanje otpadom sve više se napušta široko rasprostranjena i sada već tradicionalna praksa odlaganja otpada na odlagališta bez prethodne obrade. Umjesto toga se uvode napredne tehnologije obrade i iskorištavanja otpada. U posljednjem desetljeću pojavila se potreba za primjenom novih principa kao što su održivi razvoj, koji je danas integriran u razvojne strategije svih razvijenih država, te cirkularne ekonomije, koja promovira industrijsko gospodarstvo koje upravlja resursima na održiv način, produžuje životni vijek proizvoda, smanjuje proizvodnju otpada i koristi obnovljive izvore energije. [1]. Održivo prikupljanje i zbrinjavanje komunalnog otpada predstavlja ključni element europske strategije usmjerene prema kružnom gospodarstvu..

2.3 Odlagališta otpada

Direktiva o odlagalištima prepoznala je potrebu poduzimanja mjera za smanjenje generiranja metana na odlagalištima, između ostalog, radi smanjenja globalnog zatopljenja, i to smanjenjem odlaganja biorazgradivog otpada i uvođenjem sustava upravljanja i monitoringa odlagališnih plinova. Naime, sustav gospodarenja otpadom ima širok spektar utjecaja na sve sastavnice okoliša kao što je zagađenje tla, voda (površinskih i podzemnih) te zraka. Staklenički plinovi koji daju najveći doprinos globalnom zagrijavanju su ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4) i dušični oksidul (N_2O) od kojih metan i dušični oksidul imaju visoke potencijale globalnog zagrijavanja - 28 i 273 (eng. Global Warming Potential – GWP) [8]. Odlaganje miješanog komunalnog otpada, kao jedna od djelatnosti, predstavlja izvor emisija

metana (CH₄) i ugljikovog dioksida (CO₂) u atmosferu, do koje dolazi uslijed anaerobnih i aerobnih procesa razgradnje organskog otpada u odlagalištima.

Pretpostavlja se da odlagališta doprinose oko 5% ukupnim emisijama stakleničkih plinova [9].

Osnovna funkcija svakog odlagališta pa tako i bioreaktorskog je da tijekom eksploatacije spriječi negativan utjecaj otpada na zdravlje stanovništva i okoliš. Nakon zatvaranja, odlagalište mora u što kraćem roku postići stabilnost, odnosno odloženi materijal mora postati inertan kako bi se teren odlagališta mogao osloboditi za neku drugu namjenu bez opasnosti za zdravlje ljudi i ekosustav u cjelini.

Prema postojećoj zakonskoj regulativi Republike Hrvatske na odlagališta je dopušteno odlaganje samo prethodno obrađenog otpada što znači otpad iz grupe 19.

3. BIORAZGRADIVI OTPAD

Općenito, pod organskom tvari podrazumijeva se tvar koja sadrži C (ugljik) kao osnovnu gradivu komponentu nastalu iz živog organizma (biljke i životinje). Ciklus ugljika u prirodi jedan je od najvažnijih ciklusa.

U komunalnom otpadu nalazi se visoki udio organske tvari, a frakcije koje su organskog porijekla su otpad od hrane, papir i karton, tekstil, guma, koža, drvo i otpad od održavanja vrtova i parkova. U pravilu 70-80% komunalnog otpada je otpad koji je organskog porijekla [1]. Odvojenim prikupljanjem biootpada jedan dio ovog otpada ukloni se iz toka otpada dok 30-40% zaostane u miješanom komunalnom otpadu [10].

Zakonom o gospodarenju otpadom (ZGO) (NN 84/2021) biorazgradivi komunalni otpad je definiran kao otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede, šumarstva, a koji u svom sastavu sadrži biološki razgradiv otpad [3].

Biorazgradivi komunalni otpad uglavnom čine vrste otpada poput papira i kartona, biootpada, tekstila, drva i dr., koje bi u što većoj mjeri trebale biti odvojeno sakupljene iz komunalnog otpada i zbrinute na način koji bi omogućio postizanje cilja vezanog za odlaganje biorazgradivog komunalnog otpada, propisanog člankom 24. ZGO.

Biootpad je ZGO-m definiran kao biološki razgradivi otpad iz vrtova i parkova, hrana i kuhinjski otpad iz kućanstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. Prema Katalogu otpada komunalni biootpad obuhvaća sljedeća četiri ključna broja:

1. 20 01 08 (biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina);
2. 20 01 25 (jestiva ulja i masti);
3. 20 02 01 (biorazgradivi otpad iz vrtova i parkova) i
4. 20 03 02 (otpad s tržnica).



Slika 3 - biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina te vrtova i parkova [11]

4. OBRADA BIOOTPADA

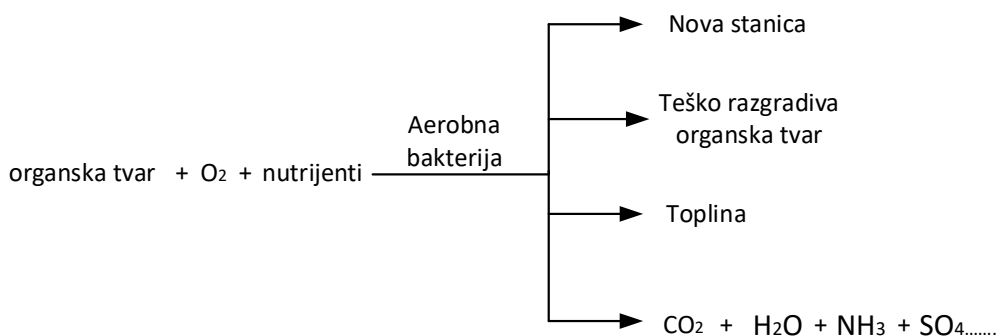
Obrada biootpada se po svojoj prirodi može podijeliti na dvije vrste – aerobnu i anaerobnu. Aerobna obrada, odnosno kompostiranje, se bazira na djelovanju mikroorganizama uz prisustvo kisika, pri čemu nastaju ugljikov dioksid i voda (vodena para), dok se anaerobna obrada provodi u izoliranim spremnicima, u odsustvu kisika, pri čemu nastaje metan koji se kasnije može koristiti kao pogonsko gorivo.

4.1 Aerobna razgradnja

Pri aerobnoj razgradnji nastaju nove stanice (biomasa), zaostaju teško razgradive tvari, CO₂ i H₂O i drugi mikroelementi te toplina. Aerobna obrada otpada primarno se provodi kako bi se postigla tri cilja:

1. Uklanjanje organske komponente koja potencijalno može, ukoliko je odložena na odlagalište, ući u anaerobni proces i kao rezultat anaerobnog procesa proizvesti metan koji se smatra stakleničkim plinom.
2. Uklanjanje organske komponente koje se zbog atmosferskih utjecaja (oborine) mogu otopiti u oborinskim vodama, ući u podzemne vode i onečistiti ih.
3. Uklanjanje organske komponente kako bi zaostala u najvećoj mjeri anorganska komponenta koja se može koristiti kao dodatak za obogaćivanje tla - kompost.

Shematski prikaz aerobne razgradnje vidljiv je na slici 4.

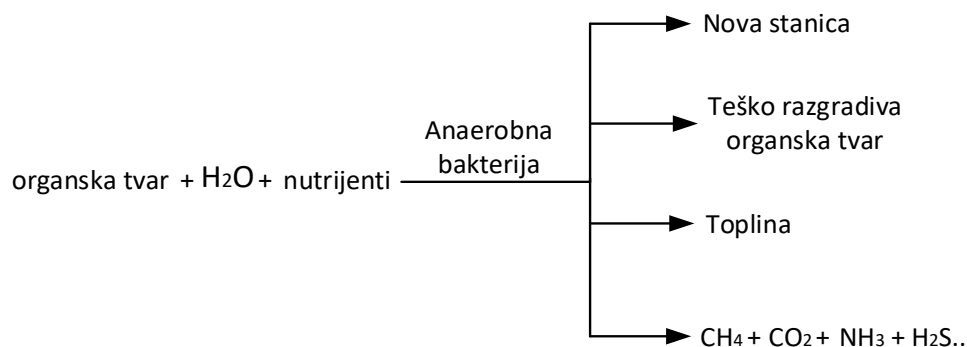


Slika 4 - Shematski prikaz aerobne razgradnje organske tvari [12]

4.2 Anerobna razgradnja

Aerobna obrada otpada provodi se u bioplinskom postrojenju kada se u kontroliranim uvjetima želi proizvesti bioplin čija je osnovna komponenta metan. Anaerobna razgradnja organske komponente u otpadu također se odvija pomoću mikroorganizama, ali bez prisustva kisika. Ova razgradnja odvija se u tri koraka te uključuje proces hidrolize koji je enzimski proces, a omogućava razgradnju dugolančanih molekula organske tvari u jednostavnije elemente [13]. Drugi korak podrazumijeva pretvaranje dijelova molekula u molekule niske molekulske mase koje mikroorganizam može koristiti kao izvor hrane. Treći korak predstavlja bakterijsku konverziju jednostavnih molekula u konačne proizvode kao što su metan i ugljični dioksid.

Anaerobna razgradnja, odnosno proces metanogene može se prikazati na slijedeći način:



Slika 5 - Shematski prikaz anaerobne razgradnje organske tvari [12]

4.2.1 Biosušenje

Biosušenje je po svojim karakteristikama proces koji se može karakterizirati kao predobrada biootpada, odnosno njegova priprema za anaerobnu digestiju. Provodi se u centrima za gospodarenje otpadom, u pravilu na miješanom komunalnom otpadu koji u sebi sadrži biootpad.

Sam proces se bazira na poticanju razgradnje lako razgradivih organskih spojeva u prisustvu kisika [14]. Do otpada se dovodi struja zraka čime se osiguravaju aerobni uvjeti koji potiču rast

mikroorganizama. Mikroorganizmi započinju s razgradnjom tvari čime dolazi do povećanja temperature i posljedično smanjenja vlažnosti otpada.

Istraživanje provedeno od strane Asha Toma i suradnika pokazalo je da biosušenjem MKO-a dolazi do smanjenja volumena otpada od 56,5%, smanjenja mase od 33.94% te smanjenja vlažnosti od 20,81% [14].

Od 4 trenutno izgrađena centra za gospodarenje otpadom, biosušenje se provodi u njih dva – CGO-u Mariščina i CGO-u Kaštijun. Cilj obrade biosušenjem je uklanjanje što veće količine vlage iz otpada kako ne bi došlo do nekontroliranog truljenja organske komponente odnosno proizvodnje bioplina. Frakcija koja je podvrgnuta procesu biosušenja se obično zatim odlaže na biorektorsko odlagalište. Ovoj frakciji se u procesu biosušenja (najčešće do 2 tjedna) uklanja brzorazgradiva organska tvar, ali ostaje još uvijek veća količina organske tvari koja je suha. Upravo zato što je uklonjena voda iz otpada kroz proces biosušenja ovakva organska tvar je neaktivna. Nakon što se biorektorsko odlagalište napuni, potiče se kontrolirani proces metanogeneze (anaerobne razgradnje) organske tvari dodatkom vode, dok se bioplin pumpama ekstrahira kroz plinske zdence i koristi za dobivanje električne energije.

5. TRENUTNO STANJE

5.1 Republika Hrvatska

U RH se iz godine u godinu može zamijetiti znatan napredak u nekolicini aspekata gospodarenja otpadom, što se dobrim dijelom može pripisati provođenjem niza politika Europske unije sa svojim pripadajućim zakonima i ciljevima. Kao i s većinom drugih vrsta korisnog otpada, najveći problem s biootpadom je manjak adekvatne komunalne infrastrukture koja bi omogućila odgovarajuću obradu. Kako bi se ispunili zacrtani ciljevi, potrebno je osigurati sakupljačku infrastrukturu – posebne kamione i spremnike za prikupljanje biootpada, kao i postrojenja za njegovo skladištenje i obradu – kompostane ili biopliniska postrojenja. Trenutni broj izgrađenih postrojenja nije ni blizu dostatan za obradu svog generiranog otpada [15]. Primjerice, sve kompostane koje su po izvješću o komunalnom otpadu za 2022. godinu zaprimale biootpad na obradu nalaze se u kontinentalnoj Hrvatskoj. Obrada biootpada u primorskoj Hrvatskoj se zasniva isključivo na centrima za gospodarenje otpadom koji ne pokrivaju cijelo područje nastanka otpada, transportu otpada u postrojenja u kontinentalnoj Hrvatskoj te nekolicini manjih mobilnih jedinica za obradu [16]. Kao rezultat toga, biootpad, u slučajevima kad se izdvaja iz miješanog komunalnog otpada, najčešće po visokim cijenama zbrinjavaju privatne tvrtke što za rezultat ima isključivo trošak za komunalne tvrtke, što za sobom povlači povećanje cijene usluge za stanovništvo. Primjerice, grad Varaždin za obradu jedne tone biootpada u bioplinском postrojenju privatnoj tvrtki plaća 105 €.

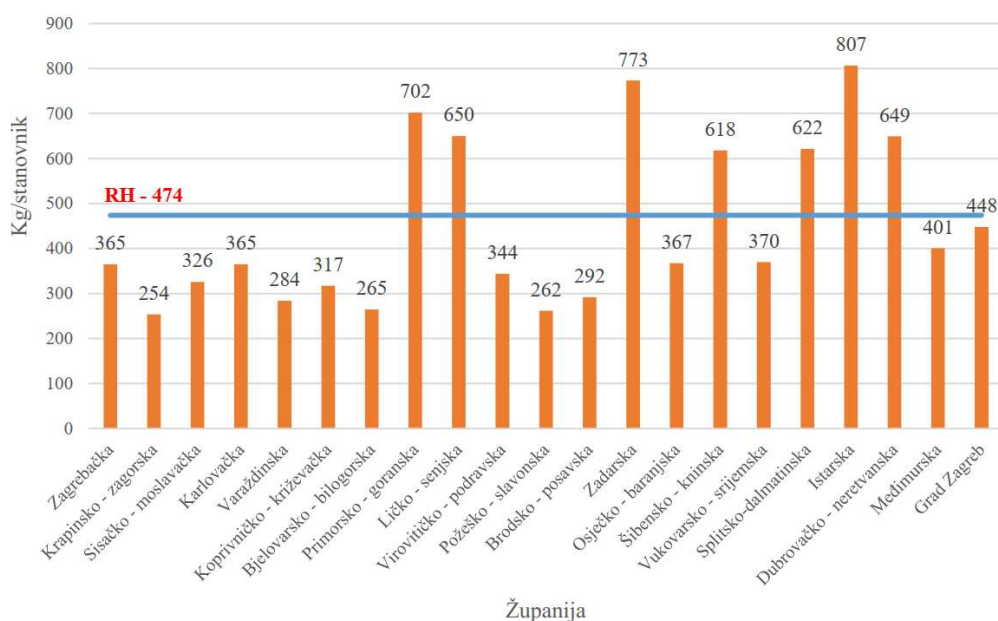
Drugi najčešći tok biootpada svodi se na odlaganje istog na odlagališta, što otvara novi set problema - nepotrebno smanjenje kapaciteta odlagališta i generiranje velikih količina odlagališnog plina koji nesmetano odlazi u atmosferu tijekom korištenja aktivnih ploha za odlaganje. Uz to, razgradnjom biootpada dolazi do širenja neugodnih mirisa, pojačavanja efekta staklenika te u slučaju nepostojanja adekvatnog donjeg brtvenog sloja odlagališta ulaska procjednih voda bogatih nitratima i drugim hranjivim tvarima u podzemlje, kontaminirajući time podzemne vode. Najzastupljenije i dominantne komponente u procjednim vodama odlagališta otpada su NH_4^+ ($0,03\text{--}0,81 \times 10^4$ mg/L) te soli poput SO_4^{2-} ($0,03\text{--}5,25 \times 10^3$ mg/L), Cl^- ($3,2\text{--}7,8 \times 10^3$ mg/L), K^+ ($0,58\text{--}4,20 \times 10^3$ mg/L), Na^+ ($1,3\text{--}13,0 \times 10^3$ mg/L) i Ca^{2+} ($2,35\text{--}230,23 \times 10^3$ mg/L), koje pokazuju značajne

fluktuacije. Teški metali i metaloidi su široko rasprostranjeni u većini procjernih voda odlagališta, ali u relativno niskim koncentracijama (<182,8 mg/L) [17].

Kako bi se potaknulo odvojeno prikupljanje i zbrinjavanje biootpada na odgovarajući način, Europska unija već dugi niz godina dodjeljuje bespovratna sredstva za izgradnju i opremanje postrojenja za biološku obradu otpada. Projekti izgradnje ovakvih postrojenja se obično sufinanciraju u rasponu od 50 do 80%, što znatno smanjuje troškove koje bi JLS inače trebale uložiti. Nažalost, stanje u Hrvatskoj je takvo da se malo jedinica lokalne samouprave odluči na takav potez. Razlozi su razni, od nezainteresiranosti, neznanja, nedostatka kadra za provedbu i sl. Iznimke postoje, te se kao neki od primjera dobre prakse mogu uzeti Požega (sufinanciranje u iznosu od 398.197,56 € [18]), Mursko Središće (sufinanciranje 320.864,31 € [19]), Đurđevac (sufinanciranje 438.718,44 € [20]). Može se primijetiti kako manje sredine ulažu u ovakva postrojenja, za razliku od velikih gradova gdje nastaje najveća količina otpada. Neki gradovi, primjerice Rijeka, uopće nemaju uspostavljen sustav odvojenog sakupljanja biootpada, već se isti odvozi zajedno s miješanim komunalnim otpadom u županijski centar za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Mariščina gdje se provodi njegovo biosušenje. S druge strane, Zagreb, koji je ujedno i najveći grad RH te čije stanovništvo čini 21% ukupnog stanovništva RH svoj biootpad dijelom zbrinjava u vlastitim kompostanama, a dijelom ga predaje privatnim tvrtkama, čime dolazi do ranije spomenutih gubitaka.

5.2 Republika Hrvatska – količine generiranog otpada

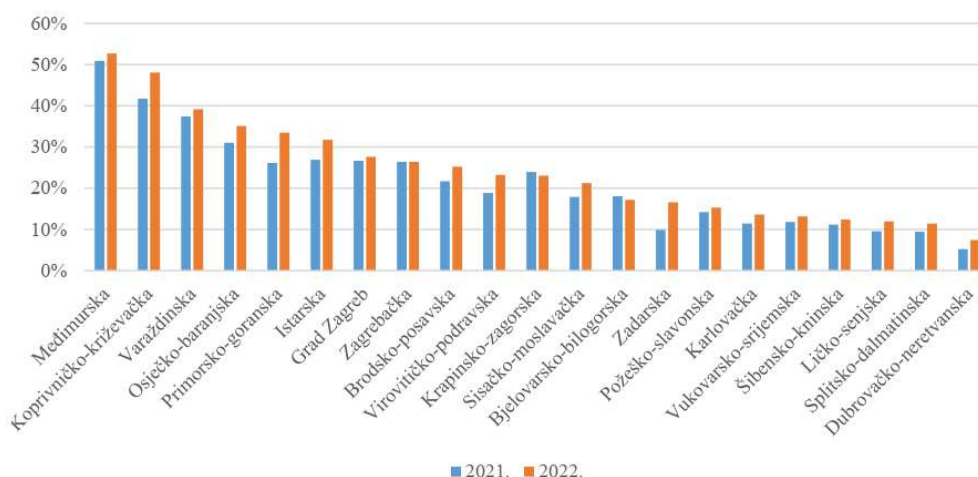
Tijekom 2022. godine ukupno je nastalo 1.844.283 tone komunalnog otpada. Količina otpada po stanovniku na nivou države iznosi 474 kg/stanovnik, dok je isti podatak po županijama prikazan na slici 6 [15].



Slika 6 - Količina otpada po glavi (po županijama) [15]

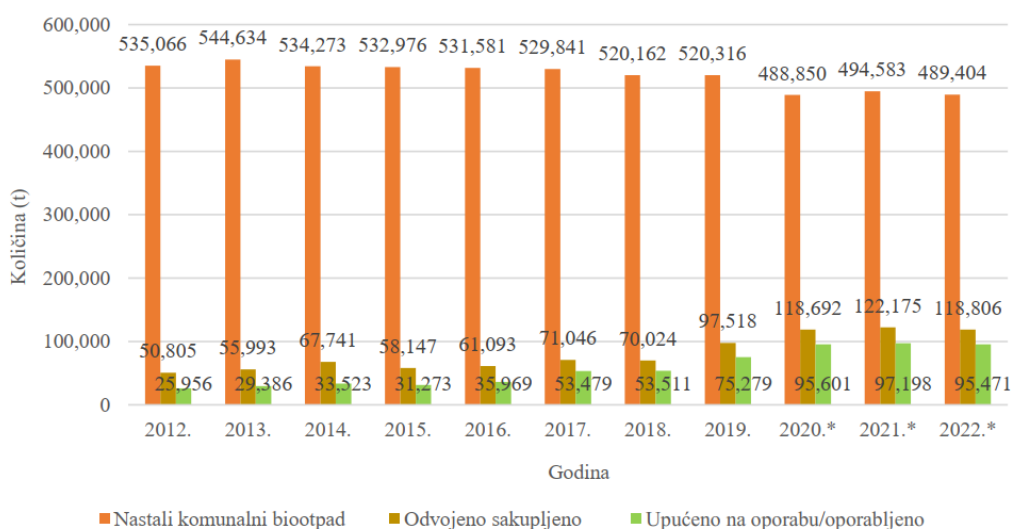
Na grafu je vidljivo da nekoliko primorskih županija, uključujući Ličko-senjsku bilježe znatno odstupanje od prosjeka, što se može pripisati velikom priljevu turista u ljetnim mjesecima.

U 2022. godini, stopa odvojenog sakupljanja komunalnog otpada unutar javne usluge iznosila je 24%, što predstavlja povećanje od 3% u odnosu na prethodnu godinu. Analiza stopa odvojenog sakupljanja komunalnog otpada tijekom 2022. godine pokazala je porast u 18 od 21 županije. U Zagrebačkoj županiji stopa je ostala nepromijenjena, dok su Krapinsko-zagorska i Bjelovarsko-bilogorska županija zabilježile pad od 1% [15]. Podaci su grafički prikazani na slici 7.



Slika 7 - usporedba postotka odvojeno sakupljenog otpada po županijama [15]

Biootpad, kao dio biorazgradivog komunalnog otpada, odvojeno se sakupljao u 239 jedinica lokalne samouprave (JLS), što je porast od 24 JLS u odnosu na prethodnu godinu. U okviru javne usluge prikupljeno je 70.791 t biootpada, što je povećanje od 2.960 t u odnosu na prethodnu godinu. Dodatno utvrđene količine (na temelju prijave obrađivača i izvoznika otpada) iznosile su 48.015 t, što je dovelo do ukupne količine odvojeno sakupljenog biootpada od 118.806 t [15]. Količine biootpada tijekom 10 godina prikazane su na slici 8.

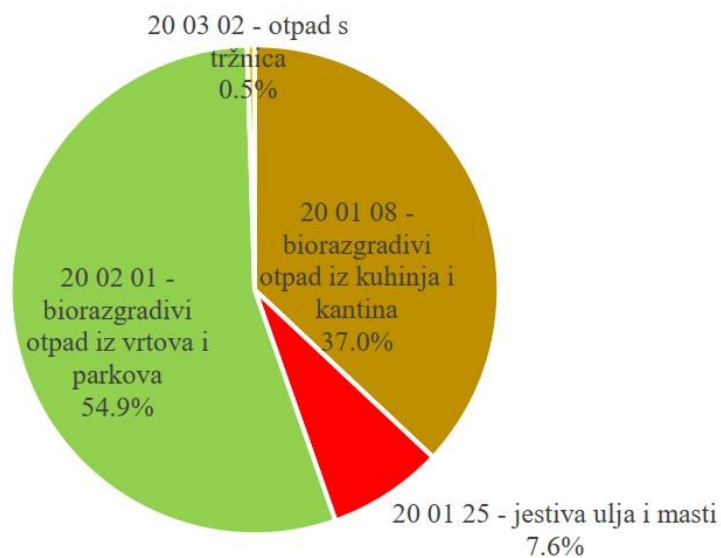


Slika 8 -Količine biootpada prikupljene od 2012. do 2022. godine

Tijekom 2022. godine 11 kompostana je aktivno obrađivalo komunalni biootpad, te je zaprimljeno 13% više otpada od prethodne godine. Ovaj skok može se pripisati pojačanoj edukaciji, ulaganju u komunalnu infrastrukturu nabavom kanti i uključivanju dodatnih JLS u odvajanje biootpada.

Uz kompostane, 16 bioplinskih postrojenja preuzelo je 13.100 t komunalnog otpada na obradu anaerobnom digestijom. Radi se o smanjenju od oko 24% u usporedbi s prethodnom godinom, kada su bioplinska postrojenja preuzela 17.294 t otpada [15]. Uzrok ovom smanjenju je visok stupanj kontaminacije ulaznog otpada, uslijed čega veće količine nisu mogle biti obrađene.

Na slici 9 prikazani su udjeli vrsta komunalnog biootpada u ukupnim odvojeno prikupljenim količinama.



Slika 9 - Udjeli vrsta komunalnog biootpada u ukupnim odvojeno prikupljenim količinama

5.3 Grad Varaždin – općenito o sustavu

Varaždin je grad u sjeverozapadnoj Hrvatskoj smješten uz obalu rijeke Drave, povijesno, kulturno, obrazovno, gospodarsko, sportsko i turističko središte Varaždinske županije, najstarije županije u Hrvatskoj. Nalazi se na raskrižju četiriju velikih, povijesnih regija: Štajerske, Zagorja, Međimurja i Podravine [21].

Najveća tvrtka koja na području Varaždinske županije obavlja sakupljanje i odvoz komunalnog otpada te održava javne površine je Čistoća d.o.o. Varaždin (u daljnjem tekstu Čistoća). Uz sam grad Varaždin, područje djelovanja Čistoće prostire se na grad Varaždinske Toplice te općine Beretinec, Breznički Hum, Cestica, Gornji Kneginec, Petrijanec, Sračinec, Sveti Đurđ, Sveti Ilija, Trnovec Bartolovečki, Vidovec i Vinica [22]. Ukupan broj korisnika na tom području je 33.775.

Budući da grad Varaždin nema službeno odlagalište, niti izgrađen centar za gospodarenje otpadom, MKO koji se prikupi na predmetnom području odvozi se na pretovarnu stanicu u Poljani Biškupečkoj, gdje se pretovaruje u šlepere koji ga odvoze na nekoliko odlagališta s kojima grad ima potpisan sporazum.

Na cijelom području djelovanja Čistoće trenutno je u primjeni multi stream sustav prikupljanja korisnog otpada, što znači da se papir, plastika, staklo, metal i tekstil prikupljaju u posebnim spremnicima, odnosno da ne dolazi do međusobnog miješanja frakcija.

Prikupljanje otpada je organizirano na način da veće stambene zgrade (okvirno više od 7 stanova) imaju kontejnere od 1100L za papir, plastiku i miješani komunalni otpad, dok se staklo i metal ovisno o veličini zgrade prikupljaju u metalnim zvonima zapremine 2 m³, ili kantama zapremine 240L. Biootpad se također prikuplja u kantama od 240L.

Manje zgrade najčešće imaju na raspolaganju kante od 240 ili 360L za papir i plastiku, 240L za miješani komunalni otpad, staklo i metal, te kante od 120 ili 240L za biootpad, s tim da postoje iznimke gdje se po potrebi dodijele i veći spremnici.



Slika 10 - Kombinacija spremnika od 240L (biootpad), 360L (papir i plastika) i 1100L (MKO)

Pojedinačna kućanstva u startu imaju na raspolaganju kante od 120L za papir, plastiku i miješani komunalni otpad, s tim da u slučaju potrebe mogu dobiti i veće, od 240L. Korisnici na početku korištenja usluge imaju mogućnost odabira načina zbrinjavanja biootpada – kompostiranjem u vlastitom dvorištu, ili odlaganjem u smeđe kante od 120L koje im u tom slučaju dodjeljuje Čistoća. Ukoliko se izabere samostalno kompostiranje, mjesečni iznos za odvoz otpada se umanjuje za 2,2 €. Osim što će dosta korisnika biti financijski motivirana za kupnju ili izradu vlastitog kompostera, neki zbog vrlo velikih dvorišta generiraju veće količine biootpada koje zbrinjavaju primarno kompostiranjem, dok višak odlažu u smeđe kante. Staklo, metal i tekstil se odvoze u zelenim, sivim i smeđim namjenskim vrećicama.

Glede popusta, obitelji s mladom djecom imaju pravo na kante s ljubičastim poklopcem u koje se odlažu pelene (120L za kućanstva i 240L za zgrade). Odvoz tog otpada vrši se zajedno s miješanim otpadom, a cilj je financijski rasterestiti obitelji s djecom budući da se svako pražnjenje kante za miješani komunalni otpad naplaćuje.

Što se dinamike odvoza glavnih vrsta otpada tiče, odvoz za zgrade je organiziran na sljedeći način:

MKO – 4x mjesečno

Biootpad – 4x mjesečno

Papir i plastika – 4x mjesečno

Staklo i metal – po popunjenosti

Za individualna kućanstva:

MKO – 2x mjesečno

Biootpad – 4x mjesečno

Papir i plastika – 2x mjesečno

Staklo i metal – svaka 2 mjeseca

Od 2023. godine počelo se s ugradnjom polupodzemnih spremnika za stambene zgrade. Cilj je ukloniti sve postojeće kontejnere kako bi okoliš oko zgrada bio što uredniji. Volumen polupodzemnih spremnika je znatno veći, i to 5 m³ za MKO, plastiku/metal i papir, odnosno 3 m³ za staklo i biootpad. Pražnjenje se vrši posebnom autosmećarkom s potisnom pločom i ugrađenim kranom za podizanje spremnika.



Slika 11 - Polupodzemni spremnici

Općenito, pražnjenje većih kontejnera se vrši klasičnim jednokomornim autosmećarkama, dok se otpad iz manjih kanti najčešće vrši dvokomornim autosmećarkama kako bi se broj kamiona po kućanstvu s četiri sveo na dva. U pravilu se u jednoj turi odvoze MKO i papir te plastika i biootpad kako bi se dostupni volumen što

bolje iskoristio – MKO i biootpad su za razliku od plastike i papira mnogo veće gustoće i zbog pretovara kamiona ne bi bilo efikasno upariti te dvije frakcije. Dvokomorna autosmećarka vidljiva je na slici 12.



Slika 12 - Dvokomorna autosmećarka

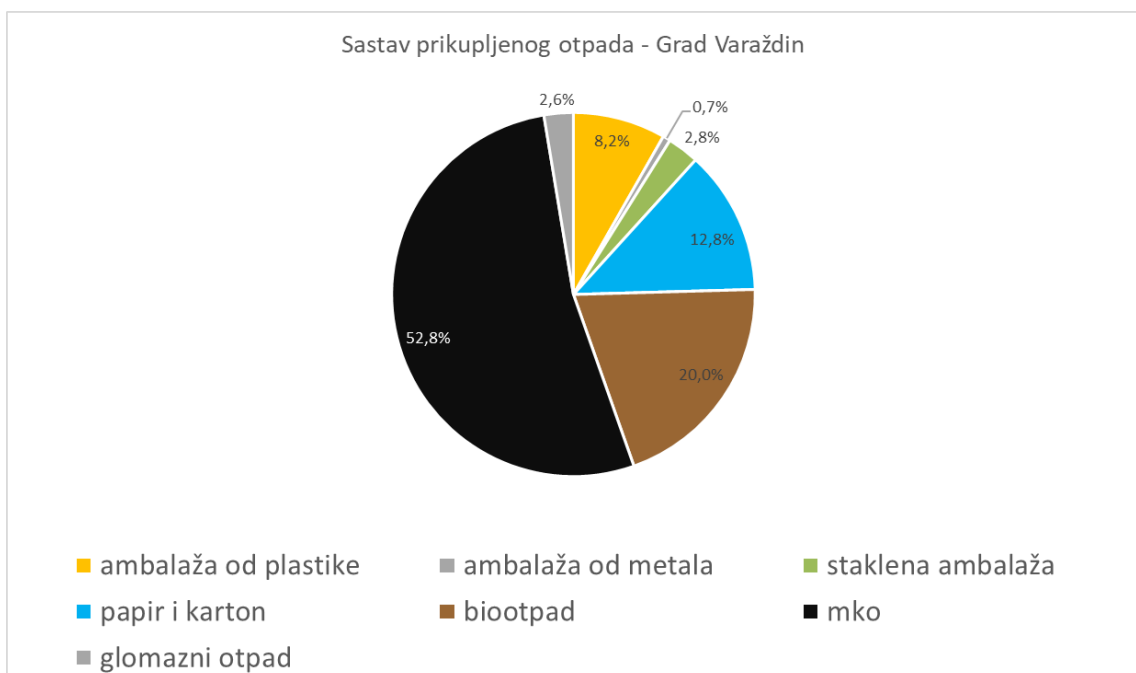
Pražnjenje biootpada se u određenim situacijama vrši posebnim kamionom namijenjenim isključivo odvozu biootpada. Od klasičnih autosmećarka se razlikuje po tome što sa stražnje strane nema otvorenu usipnu komoru s potisnom pločom, već se biootpad iz kanti istresa u metalnu posudu volumena 600L, koja se zatim podiže i istresa u glavnu komoru kamiona. Takvim mehanizmom, prikazanim na slici 13, se nastoji umanjiti neugodne mirise te istjecanje tekućine iz kamiona, koja se kod klasičnih modela češće događa ukoliko se gumena brtva neredovito mijenja.



Slika 13 - posebna autosmećarka za sakupljanje biootpada

5.4 Grad Varaždin – količine generiranog otpada

U gradu Varaždinu je tijekom 2022. godine u okviru javne usluge sakupljanja otpada ukupno prikupljeno 12.542 t komunalnog otpada. Od tog iznosa 5.921 t otpada na odvojeno sakupljene frakcije otpada – plastiku, metal, staklo, papir i karton, biootpad te glomazni otpad [23]. Iz toga slijedi da je postotak odvojenog sakupljanja u 2022. godini iznosio 47,2%. Količina prikupljenog biootpada iznosila je 2.514 t, a uključuje otpad iz kategorija biootpada iz kuhinja i kantina te vrtova i parkova. Podaci su grafički prikazani na slici 14.



Slika 14 - sastav otpada prikupljenog u Varaždinu tijekom 2022. godine

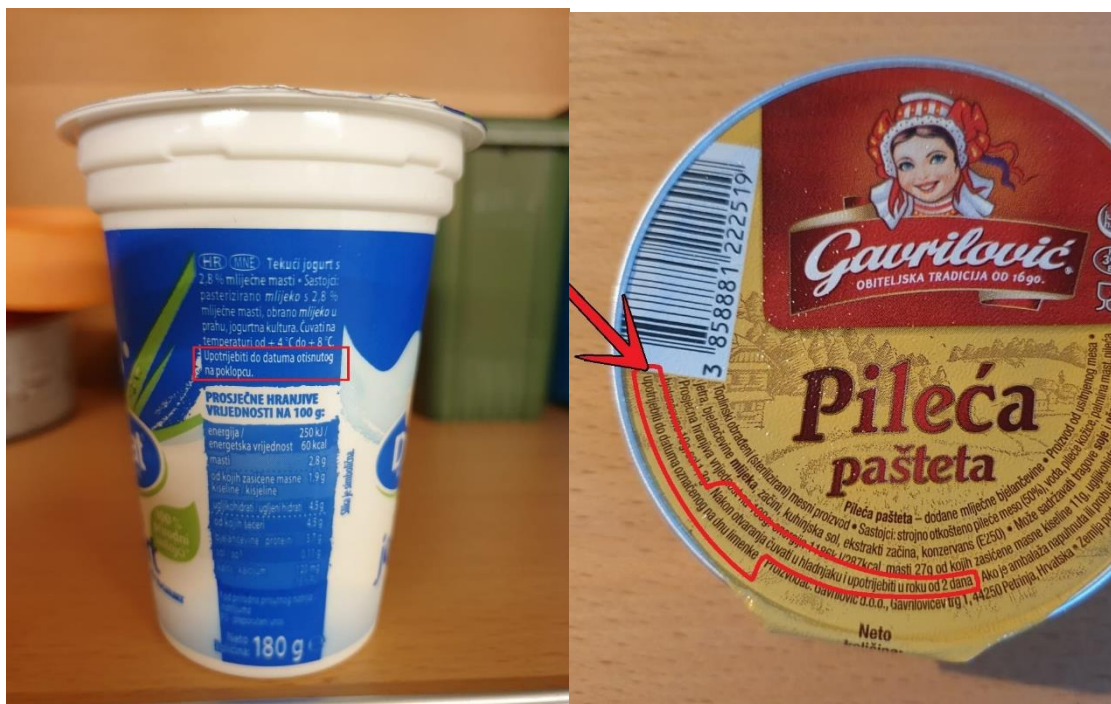
6. METODE SPRJEČAVANJA NASTANKA BIOOTPADA

Sprječavanje nastanka biootpada podrazumijeva njegovo uklanjanje iz toka sakupljanja, transporta i zbrinjavanja. Drugim riječima, nastoji se da proizvedeni biootpad uopće ne dođe u kantu, već da se obradi na neki drugi način koji će omogućiti redukciju troškova njegovog sakupljanja, odvoza, obrade i zbrinjavanja.

Jedan od glavnih razloga nastanka prekomjernih količina kuhinjskog otpada leži u činjenici da ljudi često kupuju više hrane nego što im je potrebno. Viškovi se gomilaju do trenutka kad prestanu biti prikladni za upotrebu i postaju otpadom. Ovome se može doskočiti na nekoliko jednostavnih načina, za početak planiranjem obroka unaprijed, što će pridonijeti kupovini samo zaista potrebnih namirnica. Kako se ne bi poskliznulo i upalo u ralje konzumerizma, poželjno je napraviti popis za kupovinu koji može uvelike spriječiti impulzivnu kupovinu nepotrebnih namirnica. Uz to, poželjno je kvarljive namirnice kupovati u manjim količinama, kako bi se sve stiglo potrošiti.

Drugi problem koji je dosta raširen jest nepoznavanje oznaka na ambalaži, odnosno nepoznavanje razlike između oznake „najbolje upotrijebiti do“ i „upotrijebiti do“. Prva oznaka indicira da je proizvod najbolje upotrijebiti do otisnutog datuma, odnosno jamči da će do tog datuma proizvod zadržati deklarirana svojstva (okus, miris, strukturu,...). Proizvod je i nakon tog datuma siguran za konzumaciju, uz napomenu da može doći do promjene u okusu, mirisu ili nekom drugom svojstvu [24]. Neki od primjera takvih proizvoda su čokolada, neotvorena pašteta, marmelada i sl.

Oznaka „upotrijebiti do“ označava da je proizvod siguran za konzumaciju do deklariranog datuma. Nakon toga, proizvod se ne bi trebao konzumirati. Obično je riječ o mesu, ribi, jajima i mliječnim proizvodima. Unutar ove kategorije također valja razlikovati rizične od manje rizičnih proizvoda. Primjerice, jogurt koji je čuvan na propisanoj temperaturi u hladnjaku će biti dobar i po nekoliko dana, čak i tjedana nakon isteka ovog roka. Takav jogurt se ne mora baciti, ali prije konzumacije svakako treba iskoristiti svoja osjetila – vid, miris i okus. S druge strane, otvorenu paštetu je potrebno konzumirati u roku od 2 dana od otvaranja, te njezina konzumacija tjedan dana nakon može dovesti do trovanja i ozbiljnih zdravstvenih posljedica. Primjeri nekih proizvoda nalaze se na slici 15.



Slika 15 - primjeri proizvoda s različitim deklaracijama

Nadalje, hranu je potrebno skladištiti na ispravan način kako ne bi došlo do njenog kvarenja i posljedično bacanja. Određene vrste hrane je potrebno čuvati u hladnjaku (mliječni proizvodi, meso, riba,...), dok je svo povrće prije skladištenja potrebno dobro osušiti kako pod utjecajem vlage ne bi počelo ranije truliti (blitva, salata, zelje, mlada kapula,...). Također, neke vrste se mogu konzervirati na poseban način, zatvaranjem u staklenke koje sadrže blago zaslanjenu vodenu otopinu, i time pridružiti njihov vijek i po nekoliko tjedana.

S druge strane, neke namirnice je bolje držati izvan hladnjaka. Manjak vlage koje u hladnjaku gotovo uvijek ima više nego na zraku će omogućiti da iste traju puno duže. Neki od najčešćih primjera su krumpir, bijeli luk, kapula i banane.

Posljednji način na koji se može smanjiti otpad od hrane jest ponovnim korištenjem već pripremljenih namirnica (ostataka) u nekim drugim jelima. Ostatke hrane ne treba bacati, jer se gotovo uvijek od njih može pripremiti neko novo i ukusno jelo. Primjerice, od listova cvjetače, ostataka grahorica, malo blitve, ostatka mesa i jogurta može se napraviti ukusna juha, bez da se uopće generira otpad od pripreme novog jela.

7. METODE OBRADE BIOOTPADA NA MJESTU NASTANKA

7.1 Kućno kompostiranje

Unatoč primjeni svih ranije navedenih metoda za smanjenje otpada od hrane, otpada od hrane će ipak biti. Nakon što su te količine svedene na minimum, ostatak otpada je potrebno zbrinuti. Kako bi se smanjile količine biootpada koje ulaze u sustav i kojeg komunalne tvrke kasnije moraju slati na zbrinjavanje, analizirat će se nekoliko „on-site“ alternativa.

7.1.1 Konvencionalno kompostiranje

Prva alternativa, kućno kompostiranje, je vezana isključivo uz kućanstva s vlastitim vrtom. Komposter može biti kupovni, najčešće izrađen od HDPE plastike, ili „custom made“. „Custom“ varijante su najčešće napravljene od dasaka, i smještene u hladovinu kako ne bi dolazilo do širenja neugodnih mirisa. Sam proces pretvorbe biootpada u kompost traje između 6 mjeseci i godinu dana, a uvelike ovisi o vrsti otpada, temperaturi, vlažnosti, izloženosti suncu te dotoku kisika (učestalosti miješanja). Kako bi se osigurala maksimalna efikasnost procesa kompostiranja, potrebno je paziti kakav otpad se stavlja u komposter. Primjerice, kuhana hrana i citrusi inhibiraju rad ključnih mikroorganizama i potrebno je izbjegavati odlaganje većih količina takve vrste otpada u komposter [25]. Velika prednost ove metode jest što se dobiveni kompost može koristiti za gnojidbu zelenila, čime se iz perspektive očuvanja resursa zatvara puni krug.

7.1.2 Bokashi kompostiranje

Druga alternativa odlaganju je korištenje tzv. bokashi kompostera. Riječ je o procesu koji se ne zasniva na aerobnoj razgradnji biootpada, već njegovoj fermentaciji. Spremnik u kojoj se odvija fermentacija mora biti dobro zatvoren kako bi se postigli anaerobni uvjeti te na dnu mora postojati ventil za otjecanje tekućeg sadržaja. Kako bi se proces počeo odvijati, u kantu je potrebno staviti ostatke od hrane, u ovom slučaju su dozvoljeni i ostaci kuhane hrane, mesa, ribe i sl. Zatim se po njima pospe tzv. bokashi starter, granulat koji sadrži mikroorganizme potrebne za odvijanje procesa. Otpad je potrebno dobro nagnječiti kako bi se istisnulo što više zraka te se kanta zatvara. Za razliku od drugih aerobnih rješenja, novi ostaci hrane se dodaju svakih nekoliko dana, kako zrak ne bi prečesto ulazio u spremnik i inhibirao proces fermentacije, te se nakon nekoliko dana ponovo pospe manja količina startera [26]. Na tjednoj bazi je potrebno ispustiti procjednu tekućinu koja se nakupila na dnu spremnika, a hranjiva je i može se koristiti za gnojidbu drugih biljaka. Nakon oko mjesec dana proces fermentacije je završen, te se čvrsti sadržaj kante može koristiti kao gnojivo na način da se zakopa u zemlju, gdje će se nakon nekog vremena u potpunosti razgraditi i osigurati mnoštvo hranjivih tvari za biljke kod buduće sadnje.



Slika 16 - bokashi komposter [27]

7.1.3 Vermikompostiranje

Uz bokashi, postoji još jedna metoda razgradnje biootpada, a to je uz pomoć crva, tzv. vermikompostiranje. Metoda se bazira na iskorištavanju metabolizma crva, koji otpad od hrane koriste kao hranu dok produkt njihove probave – izmet, predstavlja gnojivo koje se kasnije može iskoristiti. Što se samog spremnika tiče, potrebno je imati spremnik s malim rupicama sa strane i na dnu. Rupice na stijenkama omogućavaju dotok zraka kako ne bi došlo do stvaranja anaerobnih uvjeta i fermentacije otpada, dok su rupice na dnu tu kako bi višak tekućine mogao istjecati. Cilj kod izrade kante za vermikompostiranje jest tama, dobra ventilacija i dobra drenaža.

Nakon što je sama kanta spremna, na njeno dno je potrebno staviti sloj usitnjenog papira i kartona (kutije od jaja, običan karton, maramice,...). Ukoliko će se kompostiranje provoditi na otvorenom, može se dodati i lišće i slama. Ukoliko se radi o kompostiranju u zatvorenom, isto se može preskočiti kako ne bi došlo do slučajnog unošenja insekata u kućanstvo. Nakon pripreme posteljice, u kantu se stavlja zemlja te se sve zajedno zalije. S vodom se ne smije pretjerati, jer u tom slučaju pada efikasnost kompostera.

Nakon pripreme, u komposter je potrebno staviti crve. Vrsta koja se najčešće koristi je *Eisenia fetida*, koja nalikuje na kišnu glistu, ali je dosta efikasnija u razgradnji organske tvari. Količina crva ovisi o količini otpada koju se planira obraditi na ovaj način. U prosjeku jedan crv dnevno razgradi količinu biootpada ekvivalentnu polovini svoje mase, stoga se može izračunati da će 1 kg crva dnevno razgraditi 500 grama biootpada, odnosno 3,5 kg biootpada tjedno [28].



Slika 17 - spremnik za vermikompostiranje [29]

Prilikom korištenja ovakvog sustava potrebno je paziti na količinu otpada koja se odlaže. Prevelika količina može dovesti do preopterećenosti crva i truljenja viška otpada. Također, određene vrste hrane kao što je meso, riba, masnoće te mliječni proizvodi se ne smiju odlagati.

7.2 Uređaji za obradu biootpada na mjestu nastanka

Određeni načini obrade biootpada se ne mogu provoditi bez korištenja specijalnih uređaja i strojeva, dok se neki njihovim korištenjem mogu dodatno pospješiti. U nastavku će biti pobliže opisane kuhinjske drobilice za hranu te mali električni komposter.

7.2.1 Drobilice za hranu

Jedan od načina eliminiranja biootpada na mjestu nastanka predstavlja ugradnja drobilica za hranu u kuhinjske sudopere. Drobilica za otpad od hrane je uređaj koji se koristi za mehaničko usitnjavanje ostataka hrane kako bi se olakšalo njihovo odvođenje kroz kanalizacijski sustav. Aktivacija uređaja vrši se pomoću električnog prekidača, nakon čega se rotor s oštricama počinje rotirati velikom brzinom. Otpad se usitjava u sitne čestice koje se kroz uređaj ispuštaju u kanalizacijski sustav. Drobilice su obično opremljene sigurnosnim mehanizmima za sprječavanje preopterećenja i automatski se isključuju u slučaju zastoja. Redovito održavanje uključuje čišćenje i ispiranje kako bi se osigurala učinkovitost i dugotrajnost drobilica. Na slici 18 prikazana je shema drobilice.



Slika 18 - shematski prikaz kuhinjske drobilice [30]

Za razliku od ranije navedenih metoda koje se zasnivaju na obradi biootpada na mjestu nastanka, ova metoda samo mjesto obrade prebacuje na kanalizacijski sustav i uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Biootpad se već na početku procesa usitnjava u skoro homogenu masu što znatno olakšava njegovu razgradnju. Pomiješan s vodom i drugim tvarima biootpad ulazi u kanalizacijski sustav, gdje postoji mogućnost početka razgradnje ukoliko ne postoji snažan tok. Uslijed dotoka vode s drugim tvarima, biootpad se kreće sustavom, potencijalno prolazeći kroz kaskadna revizionna okna gdje dolazi do dodatnog usitnjavanja i miješanja s drugim tvarima. Tijekom samog toka dolazi do djelovanja mikroorganizama, te se manji dio biootpada može razgraditi na putu do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Ostatak biootpada će se razgraditi u samom uređaju, uz prisustvo mikroorganizama te pospešivanje procesa aeracijom.

Ugradnjom nekoliko individualnih drobilica neće doći do znatne promjene sastava otpadne vode koja bi mogla narušiti rad uređaja, no ukoliko se na razini grada ili općine želi implementirati takav sustav, prethodno je potrebno utvrditi nulto stanje te izraditi proračune i modele potencijalnog utjecaja koji bi povećan unos hranjivih tvari u sustav mogao uzrokovati.

Na tragu toga, u Virovitici je pokrenut pilot projekt koji ima za cilj ispitati mogućnosti implementacije ovakvog sustava. Odabrane su dvije identične zgrade, te su u jednoj zgradi instalirane drobilice, dok druga biootpad zbrinjava kao i ranije odvojenim prikupljanjem u smeđim kantama te zajedno s miješanim komunalnim otpadom.



Slika 19 - Pilot projekt ugradnje drobilica u Virovitici – hodogram [31]

Tijekom provedbe projekta vrši se analiza sastava otpadnih voda na revizionim oknima promatranih zgrada. Mjere se KPK i BPK parametri, koji su direktni pokazatelji razine onečišćenja. Također, prije početka projekta provedena je analiza komunalnog otpada kako bi se utvrdilo nulto stanje, odnosno koliki udio u miješanom komunalnom otpadu čini biootpad. Nakon provedbe projekta udio bi trebao biti dosta manji, što će se utvrditi ponavljanjem analize. Sama analiza se provodi četvrtanjem i sortiranjem otpada prikupljenog pojedinačno iz svake zgrade po frakcijama.

7.2.2 Električni kućni komposter

Električni kućni komposter (slika 17) predstavljaju modernu i praktičnu tehnologiju za obradu biootpada na mjestu nastanka. Sam uređaj funkcionira kao klasičan komposter, uz bitnu razliku u vidu vremena potrebnog za odvijanje procesa. Dok je za klasično kompostiranje potrebno i do nekoliko mjeseci, električni kućni komposter otpad od hrane može pretvoriti u kompost u samo nekoliko dana.

Princip rada se u svojoj srži ne razlikuje od klasičnog kompostiranja, budući da se na jednak način provodi aerobna razgradnja organske tvari pri čemu nastaje kompost. Razlika je u mikrobiološkoj kulturi (starter) koja se koristi za razgradnju, čija je glavna karakteristika vrlo brzo djelovanje, te u mogućnosti monitoringa uvjeta i sukladnog podešavanja parametara za najefikasnije odvijanje procesa.

Glavne prednosti primjene ovog uređaja očituju se u brzini kompostiranja, umanjenju mase, volumena i neugodnih mirisa otpada, dobivanju kvalitetnog komposta te rasterećivanju sustava gospodarenja otpadom budući da se otpad obrađuje na mjestu nastanka.



Slika 20 - električni kućni komposter [32]

8. SMANJENJE NASTANKA BIOOTPADA PRIMJENOM DROBILICA – GRAD VARAŽDIN

8.1 Materijali i metode

Pri provođenju izračuna i izradi modela utjecaja ugradnje kuhinjskih drobilica za zbrinjavanje biootpada korišteni su podaci dobiveni od Čistoće Varaždin, koja obavlja djelatnost prikupljanja i zbrinjavanja komunalnog otpada u gradu Varaždinu.

Korisnicu usluge sakupljanja komunalnog otpada su podijeljeni u 3 skupine, A – korisnici u individualnom stanovanju, B – korisnici u kolektivnom stanovanju (zgrade) i C – korisnici koji nisu kućanstva (pravne osobe). Korišteni su podaci o broju korisnika, tipu korisnika (individualno ili kolektivno stanovanje), načinu zbrinjavanja biootpada kod individualnog stanovanja, količini prikupljenog otpada na godišnjoj razini, broju spremnika u upotrebi te aktualnoj dinamici odvoza biootpada. Podaci o korisnicima iz skupine B koji kompostiraju u vlastitim dvorištima su dodatno provjereni terenskim anketiranjem koje je trajalo 3 tjedna u sklopu stručne prakse u Čistoći.

Svi proračuni u nastavku provedeni su koristeći Microsoft Excel uz gore navedene potatke. Uzete su u obzir trenutne cijene zbrinjavanja koje Čistoća plaća po toni MKO-a i biootpada, cijene goriva za kamione kojima se vrši odvoz, troškovi nabave i ugradnje drobilica te plaće radnika koji trenutno odvoze otpad.

Za početak su uzete vrijednosti mase prikupljenog biootpada po evidenciji Čistoće, što iznosi 2.633,97 tone. Nakon toga provedeno je svođenje računa na parametar koji se može dovesti u korelaciju s brojem pražnjenja spremnika. Kad bi se pri pražnjenju kanti vršilo njihovo vaganje, mogla bi se dobiti točna količina prikupljenog otpada po korisniku. Budući da se isto ne radi, za potrebe izračuna uzet je volumen spremnika. Budući da volumen otpada ne mora nužno odgovarati volumenu spremnika, odnosno svi spremnici nisu uvijek skroz puni, izvršena je korekcija s faktorima popunjenosti.

Kako bi se izbjeglo terensko utvrđivanje gustoće prikupljenog biootpada, postavljena je pretpostavka da se ona kreće u rasponu od 350 kg/m^3 do 500 kg/m^3 . Poznavanjem mase prikupljenog otpada tijekom referentne godine, volumena spremnika odnosno kamiona te omjera sabijanja otpada u kamionu, utvrđeno je da gustoća iznosi 365 kg/m^3 . Ta vrijednost gustoće se može koristiti u daljnjem modeliranju kao konstanta, dok se ostali

parametri mogu mijenjati u ovisnosti o broju pražnjenja, volumenu i popunjenosti spremnika te broju spremnika u uporabi.

Kako bi izračuni bili što točniji, pod ukupnu količinu generiranog biootpada uključen je i biootpad koji nije odvojeno sakupljen, odnosno sastavni je dio MKO-a. Rezultati sortiranja varaždinskog otpada provedenog 2018. pokazali su da biootpad čini oko 35% mase MKO-a, te je taj podatak korišten u daljnjem računu [10].

U tablicu su redom unešene vrijednosti volumena i broja spremnika, broja pražnjenja koji u svim slučajevima iznosi 1 (jednom tjedno) te faktor popunjenosti spremnika ($k < 1$, spremnik nije skroz pun, $k = 1$, spremnik je pun, $k > 1$, spremnik je prepunjen). Budući da se radi o biootpadu te da su se uzimale prosječne vrijednosti, faktor popunjenosti za zgrade je postavljen na 0,7 (70% popunjenost), dok je za individualno stanovanje zbog manjeg volumena spremnika i veće količine vrtnog otpada faktor popunjenosti postavljen na 0,8 (80% popunjenosti). Dodatno su unešene vrijednosti popunjenosti za korisnike koji spadaju u kategoriju pravnih korisnika, kako dobiveni iznos mase prikupljenog biootpada ne bi utjecao na daljnji proračun vezan isključivo uz privatne korisnike. Faktori popunjenosti su po stručnoj procjeni postavljeni na 0,8. S obzirom da pravne osobe u startu ne dobiju spremnike za biootpad, odnosno iste moraju posebno tražiti i dodatno plaćati, pretpostavljeno je da će ih svi koristiti, odnosno postotak spremnika u upotrebi je jednak 100%.

8.2 Rezultati

Temeljem ovih parametara izvršen je izračun mase biootpada koja na godišnjoj razini nastaje po kategoriji spremnika (120L ili 240L) i po kategoriji korisnika (individualno i kolektivno stanovanje te posebno za pravne osobe). Međusobnim množenjem unešenih vrijednosti dobiven je ukupni ispražnjeni volumen, u litrama i kubnim metrima.

U tablicu su također unešene i vrijednosti za spremnike koji bi se trebali dodijeliti svima onima koji su u sustavu evidentirani da imaju komposter, a terenskom provjerom je utvrđeno da u praksi ne kompostiraju. Izračunati iznosi mase biootpada se mogu koristiti za procjenu stanja ukoliko bi se odlučilo na taj potez, ali nisu korišteni u daljnjem proračunu.

Množenjem volumena ispražnjenog biootpada (u m³) s prosječnom gustoćom biootpada (u kg/m³) te uzimajući u obzir faktor sabijanja otpada koji iznosi 1 za kamion koji biootpad prikuplja u kolektivnom stanovanju te 1/6 za kamione koji biootpad prikupljaju u individualnom stanovanju, dobije se masa biootpada prikupljenog na tjednoj bazi, u kilogramima. Iz toga se lako dobije masa na godišnjoj bazi, u tonama, koja iznosi 1.663,90, i poklapa se sa stvarnom vrijednosti dobivenom od Čistoće, uz odstupanje od 1,1%.

| | |
|----------------------------------|-----------|
| MKO [t] | 11.130,00 |
| BIO [t] | 2.633,97 |
| BIO [%] | 23,7% |
| Ukupno korisnika | 33.016 |
| Ukupno privatnih korisnika (A+B) | 30.960 |
| Ukupno pravnih korisnika (C) | 2.056 |

| | |
|---------------------|-----|
| € / tona (Biootpad) | 105 |
| € / tona (MKO) | 100 |

| | |
|------------------------------|-------|
| € / tona (biootpad - o dvoz) | 24,67 |
|------------------------------|-------|

IZRAČUN ZA KOLIČINU PRIKUPLJENU U SKLOPU JUSO

| Volumen | Broj spremnika | Broj pražnjenja 1 x tjedno | Popunjenost spremnika | Ukupni ispražnjeni volumen (L) | Ukupni ispražnjeni volumen (m ³) | 1/6 | 360 | Masa BIO (tona/tjedan) | Masa BIO (tona/godina) | Σ [t] | |
|--------------------|----------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|--|------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------|------|
| | | | | | | Omjer sabijanja otpada | Gustoća BIO (kg/m ³) | | | | |
| 120 (treba dati) | 624 | 1 | 0,6 | 44.942 | 45 | 0,17 | 360 | 2,7 | 140,2 | 140,2 | |
| 120 (pravne osobe) | 226 | 1 | 0,8 | 21.696 | 22 | 0,17 | 360 | 1,3 | 67,7 | 128,2 | |
| 240 (pravne osobe) | 101 | 1 | 0,8 | 19.392 | 19 | 0,17 | 360 | 1,2 | 60,5 | | |
| 120 | 1.851 | 1 | 0,7 | 155.501 | 156 | 0,17 | 360 | 9,3 | 485,2 | 2.535,7 | |
| 240 | 652 | 1 | 0,7 | 109.536 | 110 | 1,00 | 360 | 39,4 | 2.050,5 | 2.663,9 | |
| | | | | | | | | | | Odstupanje | 1,1% |

Tablica 1 - Izračun količine biootpada prikupljenog u sklopu javne usluge

Budući da je glavni cilj ovog rada analiza metoda smanjenja tokova biootpada, u nastavku je potrebno uzeti u obzir način na koji se biootpad trenutno zbrinjava. Po evidenciji Čistoće 6.450 korisnika u individualnom stanovanju biootpad zbrinjava vlastitim kompostiranjem, dok ih 1.800 ima kante od 120L te biootpad predaju Čistoći na tjednoj bazi. Korisnici u kolektivnom stanovanju biootpad većinski odlažu u kante od 240L te ga također jednom tjedno predaju Čistoći. Pretpostavka je da u kolektivnom stanovanju 70% korisnika odvaja biootpad, dok ga preostalih 30% odlaže u miješani komunalni otpad.

Temeljem terenskog anketiranja korisnika koji su evidentirani da u individualnom stanovanju kompostiraju izračunat je njihov stvaran broj. Od ukupnog broja kućanstava koja su obišta (njih 586), izuzevši one koji u trenutku anketiranja nisu bili doma, njih 286 je provodilo nekakav oblik kompostiranja, dok je njih 55 biootpad odlagalo s miješanim komunalnim otpadom. Iz omjera onih koji ne kompostiraju i ukupnog broja obištenih korisnika proizlazi da njih 16,13% ne kompostira te im je potrebno dodijeliti kantu za biootpad. Budući da je istraživanje provedeno u 5 različitih i međusobno odvojenih kvartova, ovaj postotak se može uzeti kao reprezentativni prikaz stanja na nivou grada. Ako se taj postotak primijeni na ukupan broj korisnika koji po evidenciji navodno kompostira, dobije se brojka od 1.040. Kad se ta brojka uvrsti u prvi redak tablice 1, može se izračunati da je iznos dodatne mase biootpada koju je potrebno poslati na zbrinjavanje jednak 264,9 t.

IZRAČUN - KOMPOSTERI

| Komposter | Ukupni broj u evidenciji | Ima komposter (utvrđeno) | Nema komposter (utvrđeno) | Provjereno (ukupno) | Stvaran % s komposterom | Stvaran % bez kompostera |
|-----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| - | 6450 | 286 | 55 | 341 | 83,87% | 16,13% |

Tablica 2 - Izračun stvarnog broja korisnika s komposterima

Ukoliko je cijena zbrinjavanja biootpada u bioplinskom postrojenju koju Čistoća plaća 105 €/t + PDV, troškovi zbrinjavanja prikupljenog biootpada će godišnje iznositi 14.723 €, uz pretpostavku da će zbog vremena privikavanja novih korisnika samo 60% spremnika biti u upotrebi, te da su popunjeni nešto više od pola (popunjenost 60%). Troškovi sakupljanja biootpada, koji obuhvaćaju plaće vozača i radnika na utovaru te troškove goriva za kamione kojima se otpad prikuplja iznositi će 3.456 € godišnje. Dodatan trošak je i nabava 1.040 kanti od 120L, koje Čistoća nabavlja po cijeni od 21 € po komadu. Troškovi nabave kanti će onda iznositi dodatnih 21.840 € kao početna

investicija. Paralelno s tim, tih 1.040 korisnika više neće imati mjesečni popust od 2,2 €, što na godišnjoj razini iznosi 27.456 € dodatnog prihoda za Čistoću. Generirani otpad se više neće odvoziti kao MKO čije zbrinjavanje košta 100 €/t, već kao biootpad čije zbrinjavanje košta 105 €/t, što znači da će troškovi zbrinjavanja porasti i to za 701 €. Kad se ovi parametri uzmu u obzir, ovim potezom Čistoća može očekivati inicijalni prihod od 1.456 €.

S vremenom se očekuje privikavanje korisnika na odvajanje biootpada, čime dolazi do dodatnog rasta količina biootpada na 267,77 t te posljedično rasta troškova sakupljanja i zbrinjavanja, kako je prikazano u tablici 3. Budući da je nabava kanti početna investicija, iz računice već u sljedećoj godini nestaje trošak njihove nabave. U tom slučaju prihod na godišnjoj razini iznosi 19.689 €, što u ovom segmentu predstavlja porast od 1352,5% u odnosu na prethodnu godinu.

| PRIHOD OD 2,2€ ZA BIOOTPAD (120L) | | | ZBRINJAVANJE TOG OTPADA | | INICIJALNO | NAKON PRIVIKAVANJA | |
|-----------------------------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------|----------|
| Broj korisnika (dati kantu) | Popust/mj | Popust/god | BIO [t/godina] inicijalno | BIO [t/godina] nakon privikavanja | | | |
| 1.040 | 2,20 € | 27.456 € | 140,2 | 261,77 | Zbrinjavanje BIO | 14.723 € | 27.486 € |
| | | | | | Sakupljanje | 3.459 € | 6.458 € |
| | | | | | Zbrinjavanje kao MKO | 14.022 € | 26.177 € |
| | | | | | Poskupljenje zbrinjavanja | 701 € | 1.309 € |
| | | | | | Nabava kanti | 21.840 € | - |
| | | | | | Prihod | 1.456 € | 19.689 € |
| | | | | | Rast/pad: | 1352,5% | |

Tablica 3 - Izračun financijskoj aspekta podjele kanti korisnicima koji nemaju kompostere

8.3 Smanjenje biootpada u zgradama

Ukupan broj domaćinstava u kolektivnom stanovanju kojima Čistoća pruža uslugu odvoza otpada je 8.873. U daljnjem izračunu će se pretpostaviti da 70% tih korisnika odvaja biootpad, što se svodi na 6.186 korisnika čiji biootpad se trenutno odvozi odvojeno od MKO-a. Ugradnja drobilica za zgrade predstavlja odlično rješenje u vidu efikasnog „nestanka“ biootpada, budući da se on dalje transportira kanalizacijskim sustavom te se gubi transportna komponenta gospodarenja ovim otpadom. S druge strane, ugradnja drobilica ne predstavlja potpunu zamjenu za konvencionalno prikupljanje biootpada u kantama, budući da mnoštvo zgrada u Varaždinu, pogotovo one manje, ima vrtove koje uređuju sami stanari i tako nastali vrtni otpad nije prikladan za ovakvo zbrinjavanje.

Faktori koji su uključeni u analizu izvedivosti uvođenja ovakvog sustava su sljedeći

1. Tržišna cijena drobilica
2. Mogućnosti sufinanciranja
3. Postotak zainteresiranih korisnika
4. Opravdanost ugradnje kod pojedinih korisnika
5. Postotak biootpada zbrinut korištenjem drobilica
6. Trenutni troškovi sakupljanja otpada

Cijene drobilica na tržištu se kreću u rasponu od 265 do 2000 € po komadu. Za potrebe ove analize uzeta je najjeftinija drobilica, model ELLECI 500 TOP, čija je pojedinačna cijena 265€. Za potrebe ovog projekta nabavila bi se velika količina, pa se može očekivati popust te se ukupna cijena drobilice zajedno s ugradnjom može svesti na 250 €.

Prije upuštanja u projekt, potrebno je utvrditi mogućnosti sufinanciranja od strane Europske Unije, Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (u daljnjem tekstu i tablicama FZOEU ili Fond) ili nekog drugog tijela, budući da se projektom nastoji smanjiti negativan utjecaj biootpada na životnu cjelinu, okoliš te klimatske promjene.

Postotak korisnika zainteresiranih za ugradnju drobilica u svom domaćinstvu ovisi o mnoštvu faktora i teško ga je jednoznačno odrediti. Može biti riječ o osobnim preferencama koje se tiču navike (dugogodišnje korištenje klasičnog zbrinjavanja bacanjem u kantu), straha od skupih troškova održavanja ili potencijalne zamjene nakon dugogodišnjeg korištenja, negativnog utjecaja na odvodnu infrastrukturu i slično. Iz tog razloga analizirana su 3 slučaja – s malim interesom od 30% ukupnog broja korisnika u zgradama, srednjim interesom od 40% i velikim interesom od 60%.

Opravdanost ugradnje kod pojedinih korisnika uvelike je povezana sa samim interesom korisnika. Primjerice, ugradnja kod korisnika koji u objektu borave manje od mjesec dana nema previše smisla u odnosu na one koji će drobilice svakodnevno koristiti. Isto tako, neke manje zgrade u svojim dvorištima proizvode vlastiti kompost te ga cirkularno koriste za gnojidbu biljaka te sa stajališta resursa ugradnja drobilica predstavlja gubitak. Budući da se opravdanost kao parametar uvelike preklapa sa zainteresiranošću korisnika, u izračunu su isti spojeni u jedan faktor.

Postotak biootpada zbrinut korištenjem drobilica odnosi se na omjer biootpada koji će se zbrinjavati u njima u odnosu na konvencionalno zbrinut biootpad u sklopu javne usluge

sakupljanja otpada. U pravilu je riječ o vrtnom otpadu koji se mora posebno odvoziti. Budući da vrtni otpad za povećani broj zgrada zbrinjavaju firme koje za njih obavljaju održavanje (Parkovi d.o.o., privatni vrtlari), može se reći da količina biootpada koja se treba odvoziti čini oko 20% ukupne količine. Ovaj faktor je stoga postavljen na 80%.

Uz gore navedene faktore koji se primatno tiču same investicije, potrebno je u obzir uzeti i troškove sakupljanja biootpada. Uzeto je u obzir:

1. Radna snaga
 - a. Plaća vozača kamiona – 2500 €/mj.
 - b. Plaća radnika na utovaru – 2000 €/mj.
2. Potrošnja goriva kamiona za odvoz – 6 l/h
3. Cijena goriva – 1,5 €/l

Pretpostavka je da će ugradnja drobilica uvelike smanjiti potrebu za konvencionalnim načinom prikupljanja kamionima.

Po prethodno objašnjenim faktorima izrađena su tri modela izvedivosti ugradnje kuhinjskih drobilica, svaki sa svojim financijskim aspektom. Cijena drobilica s ugradnjom za sva tri modela je jednaka i iznosi 250 €.

Posebno je po pitanju mase nastalog biootpada analiziran utjecaj na korisnike koji biootpad odvajaju te na one koji ga odlažu zajedno s MKO.

8.3.1 Model 1

Prvi model pretpostavlja mali interes korisnika za ugradnju drobilica, i to 30% od ukupnog broja korisnika koji živi u kolektivnom stanovanju. Uz pretpostavku da ne postoji sufinanciranje Fonda ili nekog drugog izvora, te uzevši da postotak biootpada zbrinut drobilicama iznosi 80% ukupne količine biootpada generirane u kolektivnom stanovanju, kod korisnika koji su dosad odvajali biootpad se dolazi do količine od 374 tone biootpada, dok se kod korisnika koji dosad nisu odvajali dolazi do 160 t biootpada. Ukupna količina na taj način zbrinutog biootpada iznosi 534 tone, što predstavlja uštedu od 43.188 € godišnje u vidu troškova zbrinjavanja u bioplinskom postrojenju te 13.170 €

godišnje za prikupljanje tog biootpada. Sama cijena ugradnje drobilica iznosi 397.665 €, te se povrat investicije očekuje za 12 godina. Ukoliko se uspije ostvariti sufinanciranje Fonda od 40%, cijena ugradnje drobilica je 397.665 € uz povrat investicije od 7 godina. U nastavku je izvršena provjera ovog izračuna. Podaci su prikazani u tablici 4.

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (240L kante)

| | |
|--|------------------|
| Broj korisnika u zgradama (ukupno) | 8.837 |
| Broj korisnika u zgradama (koji odvaja biootpad) | 6.186 |
| BIO [t] | 1.557 |
| Zbrinjavanje [€] | 163.488 € |
| Sakupljanje [€] | 38.412 € |
| Ukupno [€] - kante | 201.900 € |

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (iz MKO)

| | |
|---|-----------------|
| Broj korisnika u zgradama (koji ne odvaja biootpad) | 2.651 |
| BIO iz MKO [t] | 667 |
| Zbrinjavanje kao MKO [€] | 66.730 € |
| Sakupljanje [€] | 16.462 € |
| Ukupno [€] - BIO iz MKO | 83.192 € |

| | |
|---|------------------|
| Cijena drobilice (tržište) | 250 € |
| Sufinanciranje (FZOEU,...) | 40,00% |
| % zainteresiranih korisnika | 30,00% |
| Ugradnja uz sufinanciranje [€/kom] | 150 € |
| Ukupna cijena ugradnje [€] | 397.665 € |

BIO koji se može zbrinuti ugradnjom drobilica

| | | |
|---|-----------------|-----|
| % BIO koji se može samljati | 80% | |
| BIO [t/sva domaćinstva] - odvajaju | 374 | 534 |
| BIO [t/sva domaćinstva] - ne odvajaju | 160 | |
| - Δ Cijena zbrinjavanja [€] | 43.188 € | |
| - Δ Cijena sakupljanja [€] | 13.170 € | |
| - Δ Ukupno [€] | 56.358 € | |
| Vrije povrata investicije [godine] | 7,1 | |

Tablica 4 - model 1

Kako bi se provjerio izračun povećanja odvajanja biootpada na ovaj način, potrebno je uzeti potencijalno povećanje broja korisnika koji će uvođenjem drobilica prestati zbrinjavati biootpad zajedno s MKO. U ovaj izračun nije uključen vrtni otpad, koji čini 20% ukupne količine nastale u zgradama, te je stoga cijeli izraz pomnožen s 0,8. Za izračun mase biootpada koja se šalje na zbrinjavanje korišten je, među ostalim, podatak o 70% korisnika koji u kolektivnom stanovanju odvajaju biootpad u kante, odnosno 6.186 korisnika. Pod pretpostavkom da svi korisnici koji kod sebe ugrade drobilice odmah njima počinju obrađivati biootpad, povećanje biootpada se može izračunati oduzimanjem količine biootpada koju bi prikupili svi korisnici s količinom koju trenutno prikupi 70% ukupnog broja korisnika, te je pritom svaku vrijednost potrebno pomnožiti s postotkom zainteresiranosti. U ovom slučaju, vrijedi sljedeće:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{bio od hrane}} &= (0,25 \text{ t/domaćinstvo} - 0,7 * 0,25 \text{ t/domaćinstvo}) * 0,8 \\
 &= 0,06 \text{ t/domaćinstvo} \\
 &= 60 \text{ kg/domaćinstvo}
 \end{aligned}$$

Kako bi se dobila masa za sva uključena domaćinstva, potrebno je iznos pomnožiti s ukupnim brojem domaćinstava gdje se potencijalno može ugraditi drobilica. Postotak zainteresiranih je uračunat kao faktor 0,3.

$$\begin{aligned}
 m_{\text{bio od hrane}} &= 0,3 * 0,06 \text{ t/domaćinstvo} * 8.837 \text{ domaćinstava} \\
 &= 159,07 \text{ t}
 \end{aligned}$$

8.3.2 Model 2

Drugi model pretpostavlja nešto veći interes za ugradnju drobilica, i to od 40% korisnika u kolektivnom stanovanju. Bez sufinanciranja i uz identičan postotak od 80% drobilicama zbrinutog biootpada, dolazi se do troška ugradnje od 883.700 €. Količina biootpada kod korisnika koji odvajaju biootpad iznosi 498 t, dok je kod onih koji ne odvajaju riječ o 214 t, što predstavlja uštedu od 57.584 € godišnje na račun zbrinjavanja biootpada i 17.560 € godišnje na račun prikupljanja biootpada, što sveukupno iznosi 75.144 €. Uz sufinanciranje nabave i ugradnje drobilica od 40%, troškovi ugradnje padaju na 530.220 €, dok se povrat investicije očekuje za 7 godina.

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (240L kante)

| | |
|--|-----------|
| Broj korisnika u zgradama (ukupno) | 8.837 |
| Broj korisnika u zgradama (koji odvaja biootpad) | 6.186 |
| BIO [t] | 1.557 |
| Zbrinjavanje [€] | 163.488 € |
| Sakupljanje [€] | 38.412 € |
| Ukupno [€] - kante | 201.900 € |

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (iz MKO)

| | |
|---|----------|
| Broj korisnika u zgradama (koji ne odvaja biootpad) | 2.651 |
| BIO iz MKO [t] | 667 |
| Zbrinjavanje kao MKO [€] | 66.730 € |
| Sakupljanje [€] | 16.462 € |
| Ukupno [€] - BIO iz MKO | 83.192 € |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Cijena drobilice (tržište) | 250 € |
| Sufinanciranje (FZOEU,...) | 40,00% |
| % zainteresiranih korisnika | 40,00% |
| Ugradnja uz sufinanciranje [€/kom] | 150 € |
| Ukupna cijena ugradnje [€] | 530.220 € |

BIO koji se može zbrinuti ugradnjom drobilica

| | | |
|---------------------------------------|----------|-----|
| % BIO koji se može samljeti | 80% | |
| BIO [t/sva domaćinstva] - odvajaju | 498 | 712 |
| BIO [t/sva domaćinstva] - ne odvajaju | 214 | |
| - Δ Cijena zbrinjavanja [€] | 57.584 € | |
| - Δ Cijena sakupljanja [€] | 17.560 € | |
| - Δ Ukupno [€] | 75.144 € | |
| Vrije povrata investicije [godine] | 7,1 | |

Tablica 5 - model 2

U oba modela se može primijetiti da vrijeme povrata ne ovisi o postotku zainteresiranih korisnika, budući da trend rasta količine biootpada zbrinutog drobilicama linearno prati trend pada količine biootpada poslanog u bioplinsko postrojenje. Vrijeme povrata ovisi

isključivo o sufinanciranju te postotku biootpada za koji se očekuje da će biti zbrinut drobilicama.

Povećanje količina biootpada za jedno domaćinstvo u ovom slučaju iznosi:

$$\begin{aligned}m_{\text{bio od hrane}} &= (0,25 \text{ t/domaćinstvo} - 0,7 * 0,25 \text{ t/domaćinstvo}) * 0,8 \\ &= 0,06 \text{ t/domaćinstvo} \\ &= 60 \text{ kg/domaćinstvo}\end{aligned}$$

Za sva uključena domaćinstva:

$$\begin{aligned}m_{\text{bio}} &= 0,4 * 0,06 \text{ t/domaćinstvo} * 8.837 \text{ domaćinstava} \\ &= 212,1 \text{ t}\end{aligned}$$

8.3.3 Model 3

Treći model uzima u obzir najveći interes korisnika za ugradnju drobilica, i to od 60% domaćinstava. Bez sufinanciranja troškovi ugradnje drobilica iznose 1.325.550 €. U tom slučaju bi količina biootpada kod korisnika koji odvajaju biootpad iznosila 747 t, dok bi kod onih koji ne odvajaju iznosila 320 t. Godišnji troškovi zbrinjavanja biootpada će stoga biti manji za 86.376 €, a sakupljanja biootpada 26.340 €. Uz sufinanciranje u postotku od 40% dolazi se do iznosa od 795.330 € za ugradnju drobilica. Vremena povrata investicije su jednaka iznosima iz prošla dva modela.

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (240L kante)

| | |
|--|-----------|
| Broj korisnika u zgradama (ukupno) | 8.837 |
| Broj korisnika u zgradama (koji odvaja biootpad) | 6.186 |
| BIO [t] | 1.557 |
| Zbrinjavanje [€] | 163.488 € |
| Sakupljanje [€] | 38.412 € |
| Ukupno [€] - kante | 201.900 € |

KOLIČINE BIOOTPADA - ZGRADE (iz MKO)

| | |
|---|-----------------|
| Broj korisnika u zgradama (koji ne odvaja biootpad) | 2.651 |
| BIO iz MKO [t] | 667 |
| Zbrinjavanje kao MKO [€] | 66.730 € |
| Sakupljanje [€] | 16.462 € |
| Ukupno [€] - BIO iz MKO | 83.192 € |

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Cijena drobilice (tržište) | 250 € |
| Sufinanciranje (FZOEU,...) | 40,00% |
| % zainteresiranih korisnika | 60,00% |
| Ugradnja uz sufinanciranje [€/kom] | 150 € |
| Ukupna cijena ugradnje [€] | 795.330 € |

BIO koji se može zbrinuti ugradnjom drobilica

| | | |
|---------------------------------------|------------------|------|
| % BIO koji se može samljeti | 80% | 1068 |
| BIO [t/sva domaćinstva] - odvajaju | 747 | |
| BIO [t/sva domaćinstva] - ne odvajaju | 320 | |
| - Δ Cijena zbrinjavanja [€] | 86.376 € | |
| - Δ Cijena sakupljanja [€] | 26.340 € | |
| - Δ Ukupno [€] | 112.716 € | |
| Vrije povrata investicije [godine] | 7,1 | |

Tablica 6 - model 3

Povećanje količina biootpada za jedno domaćinstvo u ovom slučaju opet iznosi:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{bio od hrane}} &= (0,25 \text{ t/domaćinstvo} - 0,7 * 0,25 \text{ t/domaćinstvo}) * 0,8 \\
 &= 0,06 \text{ t/domaćinstvo} \\
 &= 60 \text{ kg/domaćinstvo}
 \end{aligned}$$

Za sva uključena domaćinstva:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{bio}} &= 0,6 * 0,06 \text{ t/domaćinstvo} * 8.837 \text{ domaćinstava} \\
 &= 318,13 \text{ t}
 \end{aligned}$$

Uz ugradnju drobilica, u zgradama je moguće provoditi i ostale alternativne načine zbrinjavanja biootpada, samo na puno manjoj skali. Primjerice, bokashi kompostiranjem biootpad ne nestaje, te ga je na taj način obrađenog (fermentiranog) potrebno iskoristiti za oplemenjivanje tla. U slučaju uzgajanja manjeg broja biljaka na balkonu, isto je moguće sprovesti. Druga varijanta je korištenje gnojiva u vrtu koje se nalazi u sklopu neke druge nekretnine kao što je obiteljska kuća ili vikendica. U nedostatku te opcije, fermentirani biootpad se nema gdje zbrinuti i sam postupak nema smisla.

8.4 Smanjenje biootpada u kućanstvima

Ranije su razmotrene opcije za smanjenje biootpada kod korisnika u individualnom stanovanju, a primarno se radilo o različitim vrstama kompostiranja – konvencionalno, bokashi i vermikompostiranje.

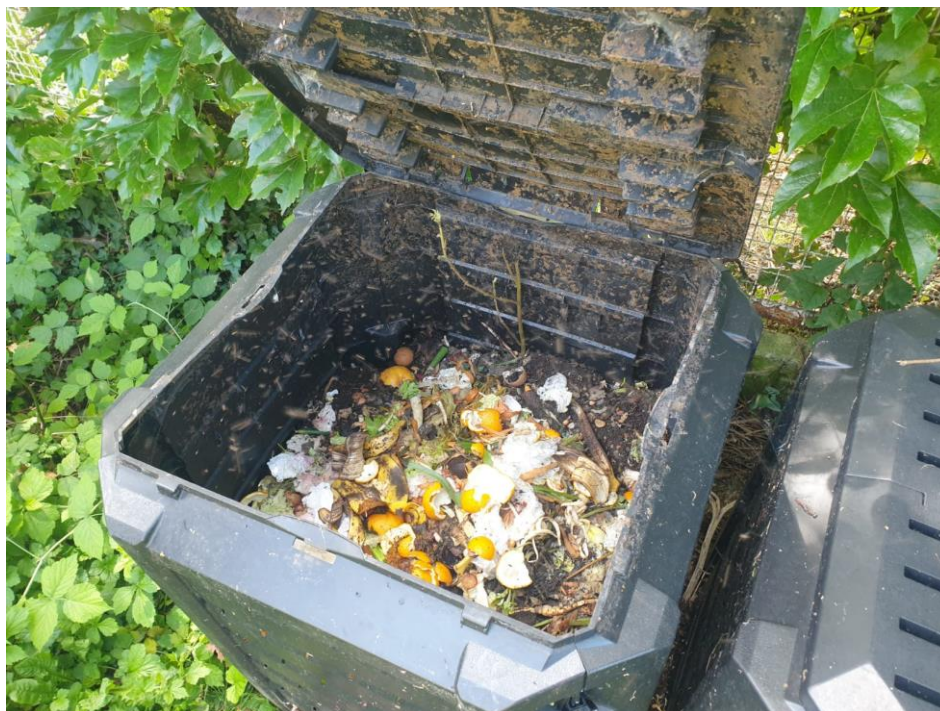
Zbog velike količine vrtnog otpada u kućanstvima, jedini od gore navedenih načina zbrinjavanja koji pruža potpuno rješenje za on-site zbrinjavanje biootpada jest konvencionalno kompostiranje. Bokashi kompostiranje je prikladno za manje količine kuhinjskog biootpada, ali ne i za velike količine trave i lišća primarno zbog cijene kulture za posipanje.

Vermikompostiranje bi u slučaju velikih količina zahtijevalo veliku količinu crva, velike spremnike te posljedično mnogo posla oko pripreme samog komposta za korištenje nakon završenog procesa obrade.

Uz to, treba imati na umu da se implementacija ovih metoda razmatrala samo kod onih koji trenutno biootpad odlažu u kante od 120L, bez onih koji trenutno kompostiraju budući da oni biootpad već zbrinjavaju na najodrživiji način. Ako se izuzme tehnička strana ovih procesa, ta skupina korisnika koristi kante upravo kako ne bi morali ulagati trud i vrijeme u kompostiranje. Ostale metode zahtijevaju barem jednaku količinu angažmana, ako ne i više od kompostiranja (vermikompostiranje), te nije izgledno da bi itko od njih pod cijenu svog vremena prihvatio ovakvo zbrinjavanje.

Iz tog razloga nije izvršeno posebno modeliranje za individualna stanovanja. Svaka investicija ka alternativnim načinima zbrinjavanja može se smatrati isključivo

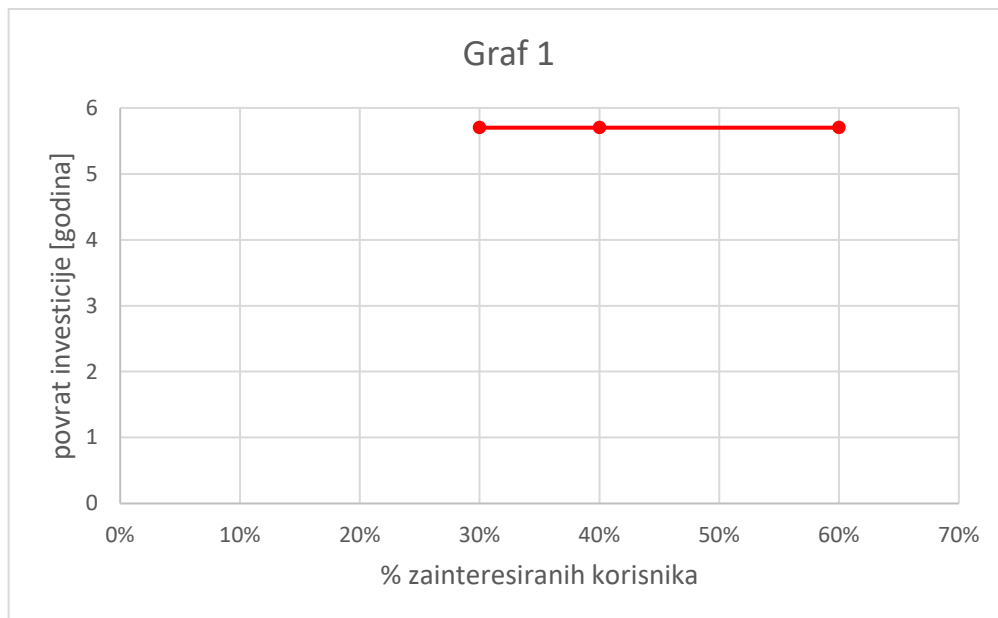
individualnim predmetom i zbog jako malog postotka u odnosu na ukupan broj korisnika doprinos bi bio zanemariv.



Slika 21 – vrtni komposter

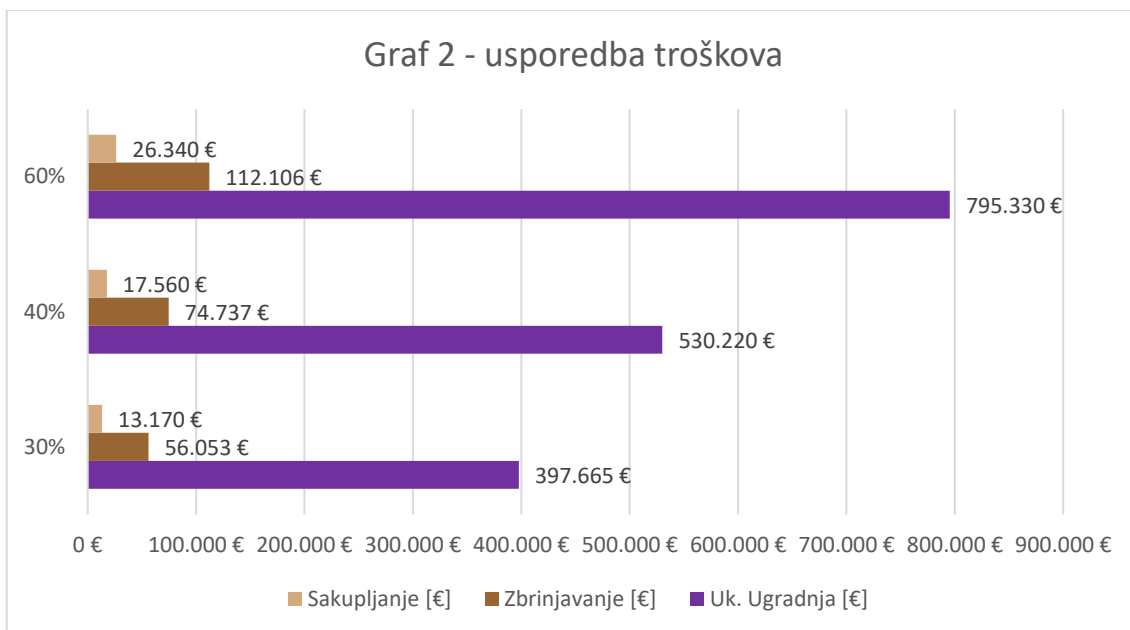
DISKUSIJA

Sva tri modela su pokazala da je ugradnja drobilica za obradu biootpada sama po sebi dosta skupa investicija. Ukoliko bi se nabava i ugradnja vršila iz vlastitih prihoda, vrijeme otplate investicije bi iznosilo 10 godina. S obzirom da Fond ovakve projekte sufinancira u postotku od 40%, investicija bi se otplatila za 7 godina, što je dosta brzo. Vrijeme povrata investicije ne ovisi o postotku zainteresiranih domaćinstava, već isključivo o sufinanciranju i masi biootpada zbrinutog drobilicama (postotku od ukupno generiranog biootpada u domaćinstvu). Taj odnos je prikazan na Grafu 1.



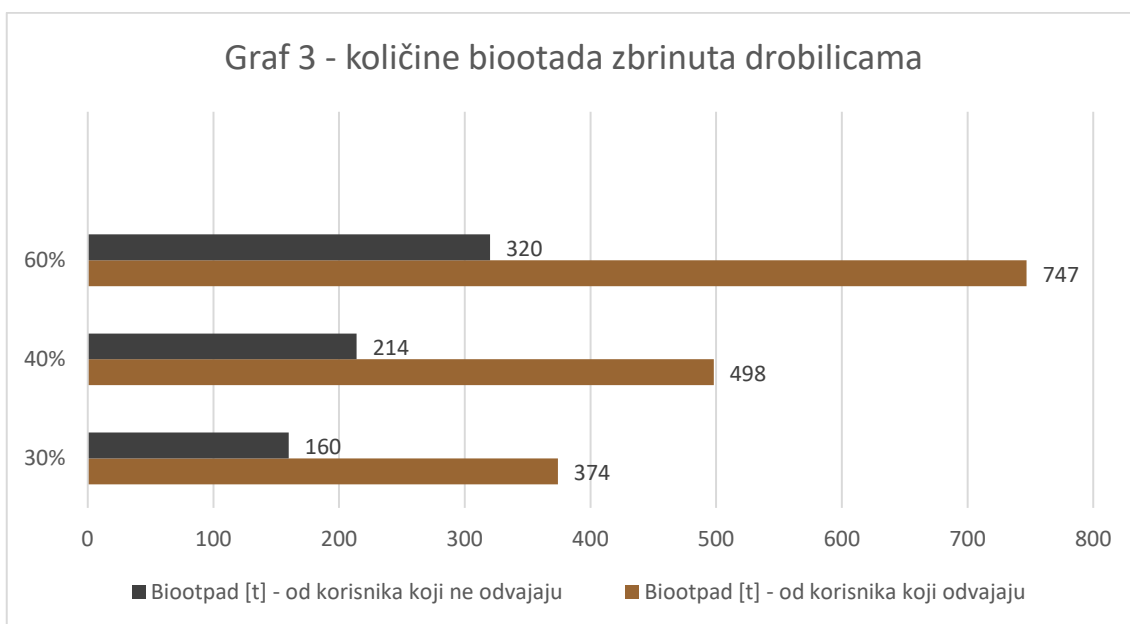
Slika 22 - Odnos postotka sufinanciranja i vremena povrata investicije u godinama

S druge strane, troškovi prikupljanja i zbrinjavanja biootpada ovise isključivo o postotku korisnika koji ga generiraju, odnosno postotku korisnika koji iskažu zainteresiranost za ugradnju drobilice te je na grafu 2 prikazan taj odnos. Također se može primijetiti da su troškovi sakupljanja i zbrinjavanja biootpada naspram ukupnog troška ugradnje drobilica dosta maleni.

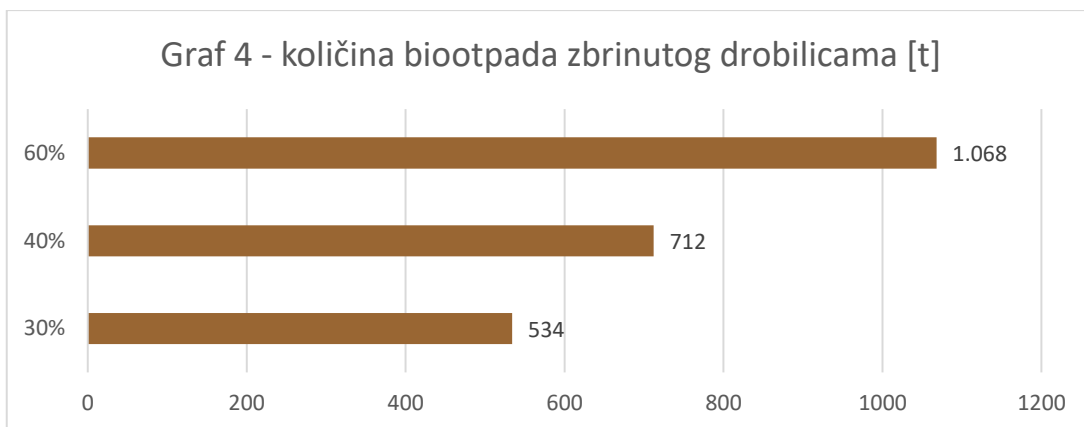


Slika 23 - Usporedba cijene ugradnje s troškovima prikupljanja i zbrinjavanja biootpada

Na grafu 3 prikazane su količine biootpada zbrinute drobilicama kod domaćinstava koja su dosad odvajala otpad, te kod onih koja su ga dosad odlagala s miješanim komunalnim otpadom. S obzirom na njihov broj, odnosno omjer 70%-30%, ovakav odnos je bio očekivan. Na grafu 4 su prikazane ukupne količine biootpada.

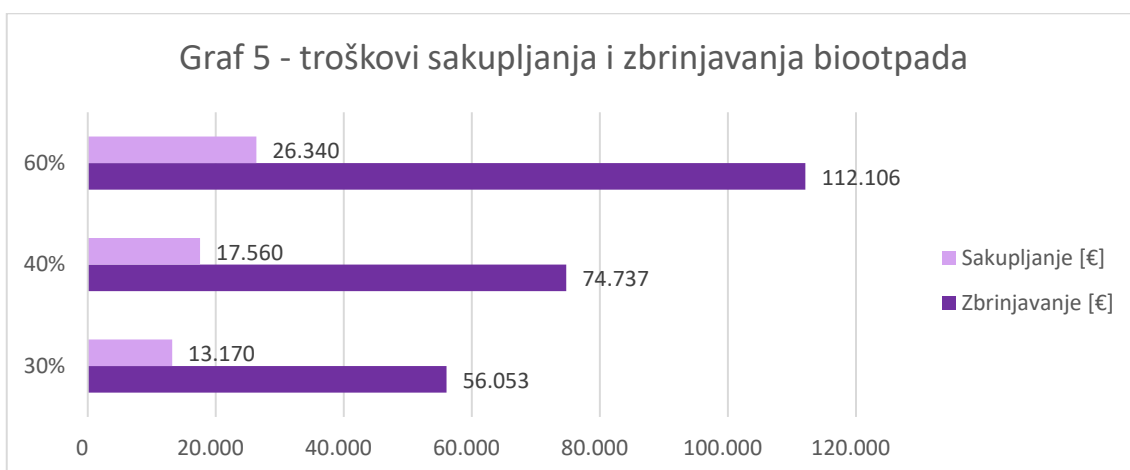


Slika 24 - Usporedba količina biootpada kod korisnika koji su prethodno odvajali biootpad i onih koji to nisu radili



Slika 25 - ukupna količina biootpada zbrinutog drobilicama

Graf 5 prikazuje usporedbu troškova sakupljanja i zbrinjavanja biootpada. Vidljivo je kako troškovi zbrinjavanja iznose čak 80% ukupnih troškova gospodarenja biootpadom.



Slika 26 - usporedba troškova sakupljanja i zbrinjavanja biootpada

Ova analiza je rađena isključivo iz perspektive gospodarenja krutim komunalnim otpadom. Za sagledavanje šire slike potrebno je analizirati utjecaj ovakvog načina sakupljanja na sustav odvodnje, primarno na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda grada Varaždina čiji kapacitet potencijalno ne bi bio dostatan za obradu otpadnih voda s povišenom koncentracijom organske tvari kao posljedicom implementacije ovakvog sustava. Sami kanalizacijski cjevovodi mješovitog tipa su već u startu predimenzionirani, te se s te strane ne očekuju problemi.

9. ZAKLJUČAK

Napravljena je analiza izvedivosti implementacije alternativnih metoda zbrinjavanja biootpada u varaždinskim domaćinstvima, primarno ugradnje drobilica za hranu kod korisnika koji žive u stambenim zgradama.

U istraživanju su korišteni podaci od Čistoće Varaždin, uključujući broj i tip korisnika (kolektivno ili individualno stanovanje), broj i volumen spremnika, količinu prikupljenog biootpada i način njegovog zbrinjavanja te dinamiku odvoza. S financijske strane su u obzir uzeti troškovi nabave i ugradnje drobilica, nabave novih spremnika, troškovi sakupljanja i zbrinjavanja biootpada te mogućnosti sufinanciranja projekta.

Analiza je provedena u Excelu.

Izrađena su tri modela, s 30%, 40%, i 60% zainteresiranosti korisnika za drobilice. Bez sufinanciranja, povrat investicije bi iznosio 12 godina, dok sufinanciranje od strane Fonda u postotku od 40% smanjuje povrat investicije na 7 godina. Troškovi zbrinjavanja i sakupljanja biootpada značajno se smanjuju ugradnjom drobilica budući da se transportna komponenta prebacuje na sustav odvodnje. Smanjenje biootpada u kućanstvima primarno se oslanja na konvencionalno kompostiranje, jer druge metode zahtijevaju značajniji trud korisnika. Investicija u drobilice pokazuje dugoročne uštede, ali zahtijeva inicijalna ulaganja koja se uz sufinanciranje mogu okarakterizirati kao umjerena.

10. LITERATURA

- [1] A. Anić-Vučinić, *Osnove gospodarenja otpadom*, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2014.
- [2] »Waste Atlas Team,« [Mrežno]. Available: <http://www.atlas.d-waste.com/>.
- [3] *Zakon o gospodarenju otpadom*, NN 84/21, 2021.
- [4] <https://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje-otpadom/1345>, pristupljeno: 25.6.2024..
- [5] »Recikliraj-investiraj,« [Mrežno]. Available: <http://www.recikliraj-investiraj.eu/hr/projekt/hijerarhija-gospodarenja-otpadom>.
- [6] »EUR-Lex,« [Mrežno]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/HR/legal-content/glossary/waste-hierarchy.html>.
- [7] Europski parlament, [Mrežno]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/press-room/20180411IPR01518/kruzno-gospodarstvo-vise-recikliranja-i-manje-odlaganja-otpada>. [Pokušaj pristupa 1.6.2024.].
- [8] Environmental Protection Agency, [Mrežno]. Available: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>.
- [9] C. Zhang, T. Xu, H. Feng i S. Chen, »Greenhouse Gas Emissions from Landfills: A Review and Bibliometric Analysis,« *Sustainability*, br. 8, 2019.
- [10] M. Levanić, »Morfološki sastav miješanog komunalnog otpada (diplomski rad),« 2018.
- [11] »Shutterstock,« [Mrežno]. Available: <https://www.shutterstock.com/image-photo/container-full-domestic-food-waste-ready-1671846292>.
- [12] P. Mganga, S. Syafrudin i A. Amirudin, »A Survey of Students' Awareness on Food Waste Problems and Their Behaviour Towards Food Wastage: a Case Study of Diponegoro University (UNDIP), Indonesia.,« *E3S Web of Conferences*, 2021.
- [13] L. Zhang i P. Biao, »Review on Anaerobic Digestion and Disposal Technology of Solid Waste,« *Scientific Journal of Technology 4*, pp. 1-6, 2022.
- [14] A. Tom, R. Pawels i A. Haridas, »Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content,« *Waste Management*, svez. 49, pp. 64-72, 2016.
- [15] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, »Izvješće o komunalnom otpadu za 2022. godinu,« Zagreb, 2023.

- [16] »European Circular Economy Stakeholder Platform,« [Mrežno]. Available: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/toolkits-guidelines/netwap-project-network-small-situ-waste-prevention-and-management-initiatives>.
- [17] Y. Qian, P. Hu, N. Lang-Yona, M. Xu, C. Guo i J.-d. Gu, »Global landfill leachate characteristics: Occurrences and abundances of environmental contaminants and the microbiome,« *Journal of Hazardous Materials*, svez. 461, 2024.
- [18] »Komunalac-Požega,« [Mrežno]. Available: <https://www.komunalac-pozega.hr/novosti/626-eu-projekt-otvorena-kompostana-odvoz-biotpada-krece-u-srpnju>.
- [19] »Murs-Ekom,« [Mrežno]. Available: <https://murs-ekom.hr/izgradnja-i-opremanje-kompostane-mursko-sredisce/>.
- [20] »Grad Đurđevac,« [Mrežno]. Available: <https://djurdjevac.hr/gradska-uprava/zeleni-eu-projekti-za-zeleni-grad-izgradena-i-opremljena-kompostana-udu/>.
- [21] S. Belošević, Županija Varaždinska i slobodni kraljevski grad Varaždin, Zagreb, 1926.
- [22] »Čistoća d.o.o. Varaždin,« [Mrežno]. Available: https://www.cistoca-vz.hr/o_nama.html.
- [23] Grad Varaždin, »Godišnje izvješće o provedbi plana gospodarenja otpadom grada Varaždina za razdoblje od 1. siječnja do 31. prosinca 2022. godine«.
- [24] HAPIH, [Mrežno]. Available: <https://www.hapih.hr/upotrijebiti-do-ili-najbolje-upotrijebiti-do-novi-vodic-za-pomoc-proizvodacima-hrane/>.
- [25] M. A. V. Trillo i M. Soto, »The efficiency of home composting programmes and compost quality,« *Waste Management* 64, 2017.
- [26] R. Vojnović, »Agroklub,« 2019. [Mrežno]. Available: <https://www.agroklub.com/eko-proizvodnja/bokashi-kompostiranje-je-pogodno-za-svaku-kuhinju/55247/>.
- [27] I. ValueFood, Artist, *Bokashi composting bin*. [Art].
- [28] S. Ganti, »Vermicomposting,« *International Journal of Waste Resources* 08, 2018.
- [29] »Bailey Van Tassel - Home Garden,« [Mrežno]. Available: <https://baileyvantassel.com/vermicompost-101-how-to-compost-with-worms/>.
- [30] »Amazon.com,« [Mrežno]. Available: <https://www.amazon.co.uk/Grinder-Disposer-Automatic-Capacity-Grinding/dp/B0B714JLW>.

- [31] »Grad Virovitica,« [Mrežno]. Available: <https://www.virovitica.hr/pilot-projekt-grada-virovitice-za-smanjenje-nastanka-biootpada-fzoeu-ce-sufinancirati-ugradnju-mini-drobilica-u-kuhinjske-sudopere/>.
- [32] »Reencle,« [Mrežno]. Available: <https://reencle.co/products/reencle-food-waste-composter>.

11. POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1 – Proizvedeni komunalni otpad po državama [2]..... | 3 |
| Slika 2 - Hijerarhija gospodarenja otpadom [5]..... | 5 |
| Slika 3 - biorazgradivi otpad iz kuhinja i kantina te vrtova i parkova [11] | 10 |
| Slika 4 - Shematski prikaz aerobne razgradnje organske tvari [12] | 11 |
| Slika 5 - Shematski prikaz anaerobne razgradnje organske tvari [12] | 12 |
| Slika 6 - Količina otpada po glavi (po županijama) [15]..... | 11 |
| Slika 7 - usporedba postotka odvojeno sakupljenog otpada po županijama [15]..... | 12 |
| Slika 8 -Količine biootpada prikupljene od 2012. do 2022. godine | 12 |
| Slika 9 - Udjeli vrsta komunalnog biootpada u ukupnim odvojeno prikupljenim količinama..... | 13 |
| Slika 10 - Kombinacija spremnika od 240L (biootpad), 360L (papir i plastika) i 1100L (MKO) | 15 |
| Slika 11 - Polupodzemni spremnici | 16 |
| Slika 12 - Dvokomorna autosmećarka..... | 17 |
| Slika 13 - posebna autosmećarka za sakupljanje biootpada | 17 |
| Slika 14 - sastav otpada prikupljenog u Varaždinu tijekom 2022. godine | 18 |
| Slika 15 - primjeri proizvoda s različitim deklaracijama..... | 20 |
| Slika 16 - bokashi komposter [27]..... | 22 |
| Slika 17 - spremnik za vermikompostiranje [29]..... | 23 |
| Slika 18 - shematski prikaz kuhinjske drobilice [30] | 25 |
| Slika 19 - Pilot projekt ugradnje drobilica u Virovitici – hodogram [31] | 26 |
| Slika 20 - električni kućni komposter [32] | 27 |
| Slika 21 – vrtni komposter..... | 42 |
| Slika 22 - Odnos postotka sufinanciranja i vremena povrata investicije u godinama | 43 |
| Slika 23 - Usporedba cijene ugradnje s troškovima prikupljanja i zbrinjavanja biootpada | 44 |
| Slika 24 - Usporedba količina biootpada kod korisnika koji su prethodno odvajali biootpad i onih koji to nisu radili..... | 44 |
| Slika 25 - ukupna količina biootpada zbrinutog drobilicama | 45 |
| Slika 26 - usporedba troškova sakupljanja i zbrinjavanja biootpada..... | 45 |

12. POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1 - Izračun količine biootpada prikupljenog u sklopu javne usluge | 31 |
| Tablica 2 - Izračun stvarnog broja korisnika s komposterima..... | 32 |
| Tablica 3 - Izračun financijskoj aspekta podjele kanti korisnicima koji nemaju kompostere..... | 33 |
| Tablica 4 - model 1 | 36 |
| Tablica 5 - model 2 | 38 |
| Tablica 6 - model 3 | 40 |