

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Управљање чврстим отпадом

Број индекса: 342/2014

Катарина Н. Лазаревић

Еколошке перформансе технологија за третман биоразградивог отпада

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Др Горан Бошковић, доцент – ментор**
- 2. Др Небојша Јовичић, редовни проф.**
- 3. Др Саша Јовановић, доцент**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да анализира доступне технологије за третман биоразградивог отпада. Посебна пажња ће бити посвећена еколошким показатељима, односно утицају различитих технологија збрињавања ове фракције комуналног отпада на животну средину. Моделирање различитих модалитета вршиће се коришћењем софтверског пакета EaseTech. На примеру града Крагујевца, спровешће се еколошка анализа постојећег стања, као и предложених идејних решења за третман биоразградивог дела комуналног отпада. Рад треба да сачини следеће целине:

1. Управљање чврстим комуналним отпадом у урбаним срединама
2. Третман биоразградивог отпада
3. Моделирање различитих модалитета применом софтверског пакета EASETECH
4. Анализа могућих решења за третман биоразградивог отпада на град Крагујевац
5. Закључак

Препоручена литература:

- [1] Јовичић, Н., Бошковић Г., Управљање чврстим отпадом, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2014
- [2] Јовановић С., Моделирање еколошко-енергетских и економских перформанси одрживих технологија управљања чврстим отпадом, докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015
- [3] Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Bhander, G. S., Hauschild, M., Christensen, T. H., Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE, Waste Management 27, 2007

Крагујевац, 2017. године

Ментор:

Др Горан Бошковић, доцент

Резиме

Управљање отпадом у Републици Србији, као земљи у транзицији, представља великим делом нерешен проблем. И поред високог удела органске компоненте у отпаду, у Србији не постоји постројење за биолошки третман отпада, као ни постројење за инсинерацију отпада. Стога се, у Републици Србији управљање отпадом заснива на депоновању. Главни изазови у овој области, још увек, се односе на повећање покривености и капацитета за пружање основних услуга – сакупљања, транспорта и одлагања отпада.

Основни циљ овог мастер рада је одређивање еколошких перформанси технологија за третман биоразградивог отпада, као и формирање ефикасне методологије управљања чврстим комуналним отпадом за град Крагујевац.

У првом делу мастер рада дат је детаљан приказ доступних технологија за третман биоразградивог отпада, уз њихове специфичне карактеристике и неопходне услове, као и техничке карактеристике ових технологија.

Други део мастер рада односи се на град Крагујевац, за који је креирано укупно четири различита сценарија управљања комуналним отпадом. Симулација креираних сценарија је извршена коришћењем софтверског пакета EASETECH у циљу анализе стандардних еколошких категорија утицаја.

Најбоље оцењени сценарио предвиђа анаеробну дигестију као опцију третмана биолошког дела отпада, као и постројење за секундарну сепарацију отпада из ког 21% од укупне количине отпада одлази на рециклажу.

Кључне речи: управљање отпадом, комунални отпад, компостирање, анаеробна дигестија, МБТ, животни циклус отпада.

Abstract

Solid waste management in the Republic of Serbia, as a country in transition, is mainly an unresolved issue. Despite the high percentage of the organic component in waste composition, there are neither plants for the biological treatment of waste or plants for waste incineration. Thus waste management in the Republic of Serbia is based on landfilling. The main challenges in this field are still related to increasing the coverage and the capacity to offer the basic services – collection, transport and disposal of waste.

The aim of this master thesis is determining the ecological performances of technology for treatment of biodegradable waste as well as creating the efficient methodology for solid municipal waste management for city of Kragujevac.

The first part of the thesis shows the review of the available technology for treatment of biodegradable waste with their specific characteristics and necessary requirements, as well as their technical characteristics.

The second part of thesis deals with city of Kragujevac for which four different scenarios of municipal waste management were created. The simulation of created scenarios was conducted using software package EASETECH in order to analyze the standard ecological categories of impact.

The highest rated scenario predicts anaerobic digestion as an option for the treatment of the biological part of waste as well as the line for secondary separation of waste. 21% of the total amount of waste is recycled.

Key words: waste management, municipal waste, composting, anaerobic digestion, MBT, life cycle of waste.

Садржај:

1. Уводна разматрања	1
2. Управљање чврстим комуналним отпадом у урбаним срединама	3
2.1. Стратегија управљања отпадом.....	4
2.2. Кључни принципи управљања отпадом	5
2.2.1 Смањење отпада на извору	8
2.2.2 Трансфер станица.....	9
2.2.3 Рециклажни центар.....	9
2.2.4 Центар за компостирање	10
2.2.5 Анаеробна дигестија.....	11
2.2.6 Спалионице комуналног отпада	12
2.2.7 Пиролиза	12
2.2.8 Плазма процес	12
2.2.9 Депонија.....	13
3. Компостирање	15
3.1. Специфичне карактеристике и неопходни услови	15
3.2. Техничке карактеристике.....	18
3.2.1 Компостирање на отвореном	18
3.2.2 Принцип затворених судова	23
4. Анаеробна дигестија.....	27
4.1. Специфичне карактеристике и неопходни услови	28
4.2. Техничке карактеристике.....	29
4.2.1 Утицај температуре на процес анаеробне дигестије	29
4.2.2 рН вредности	31
4.2.3 Амонијак	31
4.3. Сировине које се користе у процесу анаеробне дигестије.....	31
4.4. Биогаз као енергент	32
5. Механичко-биолошки третман / стабилизација отпада	33
5.1. Техничке карактеристике.....	34
5.1.1 Механички третман	34
5.1.2 Биолошки третман	35
6. Симулација различитих сценарија управљања отпадом у граду Крагујевцу применом софтверског пакета EASETECH.....	36
6.1. Управљање отпадом у Крагујевцу	37

6.2 Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја.....	38
7. Закључак	50
8. Литература.....	51

1. Уводна разматрања

Отпад представља сваки материјал настао људским коришћењем који се на различите начине одбацује. Неадекватно управљање отпадом представља један од највећих проблема са аспекта заштите животне средине Републике Србије и искључиво је резултат неадекватног става друштва према отпаду. Посматрано са економског аспекта, отпад се дефинише као негативна појава. Велики део потреба је створен вештачки и питање да ли је потребан толики број различитих производа, који ће након употребе постати отпад. Човек је својим активностима одлучујући чинилац у промени животне средине и настајању отпада захваљујући технолошком напретку и развоју еколошке свести, борба против отпада постаје много успешнија.

Отпад се може поделити:

- према саставу
- према месту настанка
- према токсичности

Састав отпада чини: стакло, органски отпад, пластика, папир и картон, лименке, електрични и електронски уређаји, стара возила, гуме, отпадна уља и мазива, отпадне хемикалије, боје, текстил, метали, дрво.

Према токсичности, отпад се дели на:

- опасан отпад
- неопасан отпад
- инертан отпад

Опасан отпад у суштини представља било који отпад или комбинацију отпада, који сада или у будућности може бити потенцијална опасност за људски, биљни и животињски свет.

Неопасан отпад је отпад који нема карактеристике опасног отпада.

Инертан отпад је отпад који није подложен било којим физичким, хемијским или биолошким променама; не раствара се, не сагорева или на други начин физички или хемијски реагује; није биолошки разградив или не утиче неповољно на друге материје са којима долази у контакт на начин који може да доведе до загађења животне средине или угрози здравље људи.

Према месту настанка, отпад се дели на:

- комунални отпад,
- комерцијални отпад,
- индустријски отпад,
- амбалажни отпад,
- биоразградиви отпад,
- медицински отпад,
- грађевински отпад,
- пољопривредни отпад.

Комунални отпад представља отпад из домаћинства (кућни отпад), као и други отпад који је због своје природе или састава, сличан отпаду из домаћинства. С обзиром да већину комуналног отпада чини отпад настао у домаћинствима, његово генерисање је повезано са стилем живота.

Комерцијални отпад је отпад који настаје у предузећима, установама и другим институцијама које се у целини или делимично баве трговином, услугама, канцеларијским послом, спортом, рекреацијом или забавом, осим отпада из домаћинства и индустријског отпада.

Индустријски отпад је отпад из било које индустрије или са локације на којој се налази индустрија, осим јаловине и пратећих минералних сировина из рудника и каменолома.

Биоразградиви отпад је отпад који је погодан за анаеробну или аеробну разградњу, као што су храна и баштенски отпад, папир, и картон.



Слика 1.1. Приказ разних врста отпада

2. Управљање чврстим комуналним отпадом у урбаним срединама

Настајање комуналног отпада зависи од степена индустријског развоја, животног стандарда, начина живота, социјалног окружења, потрошње и др.

Управљање отпадом представља спровођење прописаних мера за поступање са отпадом у оквиру сакупљања, транспорта, складиштења, третмана, и одлагања отпада, укључујући и надзор над тим активностима и бригу о постројењима за управљање отпадом после затварања.

Високи трошкови, нерационална организација, низак квалитет услуга и недовољна брига за околину, резултат су поразног стања у организацији управљања отпадом.

Отпад и поступање с отпадом јавност је спознала као проблем. Међутим, она га не осећа и не доживљава као свој, него као туђи и за чије решавање је надлежан неко други – држава, локална самоуправа, индустрија итд. У највећем броју случајева, спремност на учешће на решавању овог проблема, јавност показује само када је сама угрожена или уколико је сама заинтересована за његово решавање.

У Србији се још увек у великој мери управљање отпадом своди на одлагање на локалне депоније, које, са веома мало изузетака, не задовољавају ни основне хигијенске и техничко – технолошке услове, а поред свега нека од постојећих одлагалишта су практично попуњена.

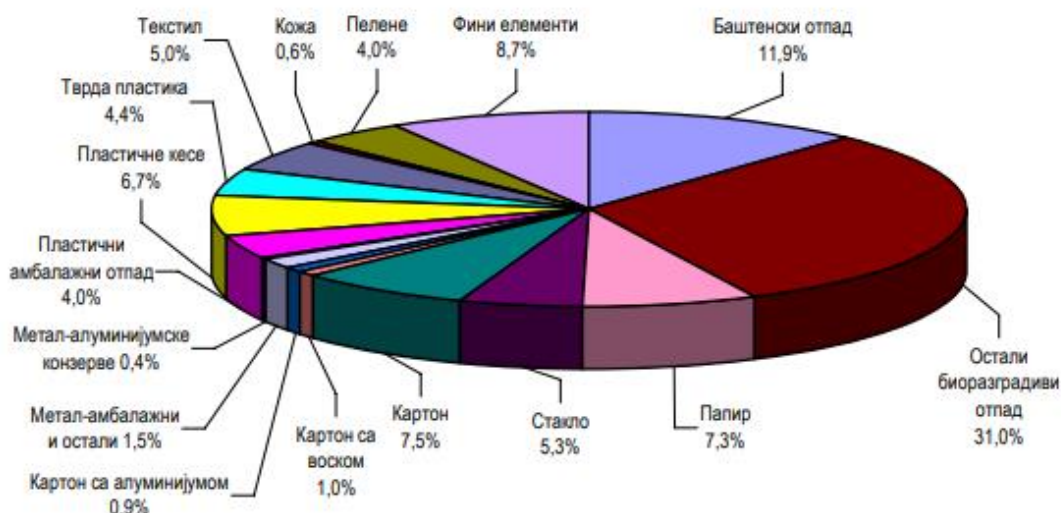
Тренутни број санитарних регионалних депонија износи десет (Агенција за заштиту животне средине, 2018).

Интегрални систем управљања отпадом представља низ делатности и активности који подразумева:

- превенцију настајања отпада,
- смањење количине отпада и његових опасних карактеристика,
- третман отпада,
- планирање и контролу делатности и процеса управљања отпадом,
- транспорт отпада,
- успостављање, рад, затварање и одржавање постројења за третман отпада,
- мониторинг,
- саветовање и образовање у вези делатности и активности на управљању отпадом.

2.1. Стратегија управљања отпадом

У просеку становник Србије дневно генерише 0,87 kg отпада, односно 318 kg отпада годишње. Влада Републике Србије 15.априла 2010. године усвојила је Стратегију управљања отпадом за период од 2010. до 2019. године. (Службени гласник Републике Србије, 2010). Имплементацијом стратегије се постиже велики број циљева од значаја за све нивое власти – од локалне самоуправе до републичког нивоа.



Слика 2.1 Морфолошки састав комуналног отпада у Србији (Јовичић, et.al., 2010)

Основни циљеви Стратегије управљања отпадом су:

- рационално коришћење сировина и енергије и употреба алтернативних горива из отпада
- смањење опасности од непрописно одложеног отпада за будуће генерације
- осигурање стабилних финансијских ресурса и подстицајних механизма за инвестирање и спровођење активности
- успостављање јединственог информационог система о отпаду
- повећање броја становника обухваћених системом сакупљања комуналног отпада
- успостављање стандарда и капацитета за третман отпада
- смањење, поновна употреба и рециклажа отпада
- развијање јавне свести на свим нивоима друштва о проблематици отпада.

Краткорочни циљеви Стратегије подразумевају усклађивање законодавства из ове области са законодавством Европске уније. Под овим циљевима подразумева се изградња 12 регионалних центара за управљање отпадом до 2014. године; успостављање посебних токова отпада; санирање постојећих сметлишта; подстицање коришћења отпада као горива у цементарама; успостављање система управљања опасним отпадом.

Дугорочни циљеви односе се на период од 2015. године до 2019. године и подразумевају изградњу 12 регионалних центара за управљање отпадом, изградњу спалионице медицинског и опасног отпада, успостављање система управљања грађевинским отпадом, поновно искоришћење и рециклажу амбалажног отпада.

Као најважније потребно је издвојити:

- заштиту и унапређење животне средине,
- заштиту здравља људи,
- достизање принципа одрживог управљања отпадом,
- промену става према заштити животне средине и отпаду, као једном од њених сегмената,
- повећање нивоа јавне свести.

2.2. Кључни принципи управљања отпадом

1. Принцип одговорности произвођача

Овај принцип значи да произвођачи, увозници, дистрибутери и продавци производа који утичу на пораст количине отпада сnose одговорност за отпад који настаје услед њихових активности. Произвођач сноси највећу одговорност јер утиче на састав и особине производа и његове амбалаже. Обавеза произвођача је да брине о смањењу настајања отпада, развоју производа који су рециклабилни, развоју тржишта за поновно коришћење и рециклажу својих производа.

2. Принцип примене најпрактичнијих опција за животну средину

Примена најпрактичнијих опција за животну средину установљава, за дате циљеве и околности, опцију или комбинацију опција која даје највећу добит или најмању штету за животну средину у целини уз прихватљиве трошкове и профитабилност, како дугорочно, тако и краткорочно. Принцип најпрактичнијих опција за животну средину је процес доношења одлука који обухвата заштиту и очување животне средине.

3. Принцип одрживог развоја

Одрживи развој подразумева равнотежу између потрошње природних ресурса и способности обнављања природних система. Циљ је да се сачува и унапреди квалитет животне средине за садашње и будуће генерације. Концепт одрживог развоја се може разложити у три основне димензије: еколошка, економска и социјална одрживост (слика 2.2). Кораци ка достизању одрживог развоја укључују: јачање постојећих мера, развој нових мера, повећану интеграцију интереса за животну средину у остале секторске политике, прихватање веће појединачне одговорности за животну средину и активније учешће јавности у процесима доношења одлука.



Слика 2.2 Принцип одрживог развоја

4. Принцип предострожности

Принцип предострожности је принцип по којем се избегава сваки могући ризик од примене нових технологија, све док се потпуно не испита њен утицај на околину и здравље људи.

5. Принцип загађивач плаћа

Принцип "загађивач плаћа" се примењује на одлагање отпада да би се осигурало да су трошкови одлагања отпада, створени од произвођача отпада или од власника отпада, који отпад носи на сакупљање или одлагање. Системи за бележење података и извештавање морају бити установљени за праћење мера које су предузете ради спровођења Директиве, а посебно хијерархије отпада и националних планова за управљање отпадом и да се обезбеди да су прикупљени подаци о називу, адреси, врсти и количини отпада којим се рукује за свако постројење за одлагање опасног отпада.

6. Принцип хијерархије у управљању отпадом

Савремена политика о управљању отпадом базирана је на концепту познатом као хијерархија управљања отпадом. Хијерархија представља редослед приоритета у управљању отпадом (слика 2.3.). Концепт хијерархије управљања отпадом указује да је смањење настајања отпада најбоље решење за животну средину. Међутим, тамо где даље смањење није практично применљиво, производи и материјали могу бити искоришћени поново, било за исту или другу намену. Уколико та могућност не постоји, отпад се даље може искористити кроз рециклажу или компостирање, или за добијање енергије.

Само ако ни једна од претходних опција не пружа одговарајуће решење отпад треба одложити на депонију.

Савремени приступ проблему управљања отпадом (начело хијерархије) подразумева систем управљања, који се састоји у смањивању (избегавању, минимизирању), искоришћењу (рециклажи), поновној употреби, обради и одлагању отпада на начин безбедан по околину. Начело хијерархије тако представља редослед приоритета у пракси управљања отпадом. Систем управљања отпадом такође подразумева одрживи развој, предострожност, начело близине и регионални приступ управљању отпадом, одговорност произвођача опреме и да свако морално и материјално одговара за отпад који производи (Службени гласник Републике Србије, 2010).



Слика 2.3 Хијерархија управљања отпадом

Као што је већ напоменуто смањење настајања отпада је најбоље решење за очување животне средине. Међутим, тамо где смањење отпада није могуће, производи и материјали могу бити искоришћени поново, било за исту или другу намену. Уколико та могућност не постоји, отпад се даље може искористити кроз рециклажу или компостирање, или кроз добијање енергије. Само ако ниједна од претходних опција не даје одговарајуће решење, отпад треба одложити на депонију.

У наставку су дата објашњења основних појмова и третмана отпада.

2.2.1 Смањење отпада на извору

Редукција отпада тј. смањење отпада на извору није опција која се може одабрати у недостатку других опција. Смањивање количине отпада захтева повећање еколошке свести становништва. При куповини треба се опредељивати за производе који нису штетни по околину, односно оне који на амбалажи имају утиснут еколошки знак. Не треба куповати производе кратког века који брзо постају отпад. Треба куповати производе у повратној амбалажи као и производе за чију је амбалажу осигурана рециклажа.

На пример, треба користити повратну стаклену амбалажу за минералну воду, избегавати напитке у металним конзервама, одбити пластичне кесе у трговини и користити платнене врећице итд. Еколошке ознаке у Европској унији имају значајан утицај на тржиште.



Слика 2.4 Еко – ознака за производ са смањеним штетним утицајима на околину



Слика 2.5 Међународно стандардизовани знак за производ направљен од рециклираног материјала и за онај који се може рециклирати



Слика 2.6 Међународно стандардизовани знак који значи да је производ могуће рециклирати. Скраћенице испод знака се односе на различите врсте пластичних материјала

2.2.2 Трансфер станица

Трансфер станица представља место до којег се отпад допрема и привремено складишти ради раздвајања или претовара пре транспорта на друго место ради складиштења, третмана или одлагања. Таквим процесом се смањује волумен отпада и број возила која одлазе на депонију, чиме се значајно смањују финансијска средства неопходна за транспорт отпада.

На слици 2.7 дат је приказ трансфер станице са навозном рампом за метење масе отпада, стационарне пресе за сабијање, шина и помичних колица.



Слика 2.7. Изглед једне трансфер станице

2.2.3 Рециклажни центар

Рециклажни центар је место где се врши поновна прерада отпадних материјала у производном процесу за првобитну намену, органску рециклажу или другу намену, осим у енергетске сврхе. Рециклирање је прикупљање, сепарација или издвајање, чишћење и обрада или процесирање отпадних материјала у материјале који се могу поново користити и продати. Разлози за рециклажу су вишеструки: уштеда у енергији, обновљивим и необновљивим природним ресурсима (руда, нафта, воде, шуме), мање количине отпада за одлагање, смањење трошкова одлагања, смањење потреба за новим депонијама, дужи век трајања санитарних депонија, мање загађење земљишта, воде и ваздуха. Многи материјали могу да се рециклирају, као што су: папир, картон, стакло, керамика, бетон, алуминијум, гвожђе, електронски отпад, батерије, отпадно уље... Раздвајањем отпада на месту настанка добијају се чистије секундарне сировине, од исте издвојене у постројењу за секундарну сепарацију (слика 2.8.).



Слика 2.8 Издајање рециклабилних компоненти на месту настанка

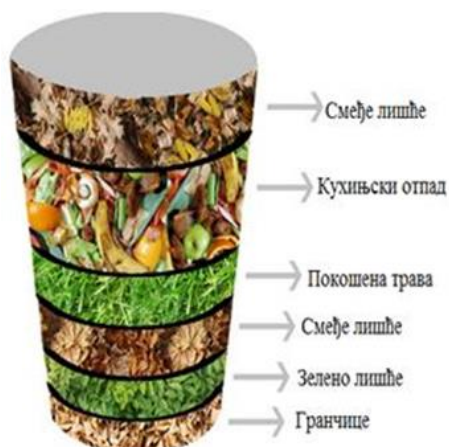
2.2.4 Центар за компостирање

Место где се врши третман чврстог органског отпада под дејством микроорганизама, у циљу стварања компоста, у присуству кисеоника и под контролисаним условима назива се центар за компостирање. Компостирање или стварање компоста (ђубрива) је контролисани распад органских материја у топлом, влажном окружењу деловањем бактерија, гљива и осталих микроорганизама. Компост је изузетно корисно ђубриво (слично хумусу) за побољшање земљишта и квалитетнијег узгоја биљака. Ова врста отпада се може користити за добијање биогаса, ово је један од начина на који се исплати одвојено прикупљање биоразградивог отпада. Биогас је еколошко биогориво које се може користити за производњу електричне енергије или као погонско гориво у возилима, као замена за бензин.

Компостирањем се активно учествује у одговорном односу према отпаду. Предности овог начина третирања отпада се огледају у:

- смањењу запремине отпада и растерећењу депоније,
- смањењу трошкова одлагања отпада,
- повећању квалитета земљишта,
- побољшању квалитета околине.

Тржиште за компост није увек осигурано, а и складиштење компоста може бити проблем за себе. Квалитет компостираног производа је важан уколико за њега постоји тржиште. Искуства показују да иако се органски материјал са депоније може успешно трансформисати у компост, остаци посебно од честица стакла, метала и пластике утичу да га потенцијални потрошачи нерадо користе. Зато се органски отпад за компостирање мора раздвајати на извору и пре одлагања на депонију. У принципу, компостирање се спроводи у два нивоа: прикупљање и издајање органских компоненти (кухињски отпад и баштенски отпад) за компостирање на компостним пољима или у посебним постројењима (најчешће регионалног типа) и промоција самосталног компостирања „у свом дворишту” кроз едукацију и успостављање малих бункера за компостирање. На слици 2.9. се види који све отпад може да се компостира, а на слици 2.10. је пример процеса компостирања.



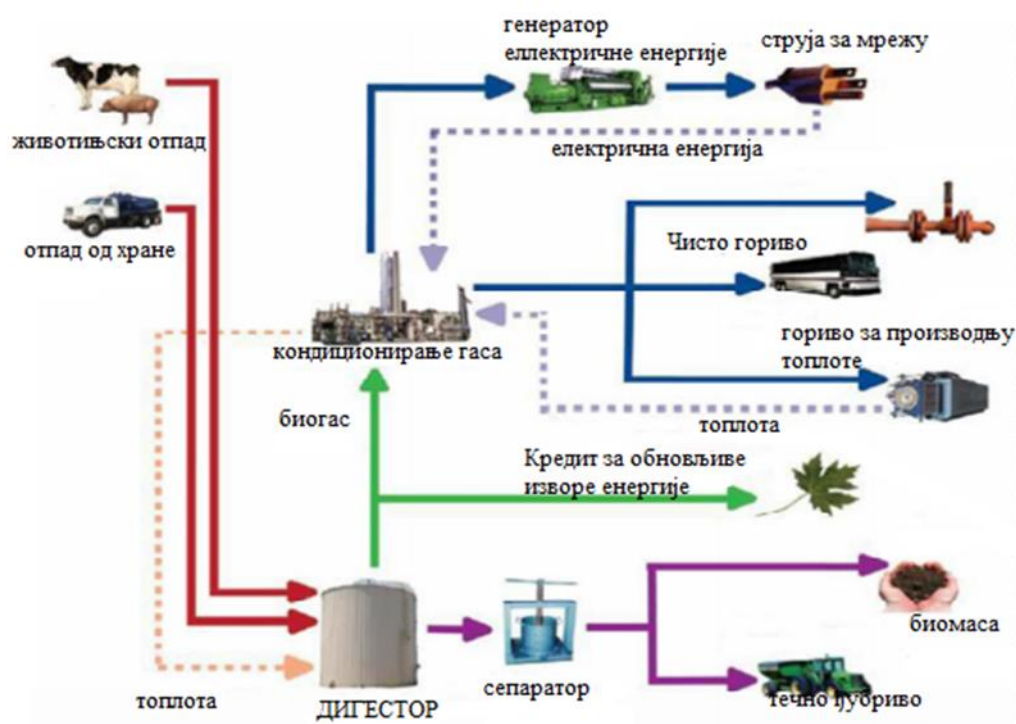
Слика 2.9 Компостна гомила



Слика 2.10 Пример процеса компостирања

2.2.5 Анаеробна дигестија

Анаеробна дигестија је биохемијски процес при којем, у одсуству кисеоника бактерије разлажу органске материје, производећи биогаз. Биогаз се састоји од метана и угљен – диоксида. Ово је једини процес у којем се производи биогаз. Процесом анаеробне дигестије постиже се смањење антропогених емисија гасова који изазивају ефекат стаклене баште. Технологија анаеробне дигестије може смањити непожељне и неконтролисане емисије метана, искоришћењем енергетског потенцијала овог гаса, уз редуковање запремине која се усмерава на депонију. На слици 2.11 је шематски представљен ток коришћења продуката процеса анаеробне дигестије.



Слика 2.11 Дијаграм тока коришћења продуката процеса анаеробне дигестије

2.2.6 Спалионице комуналног отпада

Спалионица је место где се врши процес спаљивања (инсинерације) отпада тј., контролисани термички третман отпада, са или без искоришћења енергије произведене сагоревањем у стационарном или мобилном постројењу, а који обухвата и пиролизу, гасификацију и сагоревање у плазми. Технологија спаљивања отпада представља оксидацију запаљивих материја садржаних у отпаду. Инсинерација је процес контролисаног сагоревања отпада са циљем смањивања запремине отпада и добијање мање опасних састојака, а енергија која се добија из процеса спаљивања се може искористити за добијање топлотне и/или електричне енергије. Међутим, економска оправданост искоришћења енергије није увек прихватљива јер су инвестициони и оперативни трошкови постројења за спаљивање у складу са прописима ЕУ високи, много виши од трошкова одлагања отпада на санитарне депоније комуналног отпада – и до 10 пута већи. Спаљивање је значајан и користан начин редукције отпада и дугорочно се могу избећи проблеми који прате одлагање отпада на депоније. Недостаци овог начина третирања отпада су емисија штетних гасова која путем димних гасова доспева у атмосферу, пораст удела пластике у отпаду доводи до емитовања врло опасних једињења: диоксида и фурана. Све строжи прописи о граничним вредностима штетних емисија у димним гасовима захтевају све сложенија, а самим тим и све скупља постројења.

2.2.7 Пиролиза

Пиролиза је процес током којег долази до разлагања органског отпада на повишеној температури и у одсуству кисеоника. У пракси није могуће потпуно одстранити кисеоник, па долази до оксидације и сагоревања дела материјала. Током процеса долази до трансформисања органских материја из отпада и настанка пиролитичког гаса, уља и чврсте фазе која садржи угљеник и пепео. Према температурама при којима се одвијају, могу се разликовати три варијанте пиролизе: ниско температурна до 500 °C, средње температурна од 500 °C до 800 °C и високо температурна виша од 800 °C. Повећањем температуре реакције повећава се и удео пиролитичког гаса у продуктима реакције, а смањује се удео чврсте и течне фазе. Пиролитички гас се обично спаљује. Димни гасови се користе за грејање или добијање електричне енергије. Пиролиза се користи за производњу керамичких материјала и за производњу материјала високе термичке отпорности.

2.2.8 Плазма процес

Плазма технологија представља алтернативни систем третмана отпада, при чему се енергија ослобађа електричним пражњењем у инертној атмосфери. Овим процесом постижу се температуре од 4.000 °C до 15.000 °C што доводи до разлагања органских материја и топљења неорганских материја.

У гасовитој фази долази до интензивног разлагања органских молекула, што готово у потпуности елиминише штетне емисије. То је уједно и главна предност плазма

поступка. Неорганске материје се након топљења витрификују (стаклизирају), тако да се могу употребити као додатак грађевинском материјалу или се могу безбедно депоновати на регионалним санитарним депонијама. Овакав систем је изузетно скуп и још увек је врло мало у примени.

2.2.9 Депонија

Депонија представља специјално пројектовано место за одлагање отпада на површини или испод површине земље где се отпад коначно одлаже укључујући: интерна места за одлагање (депонија где произвођач одлаже сопствени отпад на месту настанка), стална места (више од једне године) која се користе за привремено складиштење отпада, осим трансфер станица и складиштења отпада пре третмана или поновног искоришћења (период краћи од три године) или складиштења отпада пре одлагања (период краћи од једне године).

Депонија је технолошки уређени технички објекат који има вишеструке намене. Постоје три типа депонија за одлагање отпада: депоније за одлагање неопасног отпада, депоније за одлагање инертног отпада и депоније за одлагање опасног отпада. На депонијама се одлажу одређени типови отпада за које је депонија пројектована. За одлагање неопасног отпада користе се тзв. санитарне депоније које представљају санитарно – технички уређен простор на коме се одлаже отпад који као материјал настаје на јавним површинама, у домаћинствима, у процесу производње, а који нема својства опасних материја и не може се прерађивати односно рационално користити као индустријска сировина или енергетско гориво. Одлагање отпада на санитарне депоније представља контролисано управљање чврстим отпадом. Депоније намењене за одлагање опасног отпада се пројектују са посебним техничким захтевима. Опасан отпад који се одлаже на оваквим депонијама мора бити претходно третиран у складу са прописима.

Према намени имамо поделу депонија на:

- трајне
- и привремене

Депоније се по уређености деле на:

- уређене
- и неуређене

Према стању отпада који се депонује на:

- суве
- и хидрауличне.

Депоније су неопходне у свакој изабраној опцији третмана, јер увек постоји један део отпада који се мора одложити. На слици 2.12 је изглед пресека једне уређене депоније, док се на сликама 2.13 и 2.14 могу видети типично градско сметлиште и дивља депонија.



Слика 2.12 Пресек санитарне депоније



Слика 2.13 Изглед типичног градског сметлишта



Слика 2.14 Изглед дивље депоније

3. Компостирање

Компостирање има за циљ да:

- употреби корисне органске и неорганске материје из биоразградиве отпадне фракције за стварање употребљивог хумуса,
- значајно смањи биолошки разградиви отпад који би постао предмет другог облика третмана отпада, и у супротном одложен на депонију,
- смањи реакциони потенцијал остатка из биолошких поступака обраде, као што је анаеробна дигестија.

Компост представља хумусну материју насталу хумификацијом, односно природним начином труљења и декомпостације (распадања) мртве органске материје биљног порекла. Та материја не мора бити само биљног порекла мада, у овом случају, она представља базу за формирање баштенског компоста.

Компост је сложена творевина полураспаднутих биљних остатака, који под утицајем микроорганизама, атмосфере и времена, постају својеврстан магацин акумулираних минерала, органских киселина и разних елемената, који су доступни биљкама. Ово је најбитнија функција, јер главни адут компоста је тај да представља лако доступну храну за биљке у дужем временском периоду.

3.1. Специфичне карактеристике и неопходни услови

Опције за коришћење компоста:

Компост је посебно погодан за примену у пољопривреди, за употребу у башти и уређењу простора, за производњу воћа и поврћа, радове рекултивације и вртларство у кући. Остаци компостирања могу такође бити употребљени као материјал за покривање депонија и као биофилтер.

Потребне мере заштите:

Издувни ваздух (посебно у области пријема и од механичке обраде) мора се сакупљати и третирати, а поред тога морају се предузети техничке и организационе мере за избегавање и минимизирање емисија (нарочито мириси).

Потенцијални здравствени ризици:

Нарочито на подручју пријема и током поступака механичке обраде треба да се придржава већи ризик од загађења ваздуха са бактеријама и спорама. Техничке и личне мере заштите (стављање маски за уста) на овим местима веома се препоручују како би се избегли потенцијални здравствени ризици.

Одговарајући механизам финансирања:

Трошкови за збрињавање отпада могу бити наплаћени заједно са испоруком отпада у постројење за компостирање или сакупљање путем одговарајућег система за сакупљање (контејнер за биолошки отпад). Алтернативно, трошкови се могу укључити у трошкове или одређену накнаду за услуге општег сакупљања отпада или се надокнадити другим финансирањем (на пр. Порезним) механизмима за финансирање управљања отпадом.

Инфраструктурни услови:

Постројења за компостирање се у основи могу користити на свим местима, пре свега може бити предност да се налазе близу места на којима се генерише одговарајући отпад и на локацијама које имају приступ путној и транспортној мрежи, омогућавајући лакшу продају компоста. Као и код било ког постројења за третман биолошког отпада, потребно је одржавати минимално растојање до најближег стамбеног простора како би се избегли неугодни мириси, глодари.

Климатски услови:

Различити процеси (отворени / затворени) омогућавају да се компостирање у основи користи под било којим климатским условима, изузев врло хладних. Посебно у отвореним процесима треба узети у обзир да високе температуре узрокују брзо исушивање отпадног материјала, а ниским температурама отежавају биолошку деградацију. Коришћење одговарајућег покривача (на пример специјалних мембранских фолија) може бити начин да се избегну такви поремећаји.

Могућности запошљавања:

Компостирање отпада нуди добре могућности за запошљавање и неквалификованог и вишег стручног кадра. У прилично сложеним процесима постоји чак и потреба специјално обученог и квалификованог особља да се брине за управљање објектима и контролу рада.

Услови потребни за компостирање:

- Различите врсте органског отпада који је лако разградив

Треба водити рачуна о величини органске материје у компостеру. Уситњавањем крупнијег материјала (на дужину палца) повећава се брзина компостирања јер се гомила брже загрева. Из искуства је познато да се најбољи резултати постижу ако се помешају једнаке запреминске количине зеленог и сувог баштенског отпада.

- Стално присуство влаге

Превише влаге ствара густу и лепљиву масу што смањује проток кисеоника и зауставља аеробни процес. Са друге стране, превише сув материјал успорава процес или до њега и не долази. Оптимална количина влаге је између 40% и 60% , што се може одредити додиром. При јачем стиску материјала шаком, не треба да се појаве више од две капи воде, а при престанку стиска материјал треба да задржи облик добијен притиском и не сме се расипати.

- Довољна количина кисеоника

Пошто микроорганизми током своје активности у компостној гомили троше кисеоник, повећава се концентрација угљен – диоксида. Ако концентрација кисеоника падне испод 5%, процес постаје анаеробан и стварају се метан и водоник сулфид који је непријатног мириса. Како би се ово избегло, потребно је повремено превртати гомилу и додати структурни материјал као што су суво лишће, слама, сено и гранчице.

- Одговарајућа температура

Најповољнија спољашња температура ваздуха је у интервалу 20 – 25 °C. Виша температура може да доведе до исушивања материјала и заустављања процеса, док зимске температуре успоравају биолошке процесе у компостној маси.

Правилно компостирање:

По дну компостера се прво поређају гранчице, на које се наизменично слаже баштенски и кухињски отпад (дебљине око 15cm), па танак слој земље или остатак од претходног просејавања компоста. Ако су климатски услови повољни, за два до три дана, компостни материјал ће се, услед деловања микроорганизама, загрејати на температуру од 40 – 50°C. То доказује да је процес разградње органске материје почео.

Унутрашња температура компостне гомиле временом ће још расти, што доводи до стерилизације компоста и уништавања семена коровских биљака. Превисока температура (преко 75°C) може да доведе до уништења корисних микроорганизама. Због тога, а и због дотока свежег кисеоника је неопходно повремено окретати масу. Гомилу, такође, треба непрекидно одржавати влажном.

Ако се гомила расипа, значи да је сува и потребно је постепено додавати воду или влажан зелени отпад. У случају да се материјал убуђао или се цеди вода приликом стиска шаком, треба додати лишће, сламу, гранчице и други суви материјал и измешати, како би успоставили оптималну влажност.

Компост је зрео након 6 до 10 месеци. У њему још увек има нераспаднутих делова, те га је потребно просејати. Просејан компост (хумус) се користи за прехрану цвећа, воћа и поврћа, винове лозе, травњака... Остатак од просејавања се може вратити у компостер и помешати са свежом масом и отпочети нови процес.



Слика 3.1 Пример методе компостирања у баити

3.2. Техничке карактеристике

Пошто се може третирати само биодеградабилна фракција отпада, али се опасне супстанце преносе у крајњи производ, улазне компоненте отпада које се користе за компостирање морају бити раздвојене на извору настанка и без присуства материјала који би могао угрозити компост. Механички предтретман пре компостирања може додатно побољшати квалитет компоста, али не засигурно осигуравати да компост добијен од мешаног комуналног отпада задовољи све стандарде квалитета.

Механички предтретман може да се састоји од:

- одвајања страних материја и загађивача,
- смањења величине,
- одвајања метала.

Ови механички кораци претходног третирања су у основи исти као у механичко – биолошком третирању отпада и стога су даље описани у поглављу 5.

Механички предтретман се такође може користити за постизање оптималне структуре и односа C/N у улазу за компостирање комбиновањем различитог органског отпада. На пример, листови (висок садржај угљеника, низак азота) могу се мешати са отпадом из хране (високим садржајем азота) да би се уравнотежио однос C/N. На овај начин, емисије амонијака могу се свести на минимум од самог почетка процеса.

У основи, могу се разликовати два различита процеса компостирања:

1. компостирање на отвореном простору
2. компостирање у затвореним системима

	Компостирање на отвореном	Затворени системи
Предности	*Ниски капитални трошкови * Ниски текући трошкови	* оптимална контрола *нема емисије гасова у атмосферу * краћи период превртања
Мане	* проблеми са емисијом мириса * Дужи периоди превртања * Без додатних мера, зависе од локалних климатских/временских услова	* Већи капитални трошкови

3.2.1 Компостирање на отвореном

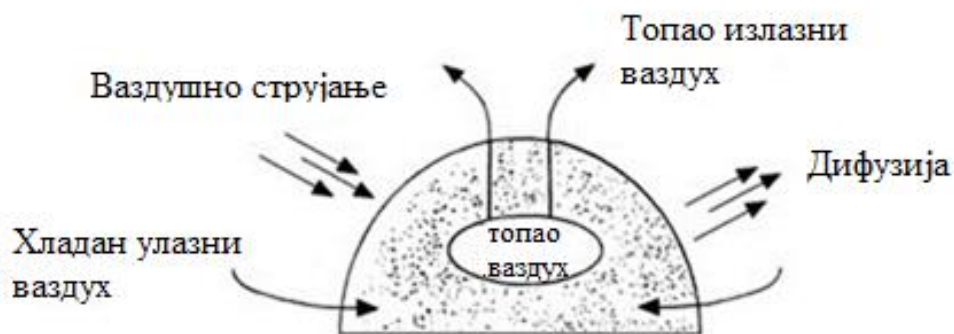
Материјал за компостирање постављен је гомилама у различитим величинама и облику. Утоваривачи се обично користе за изградњу високих гомила, док машине за превртање компоста стварају ниске и широке гомиле. Гомиле се постављају са висинама од 1,80 до 3,00 m у зависности од облика. Најчешће су гомиле са троугластим, трапезним и равним горњим профилем. Поступак компостирања се разликује у зависности од примењеног поступка аерације, док гомиле могу бити статичке или се могу физички превртати у зависности од температуре и количине кисеоника. У зависности од примењене технологије потребно је око 10 – 60 недеља да цео процес буде завршен.

Принцип статичне гомиле		Динамички процеси
Пасивно проветравање	Активно проветравање	Активно проветравање
		
Проветравање услед сопственог грејања грејањем	Проветравање системом цеви	Проветравање (једном недељно) превртањем

Слика 3.2 Приказ процеса компостирања на отвореном

3.2.1.1 Статичке гомиле и врсти

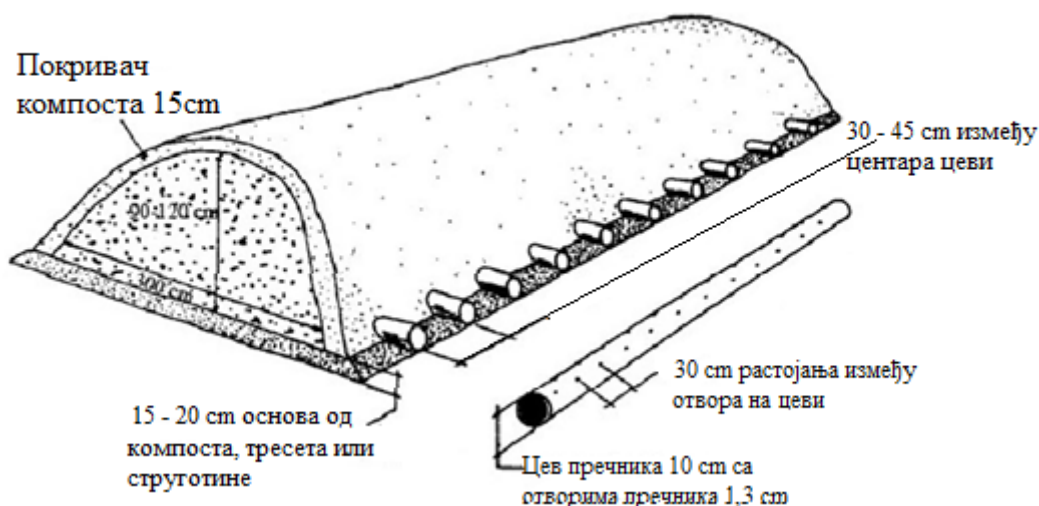
Отворена гомила је обична гомила компостног материјала, припремљена у одговарајућим условима окружења. Материјал се поставља у гомилу и оставља да се разлаже без превртања или мешања. Зато је потребно иницијално мешање пре почетка процеса, како би се обезбедила порозност материјала и да би довољна количина кисеоника могла да продре у средиште масе и тиме омогући процес компостирања. Овакав начин обрађивања материјала је погодан када су у питању ђубрива са великом количином сламе у себи. Није на одмет да се и оваква гомила окрене периодично, али у много мањем броју него обично, и то само из разлога стварања чепова заробљеног ваздуха (гасова). Термин врсте се користи за издужене гомиле. Овај метод је једноставан, јефтин али веома спор и може да произведе неугодан мирис.



Слика 3.3 Статичка гомила

3.2.1.2 Статичке пасивно проветрене врсте

Код ове технологије компостирања нема превртања, јер су кроз врсту спроведене перфориране цеви, које омогућавају доток ваздуха до материјала. Како се материјал не окреће, при конструисању врсте, посебна пажња се мора посветити величини, структури, влази и порозности материјала, како би се обезбедило довољно ваздуха за процес.



Слика 3.4 Статичка пасивно проветрена врста

Побољшање материјала се често врши помоћу побољшивача, као што су слама и дрвени одпад, а такође, могу се користити и тресет и формиран компост. Овим се постиже редукција киселина, азота и непријатних мириса. Материјал мора добро да се измеша у претпроцесу, како би му се повећала порозност. Проветравање се остварује дифузијом кроз површину гомиле и природним струјањем унутар врсте. Врста се формира на подлози, висине 15÷20 cm и ширине 3 m, направљеној од готовог компоста, сламе и тресета, који упијају влагу. Цев се постављају изнад подлоге, а на подлогу се поставља врста висине 1,5 m и ширине 3 m. Пречник цеви је 10 cm, а постављају се на растојању од 30÷45 cm. Отвори на цевима су пречника 1,25 cm и на међусобном растојању од 30 cm.

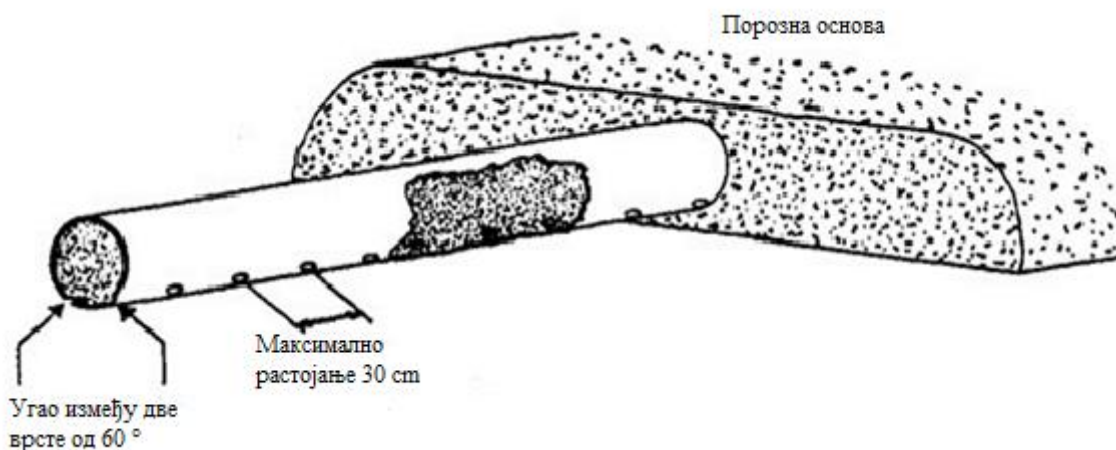
3.2.1.3 Статичке принудно проветрене врсте

Код принудно проветрених врста, користи се вентилатор за удување ваздуха у врсту. Ни овде нема превртања материјала у току процеса. Зато се посебна пажња мора посветити мешању материјала пре самог процеса, како би се добило на порозности материјала. Као подлога за све гомиле користе се отпаци дрвета, кукуруза, лишће, тресет, папир, готов компост, слама. Битно је постићи хомогену мешавину али не и компактан материјал кроз који не може да струји ваздух.

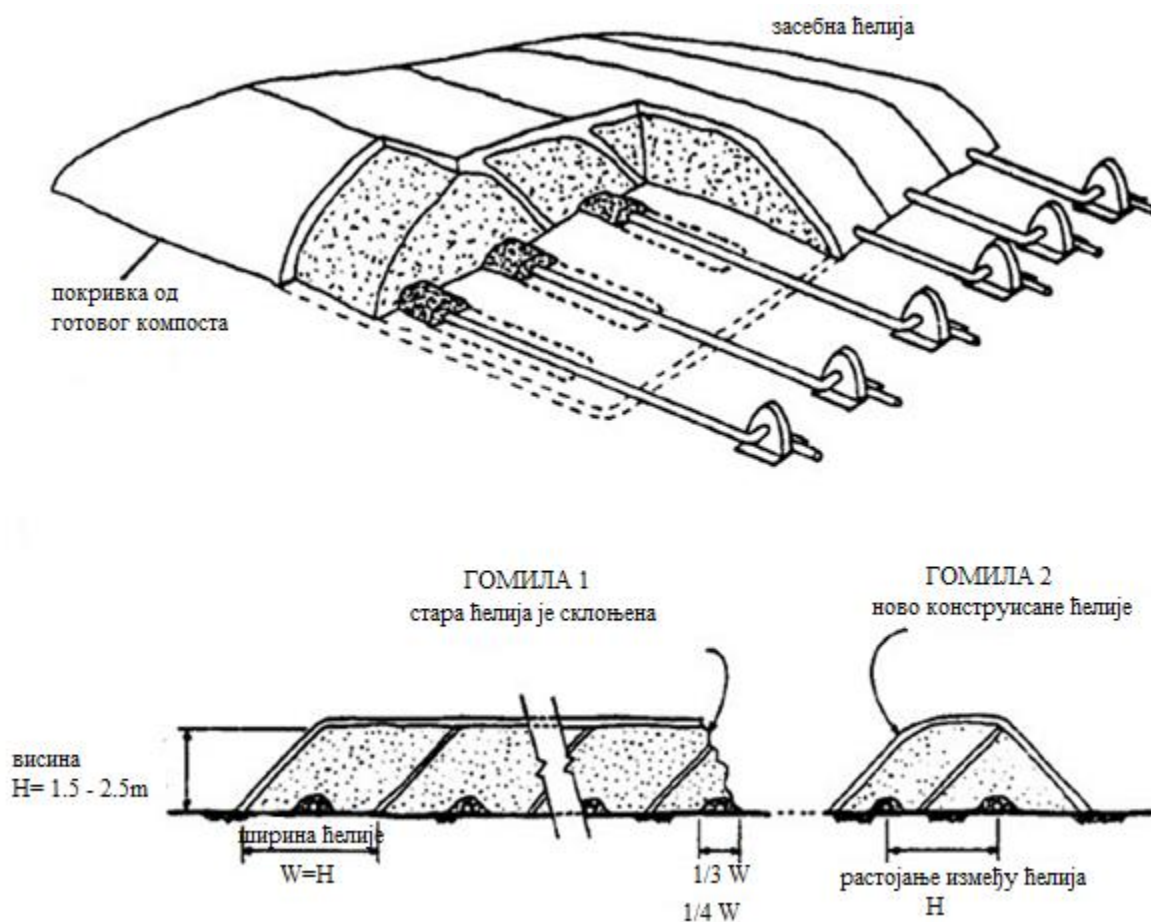
Цев су краће од врсте за неких 3 m и то из разлога да би се спречило краткотрајно циркулисање ваздуха кроз врсту. Врсте су 1,5÷2,5 m висине, 3÷5 m ширине, а дужина је ограничена вентилационим системом и требала би да буде максимално око 21÷27 m. Висина врсте је обично два пута мања од ширине. Врста може бити јединична или продужена. Јединична је устаљена са једном цевом на дну, док

се код продужене материјал стално додаје онако како пристиже на поље, и поставља се у ћелије које су конструисане једна до друге док свака ћелија има своју цев.

Свака ћелија има свој вентилатор, мерач времена, протока ваздуха и температуре. Вентилацијом се материјал снабдева кисеоником, контролише унутрашња температура, влажност.



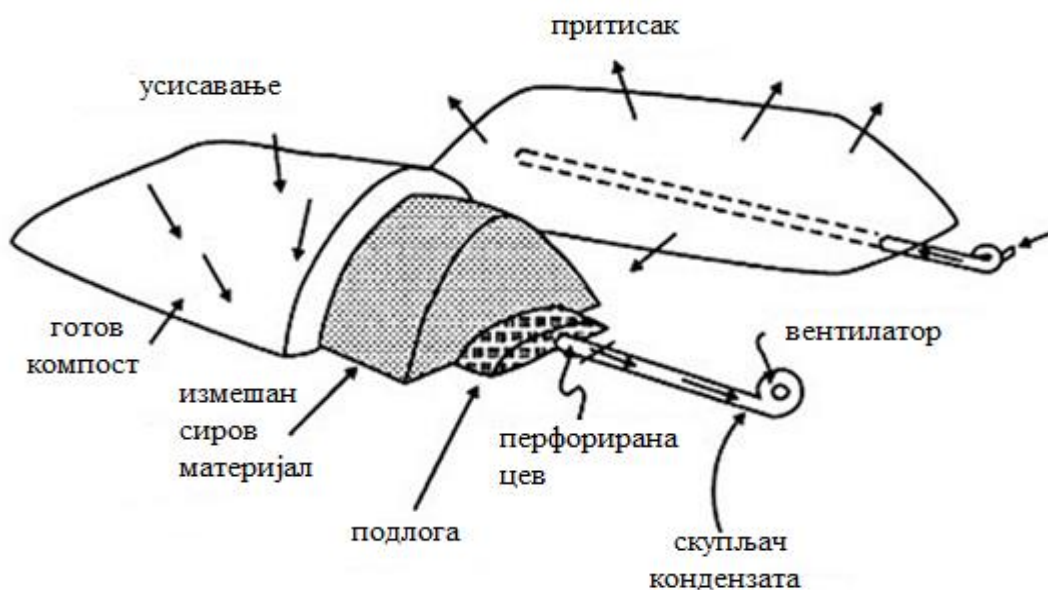
Слика 3.5 Статичка принудно проветрена врста



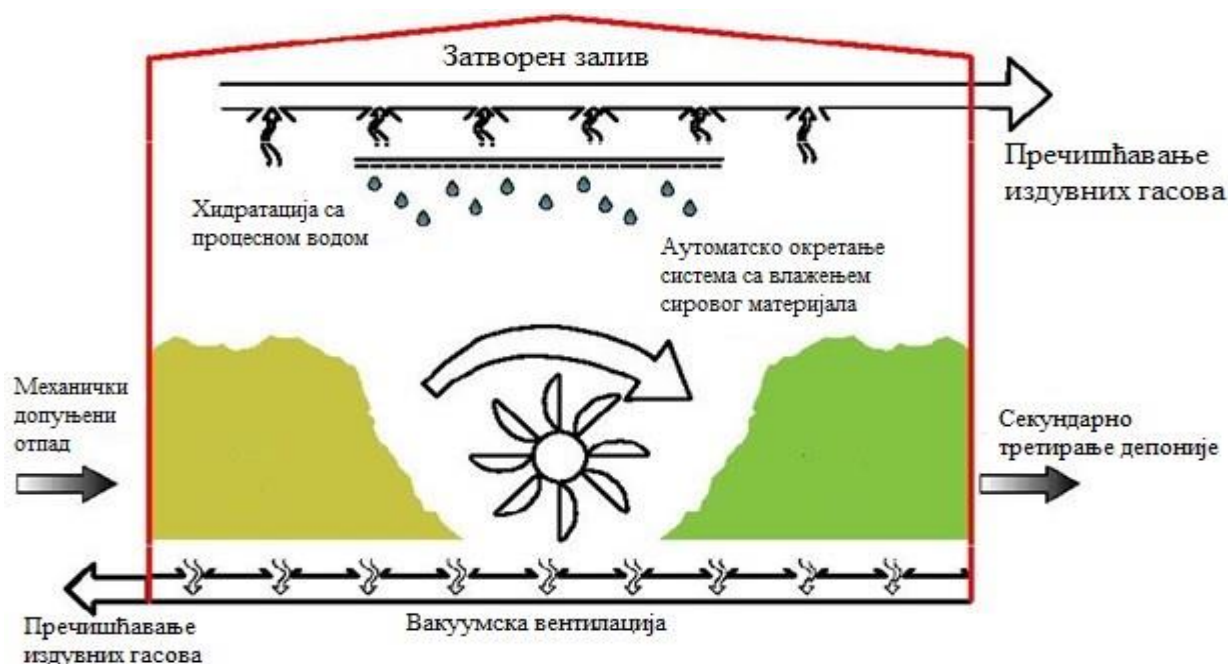
Слика 3.6 Формирање продужене врсти

Проток ваздуха може да буде континуалан и повремени и контролисан је мерачима времена и протока. За овај тип компостирања, временски интервал удувавања ваздух је $1/3-1/2$ временског циклуса компостирања. Наравно да је добра варијанта управљања вентилацијом на основу праћења температуре. Оптимална температура је 57°C . Температурски мерачи се постављају на $2/3$ дужине од краја врсте тј., краја вентилационе цеви, тј., $1/3$ висине врсте и најмање 50cm дубине врсте (од обода врсте). Вентилатори су најчешће центрифугални аксијални са временском контролом и контролом температуре. Јачина вентилатора зависи од димензија врсте, пречника цеви, типа материјала који се компостира. Отвори на цевима морају да буду у две врсте под углом од 60° између њих. Број и величина отвора мора да у сваком моменту обезбеди проток ваздуха, чак и у условима да дође до зачепљења отвора, што је и очекивано. Ваздух може да буде удуван у врсту, а може да се и увлачи у врсту. Према подацима из литературе (Јаћимовић, 2011), за 40t мешавине талога и дрвене струготине, смештене у врсту 1 m дужине, 6 m ширине и 2,5m висине, неопходан је улазни проток ваздуха од $5\text{ m}^3/\text{min}$, што је довољно да осигура концентрацију кисеоника од $5\div 15\%$.

Сушење ваздуха и разарање материјала је веће при већем протоку ваздуха, нпр. $22\text{ m}^3/\text{h/t}$ почетне тежине влаге и релативно ниске температуре компостирања, ниже од 55°C . Излазни ваздух може да се обради проласком кроз систем биофилтера. Може се додати спољашњи слој потпуно компостираног материјала или дрвене струготине, који служи као изолација гомиле и контролише емисију непријатног мириса и испарљивих органских једињења.



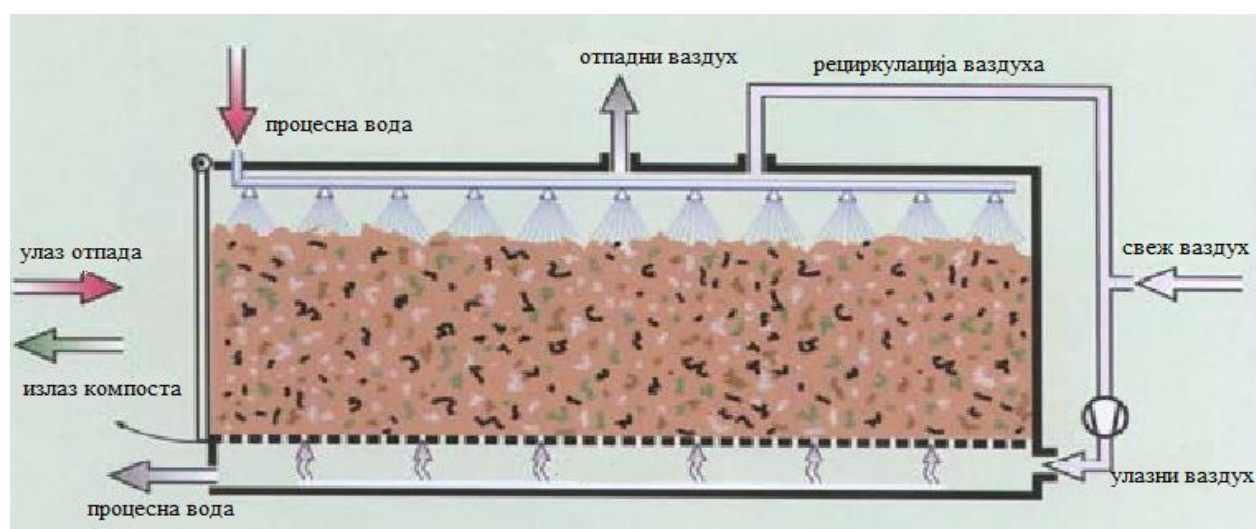
Слика 3.7 Статичка гомила са принудним проветравањем



Слика 3.9 Затворено компостирање

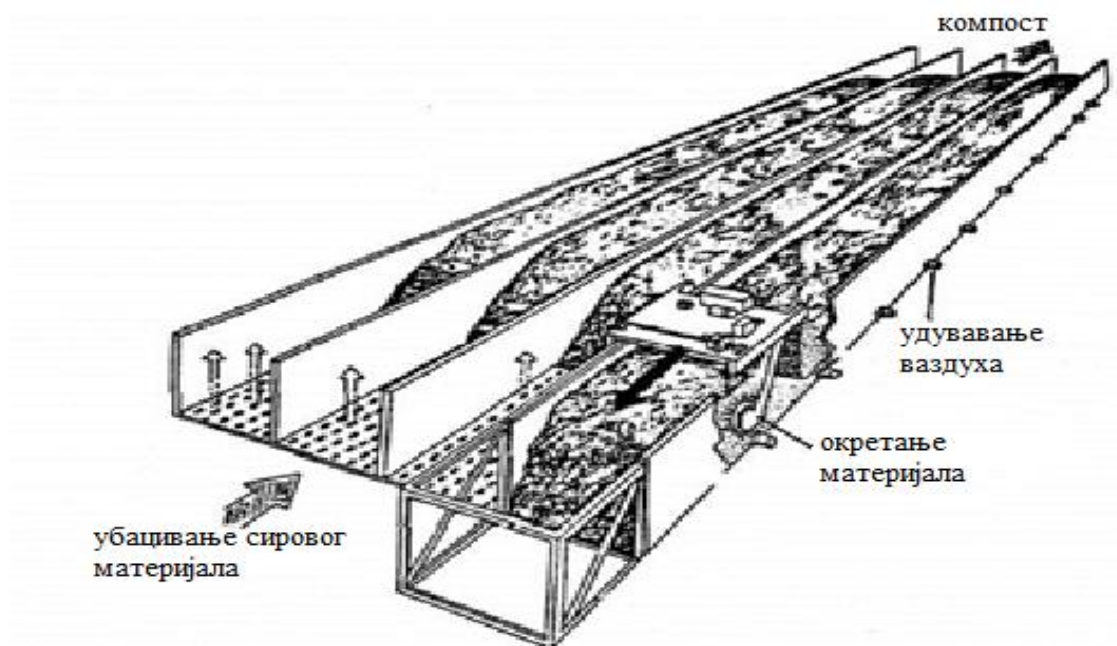
У овом процесу предности затвореног система комбинују се са методама компостирања на отвореном. У потпуно аутоматизованим просторима, органски материјал је (углавном) нагомилан у гомиле, присилно се вентилирају и аутоматски се преврћу помоћу окретне јединице. Материјал се наводњава по потреби из система распршивача постављених изнад гомила или током процеса превртања. Перфорирани подни простор омогућава вакуумску вентилацију, издувни ваздух пролази кроз биофилтере како би се пречиштио. У току труљења, отпад "лута" од улазног до излазног краја суда.

Компостирање у тунелима је методолошки веома слично компостирању у затвореним судовима. Отпад се константно помера кроз тунел где се додаје ваздух и вода онолико колико то сам процес захтева. На слици 3.10 шематски је приказано компостирање у тунелу.



Слика 3.10 Тунелно компостирање

3.2.2.1 Компостирање у бункеру



Слика 3.11 Бункери за компостирање – пример хоризонталног реактора

Бункер компостирање подразумева бетонске канале ширине 6m, висине 3m и дужине око 50m на чијим се зидовима налазе шине по којима се креће машина за окретање материјала (чиме се врши мешање материјала и повећање његове порозности). Ови канали су, такође, опремљени и са дренажом за одвођење отпадних вода. Материјал се третира тако да је у различитим фазама дуж канала (бункера), па се из тог разлога на веома малим размацама постављају сензори температуре како би се контролисао квалитет. Како се процес развија тако се компост градивно помера са једног на други крај бункера. Једна машина за окретање може да опслужује више бункера. Период који се препоручује за остварење овог процеса је 2÷4 недеље.

3.2.2.3 Компостирање у ротирајућем бубњу

Ово је тип силоса (слика 3.12) у виду хоризонтално постављеног бункера са малим нагибом и могућношћу ротације око уздужне осе. Ваздух се убацује са излазне стране која се налази на нижем нивоу и креће се ка улазној страни (на вишем нивоу, где се убацује материјал). Материјал се све време греје на температуру компостирања. Време које остаје материјал у овом бункеру је пар дана, што се контролише нагибом бункера и брзином његове ротације. Бункер се састоји из три засебна дела. У сваком од њих се налази засебни контролни систем који даје информације о томе шта се дешава у току процеса. У сваком од ових засебних делова се оставља 10÷15% старог компоста, ради убрзања наредног процеса.



Слика 3.12 Компостирање у ротирајућем бубњу

Ротирајући бубањ се ротира веома споро, брзином мањом од 10 о/min (Нешић, 2018).

Органски материјал чине обично остаци хране, комбиновани са побољшивачима богатим угљеником у тачној размери. Окретањем бубња врши се мешање материјала и убрзава процес компостирања. Бубањ се не окреће константно, већ једном или двапут дневно у трајању од 15min, када се обично пуни и празни. Материјал се услед ротације и малог нагиба бубња креће ка излазу.

На следећој слици приказан је ток материјала код компостирања. На улазу је 100% биоразградивог материјала, док се излази виде на слици.



4. Анаеробна дигестија

Анаеробна дигестија подразумева постепено бактеријско распадање органског отпадног материјала у (релативном) одсуству кисеоника, угљен – диоксида и воде. Једна од главних лимита анаеробне дигестије је немогућност деградације лигнина (главне компоненте дрвета). Ово је у супротности са процесом аеробне биодеградације. Главни циљ процеса је смањити органску активност и потенцијал реакције отпада и добити биогас који ће се користити као извор енергије.

Основни захтеви:

- уравнотежен састав хранљивих материја како би се повећала производња биогаса / метана,
- висок садржај влаге,
- одсуство компоненти које ће нарушити процес.

Очекивани резултати:

Биогас који се користи за производњу енергије:

- полутврди остатак коме је неопходна даља обрада, обично путем компостирања, како би се добио крајњи производ за потенцијалне кориснике у пољопривреди (50 – 300 kg суве материје / t отпада),
- мала количина течности, која се може спровести у канализацију или послати у постројење за пречишћавање отпадних вода (100 – 600 l / t отпада).

Специфичне предности:

Поред сувог органског отпада, могу се користити и влажни састојци попут угоститељског отпада и отпада из прераде хране и пољопривреде.

- анаеробни системи генеришу мање емисије од аеробних система по kg отпада, пошто је главни продукт гас (метан) жељени производ,
- енергетски потенцијал биогаса се може користити за производњу електричне енергије и топлоте,
- опрема заузима релативно мало простора,
- рад у затвореној петљи омогућава смањење непријатних мириса, па се такви објекти могу сместити ближе насељеним подручјима, чиме се смањују трошкови превоза,
- анаеробно третирање отпада смањује количине отпада које треба одложити на санитарним депонијама и постројењима за спаљивање отпада.

Специфични недостаци:

- технологија је и даље релативно компликована, стога се трошкови изградње и рада широко разликују и могу бити доста високи, зависно од начина рада који се користи,
- процес је релативно скуп (50 – 100 EUR / t за погоне великих димензија), тако да упркос могућим приходима од производње енергије и ђубрива, процес је често економски неисплатив,
- технологија је релативно нова и стога до сада је употребљавана само у високо развијеним, индустријализованим земљама,
- ефикасна употреба и руковање енергијом и компостима и другим нуспроизводима и њихова контрола квалитета захтевају одговарајуће знање које још увек није широко заступљено.

4.1. Специфичне карактеристике и неопходни услови

Предтретман отпада

Отпад мора бити раздвојено прикупљен и ослобођен компоненти као што су кабасти делови. Врши се уситњавање односно компримовање отпада за добијање жељене величине честица.

Опције за коришћење генерисаног производа

Остаци органског и минералног отпада при анаеробној дигестији морају бити дехидрирани, јер погодују компостирању, за касније коришћење као материјал за компост.

Мере заштите

Издувни гасови се морају сакупљати и третирати, а поред тога морају се предузети техничке и организационе мере за избегавање и минимизирање емисије непријатних мириса.

Потенцијални здравствени ризици

Посебно у области пријемног дела и механичке обраде постоји повећани ризик од контаминације ваздуха бактеријама. Техничке и личне мере заштите (маске на устима) на овим местима су препоручљиве како би се избегли потенцијални здравствени ризици.

Одговарајући механизми финансирања

Финансирање се може вршити кроз накнаду која се плаћа за одлагање отпада у постројење за третман или путем одговарајућег система сакупљања (контејнер за био отпад). Алтернативно, трошкови се могу покрити путем накнаде за сакупљање отпада или кроз друге механизме финансирања.

Инфраструктурни услови

Постројења треба да буду постављена на приступачне локације са прикључком на електричну мрежу или пожељно близу места где се генерише отпад. Требало би да буду удаљена од стамбених насеља, али у мери у којој су и остала постројења удаљена.

Климатски услови

Не постоје стриктна ограничења, али реактори за дигестију морају бити изоловани и загрејани у хладнијим климатским условима (нарочито тамо где се ради о термофилним процесима). Технологија није препоручљива на местима са израженим недостатком воде.

4.2. Техничке карактеристике

4.2.1 Утицај температуре на процес анаеробне дигестије

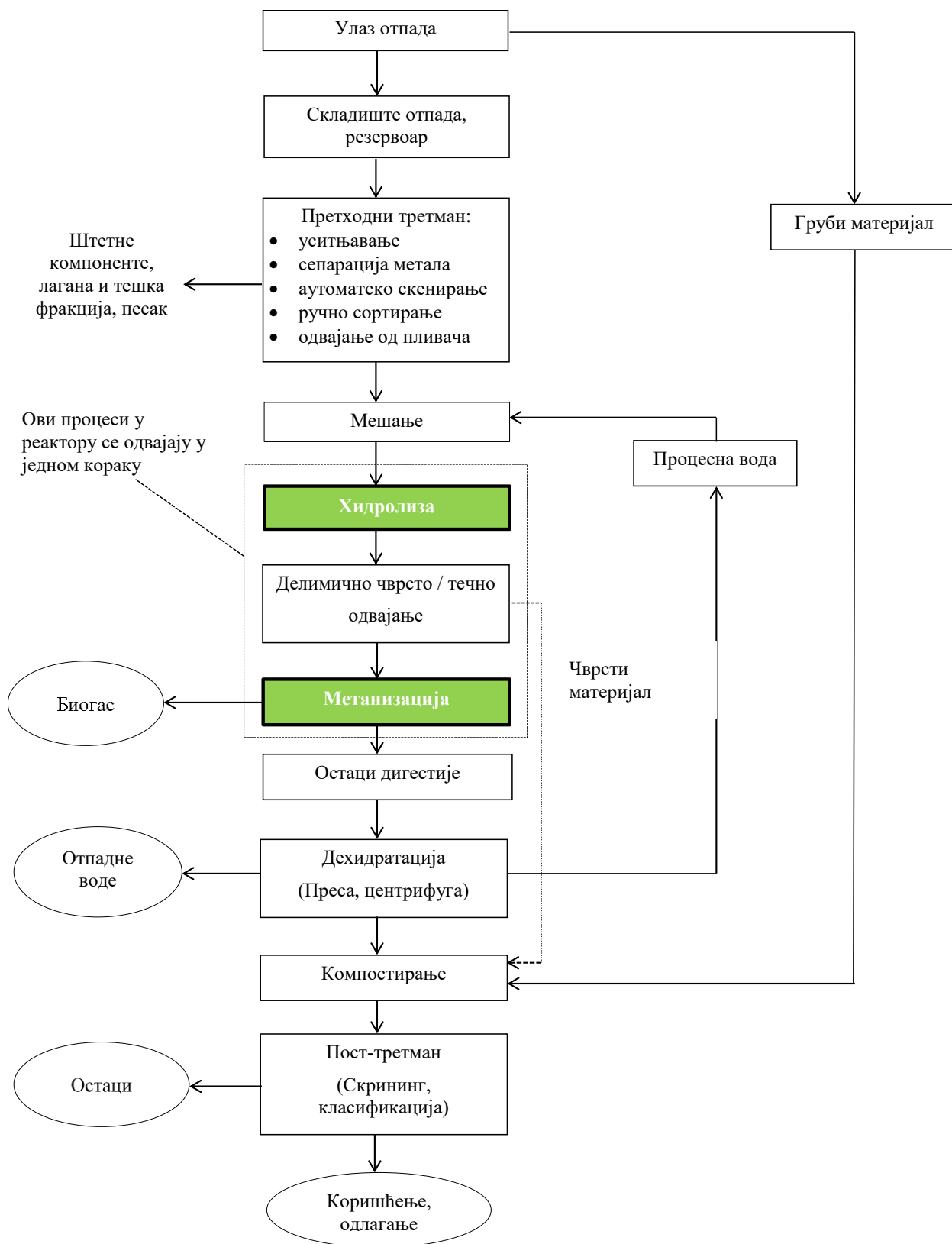
Процес према температури на којој се одвија анаеробна дигестија може се поделити на три температурна опсега:

- психрофилни ($< 20^{\circ}\text{C}$),
- мезофилни (30 до 42°C) и
- термофилни (43 до 55°C).

Температура процеса анаеробне дигестије зависи од врсте сировине која се користи за прозводњу биогаса. Потребна температура процеса обично се остварује грејањем пода или зида анаеробног дигестора. Температура при којој се одвија анаеробна дигестија утиче и на друге параметре као што су вискозност, растворљивост органских једињења, брзине хемијских и биохемијских реакција. Повећава се брзина раста микроорганизама повећањем температуре до одређене границе. Међутим, услед даљег повећања температуре изнад оптималне вредности, долази до смањења раста и угинућа бактерија анаеробног врења.

Уопштено говорећи, што је температура већа, то је процес бржи, али термофилни процес може бити тежи за контролу и биће потребна већа количина биогаса за загревање како би се остварила потребна температура.

На следећој слици приказана је општа шема која се примењује на системе с једним и двоструким степеном, како за суве тако и за влажне процесе.



Слика 4.1 Шема анаеробне дигестије за суви и влажни процес

4.2.2 pH вредности

pH вредност процеса анаеробне дигестије утиче на стопу раста метаногених микроорганизама, као и на разлагање неких важних једињења за анаеробну дигестију (амонијака, водоник сулфида, органске киселине). Стварање метана одвија се у релативно, уском интервалу pH вредности од 5,5 до 8,5 уз оптималан интервал од 7,0 до 8,0 за већину метаногених бактерија. Ацидогени микроорганизми обично имају pH вредности нижу од оптималне.

Вредност pH у процесу анаеробне дигестије, углавном контролише бикарбонатни пуферски систем. Стога, pH вредност унутар дигестора зависи од парцијалног притиска CO₂ и концентрације алкалних и киселих компоненти у течностној фази. Ако дође до промене pH вредности у реактору, пуферски систем компензује ове промене pH до одређеног нивоа.

4.2.3 Амонијак

Амонијак (NH₃) има значајну улогу у процесу анаеробне дигестије. Протеини су главни извор амонијака у овом процесу. Превисока концентрација амонијака унутар реактора, инхибира процес анаеробне дигестије због метаногених бактерија које су посебно осетљиве на повећану концентрацију амонијака. Ово је посебно карактеристично за анаеробну дигестију са сировинама анималног порекла, због високе концентрације амонијака пореклом из урина животиња.

4.3. Сировине које се користе у процесу анаеробне дигестије

Као сировине за анаеробну дигестију за производњу биогаса могу се користити различити типови биомасе. Најчешће се користе следеће сировине:

- стајњак са фарми,
- остаци из пољопривредне производње,
- биоразградиви органски отпад из прехранбене и сличних индустрија,
- биоразградива фракција комуналног отпада и отпада из угоститељства (остаци хране),
- отпадне воде прехранбене индустрије и отпадни муљеви из постројења за третман вода,
- енергетски усеви (кукурузна силажа, сирак, различите врсте трава).

Коришћење стајњака за анаеробну дигестију има предности с обзиром на карактеристику да природно садрже анаеробне бактерије. Сировине са садржајем суве материје (SM) мањим од 20%, користе се за тзв „мокру дигестију“. У ту категорију сировина сврставају се стајњак са фарми као и органски отпад из прехранбене индустрије са високим садржајем воде. Када је у сировини садржај SM око 35% или већи, процес дигестије се назива „сува дигестија“, и типичан је за анаеробну дигестију енергетских усева и силажу.

4.4. Биогаз као енергент

Биогаз који настаје у анаеробном дигестору садржи у великој мери метан (50 – 75%) и угљен – диоксид (25 – 45 %). Хемијски састав биогаза дат је у табели 4.1.

Табела 4.1 Типичан састав биогаза

Компонента	Хемијски симбол	Запремински удео %
Метан	CH ₄	50-75
Угљен - диоксид	CO ₂	25-45
Водена пара	H ₂ O	2-7
Кисеоник	O ₂	<2
Азот	N ₂	<2
Водоник - сулфид	H ₂ S	20-20 000 ppm

Постројења која користе биогаз се граде у зависности од технолошких и економских параметара. За максимални принос биогаза, потребно је довољно дуго време задржавања сировина и одговарајућа величина дигестора.

Избор система за дигестију заснива се на оптимизацији односа максималног приноса биогаза и економског улагања у постројење. У том смислу унос органске материје је важан радни параметар, који показује колико органске материје може бити унето у дигестор, по јединици запремине у јединици времена. Довољна концентрација хранљивих материја је потребна за постизање оптималног раста бактерија. Метаболизму анаеробних микроорганизама неопходни су и угљеник и азот. Најбољи однос количина C/N је у распону од 8 – 20 што зависи од природе сировине за процес анаеробне дигестије.

При производњи електричне енергије увек настаје отпадна топлотна енергија. Истовремена производња електричне и топлотне енергије назива се когенерација (eng. Combined Heat and Power - CHP). Ова топлотна енергија се налази у расхладном флуиду који се користи за хлађење уређаја за производњу електричне енергије или у продуктима сагоревања горива. Да би се искористила ова отпадна топлота користе се различити измењивачи топлоте.

5. Механичко-биолошки третман / стабилизација отпада

Механичко – биолошки третман садржи комбинацију механичких и биолошких процеса који даље третирају мешовити остатак отпада пре одлагања. Циљ ове комбинације је да се смање утицаји депонованог отпада на животну средину и да се добије додатна вредност од отпада кроз рециклажу и, у неким случајевима, енергија. Могуће конфигурације процеса су бројне иако се увек састоје од механичких процеса и биолошког третмана. Развијени су савремени системи који комбинују две фазе као један интегрисани ентитет који укључује контролу емисије гасова и непријатних мириса унутар затвореног циклуса. Такви системи пружају флексибилан приступ управљању различитим фракцијама отпада због њихове велике толеранције на варијације у саставу отпада. Такође, могу функционисати без икакве додатне инфраструктуре за прикупљање, што значи да су прилагођени отпаду из домаћинства без примарне сепарације.

Главна разлика између различитих концепата врши се на основу редоследа техничких процеса и циља биолошког третмана. Разлике леже у "раздвајању" отпада пре биолошког третмана или његовој "стабилизацији" и накнадној обради. У "раздвајању" (или механичко – биолошком третману = МБТ), добијене фракције отпадасе третирају биолошки. Основни биолошки процес који се користи у таквом систему може бити анаеробна дигестија или компостирање или елементи оба. Када се користи анаеробна дигестија, процес се обично конфигурише за оптимизацију производње биогаза. Када је компостирање технологија за биолошки третман отпадна, не произведи се биогаз и процес компостирања се користи за претварање мешовитог отпада у стабилну материју која може служити за прекривање депоније. У "стабилизацији" (или механичко – биолошкој стабилизацији = МБС) отпад се подвргава биолошком третирању с накнадним раздвајањем стабилизованог материјала на рециклабиле, гориво из отпада (РДФ) и остатке за депоновање. Главни циљ третмана је стварање горива из отпада отпада, који се може користити за добијање енергије или гасификацију.

Основни услови:

- отпад на улазу мора бити органски чврст отпад без опасних компоненти,
- треба осигурати одређени стандард контроле емисија и третмана и других заштитних мера (пожељно утврђених у посебном пропису).

Очекивани резултати:

- висококалорични материјал (МБТ) или стабилизовани материјал за сагоревање (МБС),
- материјали који се могу рециклирати (углавном метали) - квалитет добијених метала је већи и мање контаминиран него са дна спалионице,
- остаци процеса, прашина, течност и издувни гасови.

Захтеви квалитета за излазне материјале из процеса:

- материјал за компостирање треба да буде у складу са предложеним вредностима за материјале који се биолошки третирају (нпр. ниво влаге <50% индекса влажности испод 40 mg/kg суве материје),
- течности из процеса анаеробне дигестије треба да буду одговарајуће третиране како би се ускладили са захтевима животне средине (нпр. Директива 91/271 / EEC).

Специфичне предности:

- смањује се запремински и реакцијски потенцијал отпада који се мора депоновати, а тиме и потреба за простором за одлагање, емисије гасова, процедурне воде и непријатни мириси на депонији,
- комбинује специфични третман материјала и опоравак материјала.,
- генеришу разне фракције материјала за даљу употребу омогућавајући опоравак енергије (у биолошким процесима и / или из генерисаног РДФ-а),
- могуће су једноставне и инсталације мале капиталне вредности.

Посебни недостаци:

- није постигнута потпуна минерализација отпада која захтева даље мере третирања отпада,
- релативно ниска експлоатација енергије из отпада.

Циљ механичко биолошких обрада је смањити запремину обрађеног комуналног отпада, кроз издвајање појединих врста отпада који се могу искористити. Стабилизације и минимизације отпада заједно са значајним смањењем тежине и запремине кроз биолошки распад, како би се смањила количина биоотпада који се преусмерава на депоније, и у вези са тим прераде отпада како би се добили одвојене фракције отпада које се могу рециклирати.

5.1. Техничке карактеристике

Основна технологија која се користи у било ком механичком – биолошком третману отпада је биолошки процес. Међутим, биолошки процеси могу да третирају само биоразградиву фракцију отпада.

5.1.1 Механички третман

Механички третман се обично састоји од неколико механичких операција. Прилагођени су или примењени на промену физичких особина и састава излазног отпада како би се олакшала његова даља прерада. Минимални технички услови за ефикасан третман обухватају инсталације за:

- складиштење и храњење.
- уклањање загађујућих материјала.
- смањење запремине.

Механички третман пре биолошке фазе (МБТ шема) може имати следеће карактеристике процеса:

1. Инсталације за складиштење

За складиштење испорученог отпада служе станице и дубоки бункери. Станице омогућавају грубо раздвајање материјала. Чување различитих фракција одвојено (нпр. суви комерцијални отпад, обичан отпад и влажни кућни отпад) прилично је једноставно у равним бункерима. Равни бункери су јефтинији од дубоких бункера, али је потребно више простора за њихово постављање.

У дубоким бункерима отпад се лако може мешати. Међутим тешко је сортирати загађујуће материјале из комуналног и комерцијалног отпада у овој врсти бункера. Дубоки бункери су посебно погодни за складиштење влажне фракције отпада из домаћинства. Сви суви отпад треба чувати у равним бункерима. У овом случају равни бункери су погоднији за комбиноване механичке и биолошке процесе обраде отпада.

2. Одвајање страних материја и загађивача

У случају да је на располагању раван бункер кабасте фракције отпада (метални делови, бетон, душеци, кревети...) могу се лако одвојити специјалном опремом (нпр. утоваривач на точковима). Остали непогодни материјали (контејнери, велике пластичне фолије, конопци, каблови, гуме, акумулатори, делови намештаја) се одвајају на тракама за раздвајање отпада.

У случају сувог кабастог и комерцијалног отпада, примарно је одвајање узнемирујућих материјала у ваздушним кабинама. Због потенцијалних здравствених ризика за раднике, такве процедуре се не примењују на отпад из домаћинства. Овде је једино прикладно решење одвајање помоћу погонског багера.

5.1.2 Биолошки третман

За биолошки третман примењују се различите технологије. Обично су то интензивне методе компостирања или анаеробне дигестије. Ове технологије детаљно су описане у претходном делу дипломског рада.

6. Симулација различитих сценарија управљања отпадом у граду Крагујевцу применом софтверског пакета EASETECH

У овом поглављу ће бити извршена симулација различитих сценарија управљања отпадом применом софтверског пакета EASETECH.

Примарни циљ EASETECH – а је да изврши процену животног циклуса – life cycle assessment (LCA) комплексних система, који управљају токовима хетерогених материјала. EASETECH је модел за процену еколошких показатеља развијен на Техничком универзитету у Данској.

Две главне новине у поређењу са другим LCA софтвером су следеће:

- фокус се ставља на моделирање тока материјала, јер се сваки ток карактерише као мешавина фракција материја са различитим својствима, а токови по маси и саставу се израчунавају у читавом интегрисаном систему, укључујући пепео и производе као основу за израчунавање LCA,
- дизајниран је тако да омогућава једноставно подешавање сценарија.

На почетку XXI века, практично све анализе које се баве унапређењем процеса управљања отпадом, у себи садрже део који се односи на економске аспекте (трошкове процеса и остварену добит путем издвајања енергије или материјала из отпада, итд.), енергетски биланс (инвентар потрошене енергије у самом процесу, као и могућности енергетског искоришћења отпада) и еколошке ефекте (позитивне и негативне) по животну средину. Свакако да овакав комплексан приступ, а који у себи садржи адекватан одговор на захтеве свих пет раније наведених покретача развоја системског управљања отпадом, резултира изналажењем све бољих, ефикаснијих (у економском, енергетском и еколошком смислу) и одрживих стратегија управљања отпадом. Оцењивање животног циклуса је метод за анализу и квантификацију могућих утицаја производа на животну средину, током целокупног животног века производа, односно од екстракције сировина, преко производње, употребе и поступања на крају животног века производа, рециклирања и коначног одлагања. Процена животног циклуса отпада се примењује према стандарду:

SRPS ISO 14040:2008 (Институт за стандардизацију Србије) - Управљање заштитом животне средине - Оцењивање животног циклуса - Принципи и оквир

Обухваћене су студије оцене животног циклуса (LCA) и студије инвентара животног циклуса (LCIA). Намеравана примена резултата LCA и LCIA се разматра током дефинисања циља, предмета и подручја примене.

Према стандарду (ISO 14044:2006, SRPS ISO 14044:2009), поступак спровођења LCA анализе се изводи у четири фазе:

1. Дефинисање циља и обима анализе (ISO 14041:1998, SRPS ISO 14041:2002). У оквиру ове фазе врши се дефинисање циља, предмета и подручја примене у којој се врши избор метода и поступака анализе као и одређивање дубине и ширине предвиђене анализе и намераване употребе резултата истраживања.
2. Анализа инвентара животног циклуса (ISO 14041:1998, SRPS ISO 14041:2002). Фаза анализе инвентара животног циклуса LCI (Life Cycle Inventory) се односи на прикупљање улазних и излазних материјалних и енергетских параметара посматраног производног система, као и појединачних емисија у воду, ваздух и као чврсти отпад.

3. Оцењивање утицаја животног циклуса (ISO 14042:1999, SRPS ISO 14042:2005). У трећој фази сваке LCA студије, познате као LCIA (Life Cycle Impact Assessment) врши се обезбеђивање додатних информација које треба да помогну у оцењивању резултата претходне LCI фазе система производа, како би се боље разумео његов значај са аспекта заштите животне средине.
4. Интерпретација животног циклуса (ISO 14043:1999, SRPS ISO 14043:2005). Овај део (Life Cycle Interpretation) представља завршну фазу сваке LCA анализе, у којој се резултати LCI и/или LCIA сумирају и разматрају као основа за одговарајуће закључке, препоруке и доношење одлука у складу са дефиницијом циља, предмета и подручја примене.

6.1. Управљање отпадом у Крагујевцу

Град Крагујевац је највећи град региона централне Србије и седиште је Шумадијског округа. Представља индустријски, административни, економски, културно – образовани и здравствени центар. Град се налази на надморској висини од 185 до 220m и заузима површину од 835km². Карактерише га умерено – континентална клима.

Према подацима пописа из 2011. године, у Крагујевцу живи 179.417 становника (шире градско подручје), од чега у ужем градском подручју 150.835, што га, по величини популације, сврстава на четврто место у Републици Србији.

Становници Крагујевца генеришу у просеку дневно 0,8kg отпада, што на годишњем нивоу износи 50 000t отпада. У табели 6.1 приказан је састав комуналног отпада за град Крагујевац.

Табела 6.1 Морфолошки састав комуналног отпада за град Крагујевац (Јовановић, 2015)

Категорија отпада	Састав отпада (%)
Баштенски	11,29
Остали биоразградиви	27,34
Папир	8,07
Стакло	5,04
Картон	11,13
Картон - восак	0,80
Картон - алуминијум	1,24
Метал - амбалажни	1,09
Метал - Al конзерве	0,68
Пластични амбалажни	4,78
Пластичне кесе	8,45
Тврда пластика	3,68
Текстил	3,68
Кожа	0,41
Пелене	3,72
Фини елементи	8,61

За сакупљање отпада, у Крагујевцу задужено је ЈКП "Шумадија" које користи сопствену оперативу и опрему, коју чине возила за транспорт отпада, машине за рад на депонији и опрема за сакупљање. Возни парк овог предузећа, који је на располагању за послове сакупљања и транспорта отпада, чини 20 аутосмеђара, 4 подизача и 4 теретна возила – кипера. Опрему за сакупљање отпада чине контејнери различитих запремина ($1,1\text{m}^3$, 5m^3 , 7m^3), канте запремине 140l и кесе. Након процеса сакупљања, сав отпад се транспортује до главне градске депоније у Јовановцу. Депонија је у употреби од 1966. године и у власништву је локалне самоуправе, односно града Крагујевца. Налази се на 3km од центра града, а од најближег насеља је удаљена око 1km. Депонија је површинског типа и простире се на 15ha. Просечна висина депонованог отпада прелази 15m. Депонија није ограђена, осим са предње стране са које се налази и улазна рампа, пријавница и колска вага, на којој се редовно мери маса депонованог отпада.

ЈКП "Шумадија", поред мешаног комуналног отпада, врши одвојено сакупљање рециклабилног отпада (стакло, пластика и алуминијум). Просечно се, за месец дана, сакупи око 20t пластичне амбалаже, затим приближно 50t папирне и картонске амбалаже, око 10t стакла, као и 100 kg алуминијумских лименки. Узимајући у обзир састав и количину отпада, наведене вредности сакупљених секундарних сировина су веома мале (свега око 2% у односу на укупни депоновани отпад).

Стално праћење количине отпада, који се генерише на територији неке општине, представља један од основних предуслова за добро организовање система за управљање отпадом и квалитетно пружање услуга корисницима система. Крагујевачка депонија поседује одговарајућу опрему којом се свакодневно врше мерења масе прикупљеног комуналног отпада. Колска вага је повезана са рачунаром на коме се преко специјализованог софтвера врши евидентирање измерене масе отпада (Цановић, 2011).

Поред мешаног комуналног отпада, врши одвојено сакупљање рециклабилног отпада (стакло, PVC и алуминијум). Просечно се, за месец дана, сакупи око 20 тона PET и пластичне амбалаже, затим приближно 50 тона папирне и картонске амбалаже, око 10 тона стакла, као и 100 килограма алуминијумских лименки. Узимајући у обзир састав и количину отпада, наведене вредности сакупљених секундарних сировина су веома мале (свега око 2% у односу на укупни депоновани отпад). (Локални план управљања отпадом за град Крагујевац, 2012).

6.2 Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја

У циљу додатног поређења одређених изабраних технологија третмана са аспекта њиховог утицаја на животну средину, конципирана су четири сценарија управљања комуналним чврстим отпадом на територији града Крагујевца. На основу еколошких показатеља, формиран су следећи сценарији чији ће се фактори утицаја испитивати кроз употребу софтверског пакета EASETECH:

Сценарио 1 – подразумева процесе сакупљања, транспорта и коначног одлагања комплетног комуналног отпада (50 000t) на депонију. Депонија поседује инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова и искоришћење истих у енергетске сврхе.

Сценарио 2 - део амбалажног отпада (стакло, папир, алуминијумске конзерве) преусмерава се у процес рециклаже (21%, 10 500t), док се преостали део (79%, 39 500t) одлаже на депонију. Депонија поседује инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова и искоришћење истих у енергетске сврхе.

Сценарио 3 – у односу на претходни сценарио, да се поред рециклаже амбалажног отпада (21%, 10 500t) и одговарајући део органског отпада усмери ка постројењу за компостирање (15%, 7 500t). Остатак отпада се одлаже на депонију (64%, 32 000t) која такође има инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова.

Сценарио 4 – обухвата рециклажу амбалажног отпада (21% 10 500t), али се део органског отпада преусмерава у процес анаеробне дигестије (15%, 7 500t), док се преостали отпад одлаже на депонију (64%, 32 000t), на којој се третман отпада одвија на исти начин, као код претходна три сценарија, уз постојање система за сакупљање и искоришћења депонијских гасова.

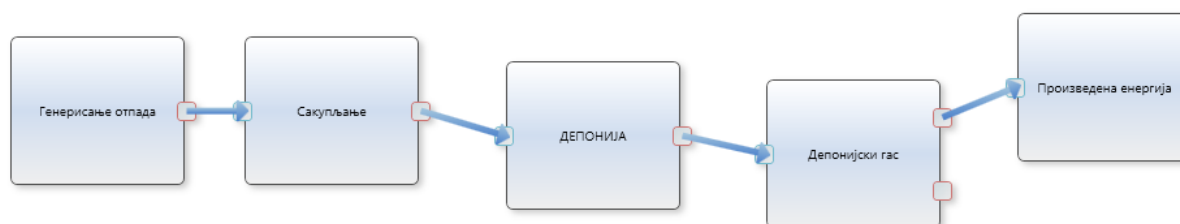
У табели 6.2 су приказане количине отпада у процентуалном и апсолутном износу према врсти третмана за сваки од четири сценарија.

Табела 6.2 Количине отпада према врсти третмана

Сценарио	Тетман отпада								Систем за прикупљање депонијског гаса
	Рециклажа		Биолошки третман				Депонување		
			Компостирање		Анаеробна дигестија				
%	t	%	t	%	t	%	t		
Сценарио 1	0	0	0	0	0	0	100	50 000	да
Сценарио 2	21	10 500	0	0	0	0	79	39 500	да
Сценарио 3	21	10 500	15	7 500	0	0	64	32 000	да
Сценарио 4	21	10 500	0	0	15	7 500	64	32 000	да

Из сета могућих варијантних решења, неопходно је извршити ефикасан и поуздан избор оптималних опција управљања отпадом. Софтверски пакет EASETECH је употребљен у сврху процене избора еколошко – енергетски најповољније варијанте, јер се базира на примени методе оцењивања животног циклуса (LCA).

Управљање отпадом према принципу сценарија 1 јесте конципирано на једноставном систему. Количина комуналног отпада која је генерисана на територији града Крагујевца је 50 000t. Ова количина отпада се са места одлагања прикупља специјалним возилима, смећарима. Возила за сакупљање у просеку троше 0,0045 l/kg горива. Сва количина сакупљеног отпада се превози на депонију и директно одлаже на исту. Отпад са депоније има одређену количину гаса који се ствара, и из кога се може искористити енергија.



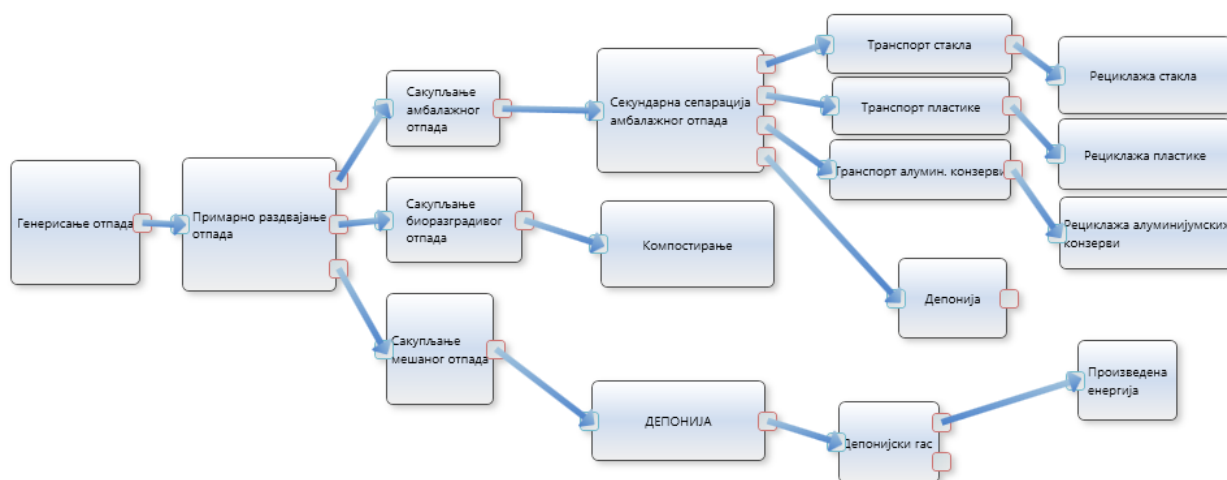
Слика 6.1 Шематски приказ управљања отпадом за Сценарио 1

Поступак примарног раздвајања генерисаног отпада је прва етапа код сценарија 2. Отпад се раздваја на амбалажни (стакло, пластика и А1 конзерве) и мешовити комунални отпад, где је амбалажног отпада 21%, док је преостали део 79% мешани отпад. Врши се одвојено сакупљање како амбалажног тако и мешаног отпада, са тим да се мешани отпад директно одвози на депонију. Секундарна сепарација амбалажног отпада има за циљ рециклажу, поновно искоришћење материјала. Амбалажни отпад се раздваја на стакло (21%), пластику (36%) и А1 конзерве (43%), који се транспортује до одговарајућих рециклажних центара. На овај начин се смањује количина отпада која се директно одлаже на депоније.

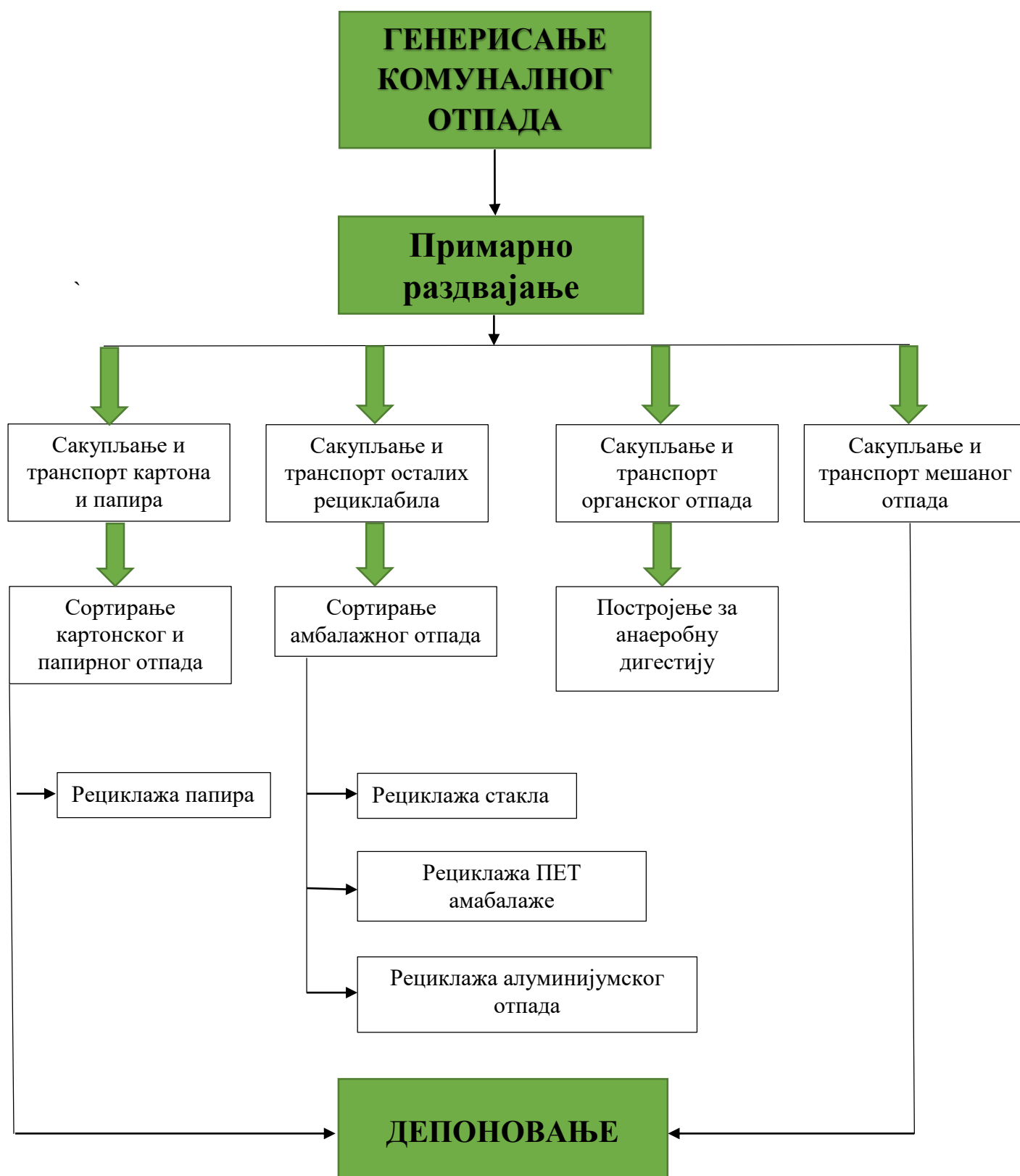


Слика 6.2. Шематски приказ управљања отпадом за Сценарио 2

Сав генерисани отпад се у сценарију 3 примарно раздваја на амбалажни (21%), биоразградиви (15%) и мешовити отпад (64%). Сакупљени амбалажни отпад се као и у сценарију 2 раздваја и транспортује на третман за рециклажу. Мешовити отпад се директно транспортује на депонију где се одлаже, при чему се издваја депонијски гас. Раздвојени биоразградиви отпад је заправо кухињски отпад, остаци од припреме хране и баштенски или зелени отпад.



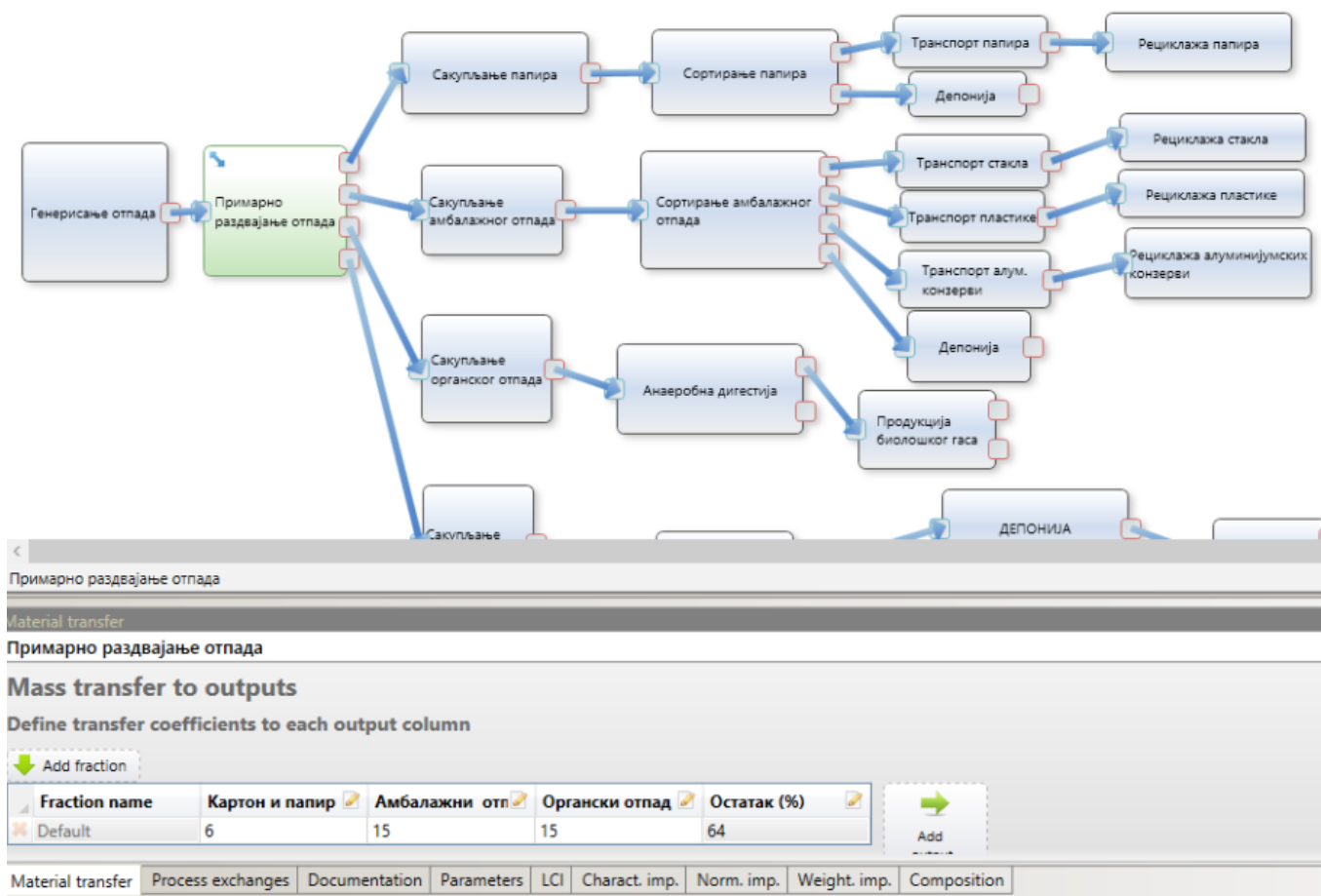
Слика 6.3 Шематски приказ управљања отпадом за Сценарио 3



Слика 6.4 Ток отпада према сценарију 4

Сценарио 4 предвиђа да се након примарног раздвајања генерисаног отпада приступи сакупљању и транспорту четири одвојене фракције отпада:

- папира и картона (6%),
- амбалажног отпада (15%),
- органског отпада (15%),
- мешаног отпада (64%).

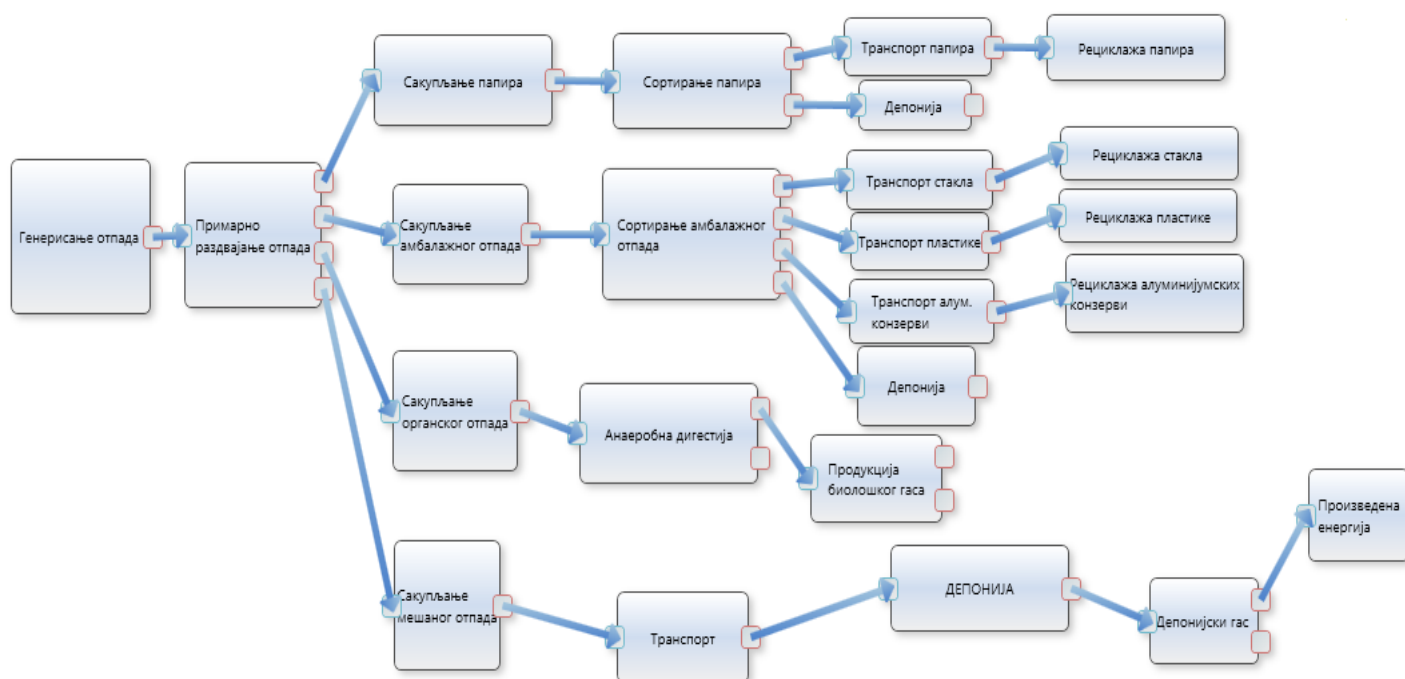


Слика 6.5 Приказ процентуалног раздвајања по фракцијама

Сакупљање папира и картона обавља се камионима предвиђеним за поменути отпад. Тако сакупљени картон и папир се морају разврстати и из њих одвојити примесе других материјала, како би се преусмерили у постројење за рециклажу. Преостали материјал поред папира се одвози на депонију. Рециклажом 1t папира уштеди се 4 200kW енергије, 380l бензина, 32 000l воде, простор од 2m³ на депонији.

Сакупљање амбалажног отпада се одвија као и у сценарију 3, сортирањем фракције на отпад од стакла, пластике и Al конзерви и даљег преусмеравања у постројење за рециклажу. Неискоришћени део ове фракције се одвози на депонију.

Компонента мешаног отпада се, по завршетку сакупљања, транспортује на депонију, јер за ову отпадну фракцију, у оквиру овог сценарија, није предвиђена посебна технологија третмана.



Слика 6.6 Шематски приказ управљања отпадом за Сценарио 4

Резултати анализе животног циклуса (LCIA) отпада, за четири конципирана сценарија приказани су у табели 6.3.

Анализом је обухваћено осам параметара – категорија утицаја:

- потенцијал глобалног загревања, GWP,
- потрошња абиотичких ресурса, обновљивих и необновљивих, ADP,
- потенцијал потрошње озона, ODP,
- потенцијал ацидификације (закишељавања), AP,
- потенцијал еутрофикације, обогаћивање водених ресурса (Азотом и Фосфором)
- потенцијал формирања фотохемијских оксиданата (SO_2 , CO, NO_x), POCP,
- потенцијал токсичности за људе, HTP,
- емисије ситних честица у ваздуху, PM.

Табела 6.3 Карактеризоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја

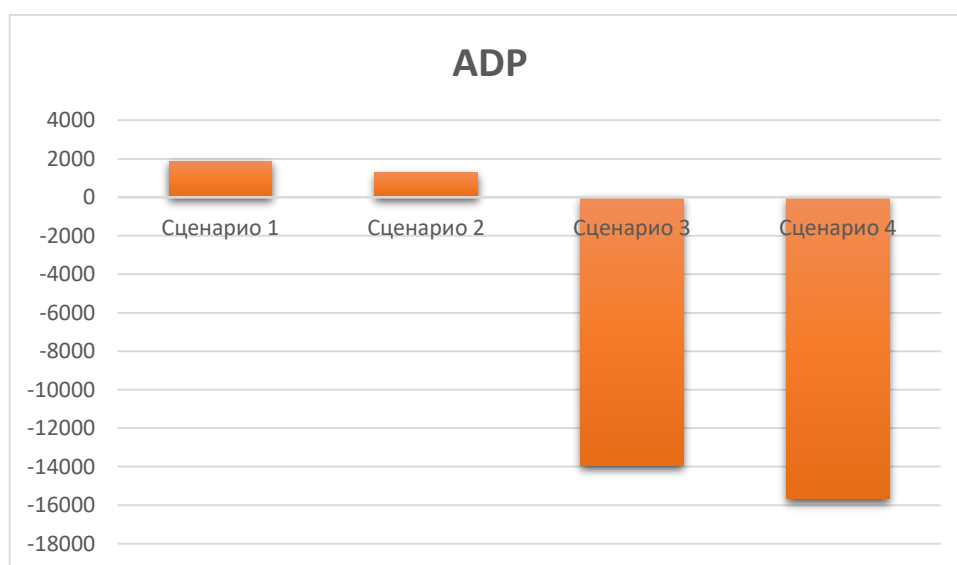
Сценарио	Фактор утицаја							
	GWP t CO ₂ -eq	ADP MJ	ODP Kg CFC – 11-eq	AP Kg SO ₂ – eq	EP Kg NO _x – eq	POCP Kg NMVOC	HTP CTU	PM Kg PM 2,5 - eq
Сценарио 1	5.300 10 ⁹	7.107 10 ¹²	0,01472	4197	2.209 10 ⁴	2.226 10 ⁴	0.0004293	248.1
Сценарио 2	5.364 10 ⁶	7.326 10 ¹⁰	0,01885	2.904 10 ⁶	1.694 10 ⁶	2.966 10 ⁶	0.000265	652.3
Сценарио 3	-8.204 10 ³	-1.073 10 ⁸	-0.09792	2.965 10 ⁸	2.107 10 ⁵	1.373 10 ⁷	-0.002037	802.3
Сценарио 4	-1.288 10 ⁴	-1.665 10 ⁸	-1.04849	2 956 10 ⁸	1.559 10 ⁹	1.684 10 ⁷	-0.01264	-4820.9

Потенцијал глобалног загревања (GWP) је развијен како би се омогућило поређење утицаја различитих гасова на глобално загревање. Конкретно, то је мера колико ће се енергије емисије 1 тоне гаса апсорбовати у одређеном временском периоду, у односу на емисије 1 тоне угљен – диоксида (CO_2). Што је већи GWP, то је већи тај гас који загрева Земљу у односу на CO_2 у том временском периоду. Временски период који се обично користи за GWP је 100 година. Иако нису једини, свакако да су метан (CH_4), угљен – диоксид (CO_2) и азот – субоксид (N_2O), најзначајнији гасови стаклене баште који потичу из сектора отпада. Управо из тог разлога, након прегледа емисија ових гасова по сценаријима приказан је дијаграм на слици 6.7. Сценарио 1 и 2 имају највишу вредност потенцијала глобалног загревања, допринос депонијског фактора је апсолутно доминантан, у поређењу са делом који се односи на сакупљање и транспорт отпада. Иако је у сценаријима 3 и 4 присутан још увек релативно велики удео отпада који се одлаже на депонију, систем за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода има изузетно позитиван утицај на смањење емисија штетних гасова. Захваљујући инсталацији и функционисању таквог сакупљачког система, код ових варијантних решења се евидентира уочљиво смањење потенцијала глобалног загревања. Код сценарија 3 и 4 уочене су уштеде емисија гасова стаклене баште (негативна вредност GWP-a). Разлог томе је енергетско искоришћење биогаза.



Слика 6.7 Дијаграм вредности за потенцијал глобалног загревања

Принцип очувања природних вредности – природне вредности користе се под условима и на начин којима се обезбеђује очување вредности геодиверзитета, биодиверзитета, заштићених природних добара и предела. Обновљиви природни ресурси користе се под условима који обезбеђују њихову трајну и ефикасну обнову и стално унапређивање квалитета. На дијаграму са слике 6.8 уочава се да су резултати за сценарио 4 показали највеће уштеде у погледу потрошње обновљивих и необновљивих абиотичких ресурса. Уштеде се повећавају у складу са смањењем удела прехранбене компоненте органског отпада, зависно од типа отпада. Сценарио 1 има највећи ADP фактор управо због потпуног одсуства процеса рециклаже амбалажног отпада и третмана органског отпада.



Слика 6.8 Дијаграм вредности за потенцијал абиотичких ресурса

Вредности потенцијала потрошње озона (ODP), упоредно за све сценарије, приказане су на слици 6.9.

Озон је опште присутан у Земљиној атмосфери:

- у слојевима при Земљи је један од опасних загађивача са штетним утицајем на живи свет,
- док је у горњим слојевима атмосфере користан зато што спречава продор штетних ултраљубичастих зрака до површине Земље.

Такође, озон може да настане из водоника (O_2) електричним пражњењем у атмосфери или под утицајем високоенергетског електромагнетног зрачења. Многи електрични уређаји могу да генеришу озон, посебно они који користе високи напон попут ласерских штампача, машина за фотокопирање или лучно заваривање, као и електрични мотори.

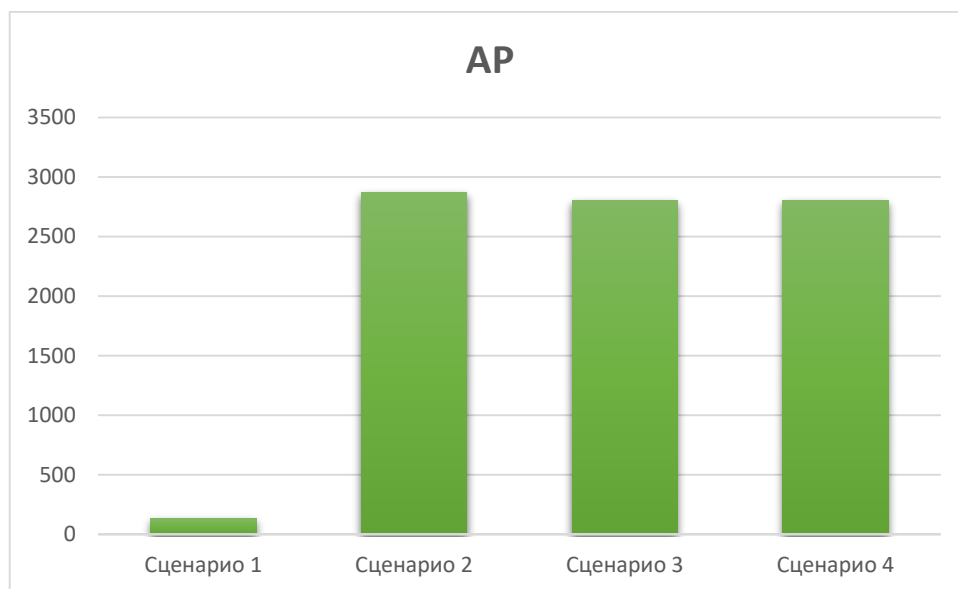
Сценарио 4 карактерише највећи ниво уштеде у потрошњи овог атмосферског гаса. Остала три сценарија имају релативно уједначене вредност потрошње озона.



Слика 6.9 Дијаграм вредности за потенцијал потрошње озона

Вредности потенцијала ацидификације земљишта и водених ресурса (AP), приказане су на слици 6.10. За овај фактор утицаја као најбољи се показао сценарио 1, који предвиђа депоновање комплетног комуналног отпада на депонију са инсталираним системом за прикупљање депонијског гаса.

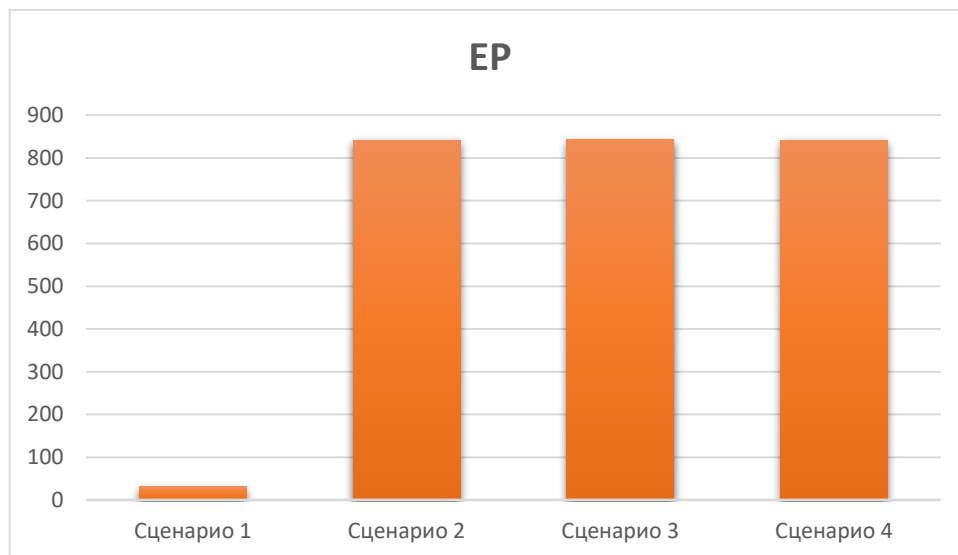
Код остала три сценарија уочене су приближно уједначене вредности потенцијала. Овакав вид управљања отпадом треба да обезбеди мали негативан утицај на земљиште и воду.



Слика 6.10 Дијаграм вредности за потенцијал ацидификације

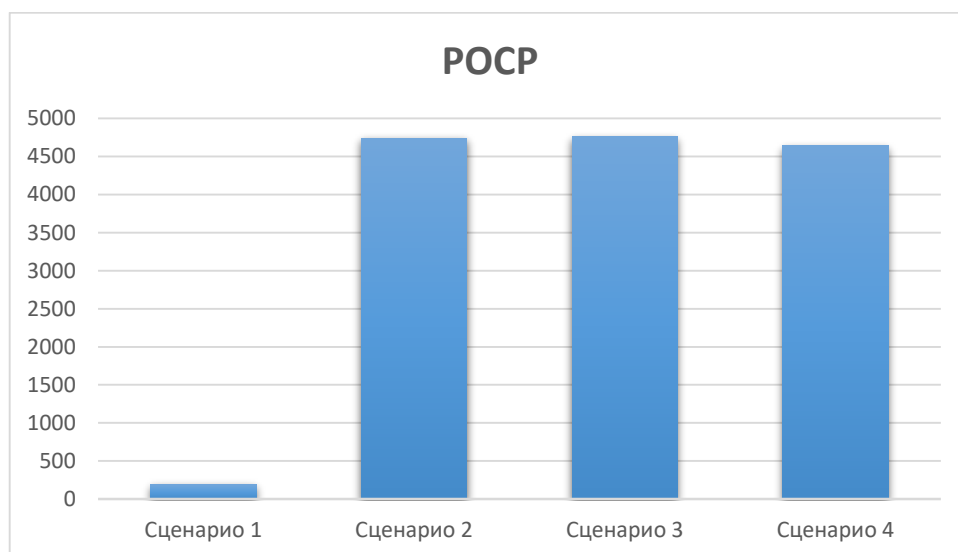
Вредности за потенцијал еутрофикације (ЕР) су приказане на слици 6.11. Потенцијал еутрофикације (ЕР) обогаћивање водених ресурса (Азотом и Фосфором). Добијени су веома слични резултати као код фактора АР. Најмање присуство нутријената је забележено код сценарија 1.

Удео органске, прехранбене компоненте, од највећег је утицаја на разлику у вредностима фактора ЕР према различитим типовима отпада.



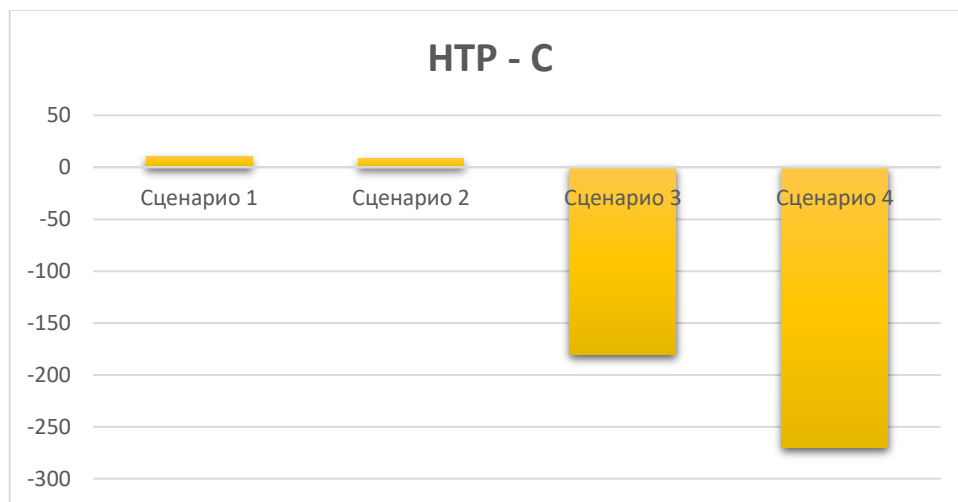
Слика 6.11 Дијаграм вредности за потенцијал еутрофикације

Вредности за потенцијал формирања фотохемијских оксиданата (РОСР) приказане су на дијаграму са слике 6.12. Сценарио 1 за случај повећања вредности фактора утицаја има значајно мањи потенцијал формирања фотохемијских оксиданата у односу на преостала три сценарија. Код сценарија 2,3 и 4 се приликом симулације процеса управљања отпадом јављају повишене вредности, као што је већ забележено за факторе АР и ЕР. Разлог већ поменутих резултата је у повећаном уделу прехранбене компоненте отпада.



Слика 6.12 Дијаграм вредности за потенцијал формирања фотохемијских оксиданата

Вредности потенцијала токсичности по људе – канцерогено (НТР-С) приказане су на дијаграму са слике 6.13. Токсикологија је наука о неповољним утицајима хемикалија на живе организме. Она проучава симптоме, механизме, лечење и откривање биолошког тровања — посебно тровања људи. Главни критеријум токсичности хемикалије је доза, то јест степен излагања супстанци. Може се рећи да су скоро све супстанце токсичне под одређеним условима. Многе супстанце које се сматрају отровима су токсичне само индиректно. Потенцијално канцерогени утицај који је токсичан по људе (НТР-С), има најниже вредности за сценарио 3 и 4. Што значи да су сценарио 3 и 4 добро решење за систем управљања отпадом.

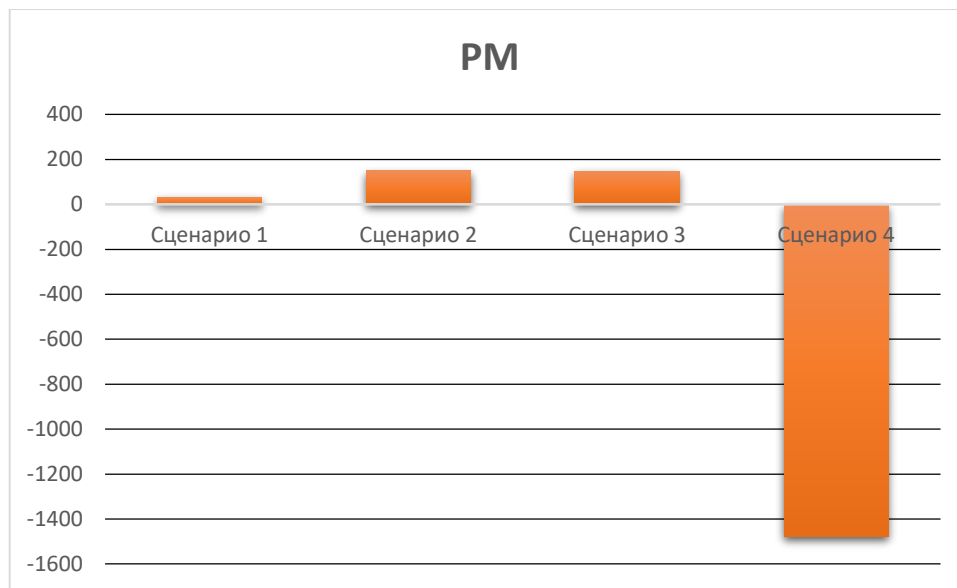


Слика 6.13 Дијаграм вредности за потенцијал токсичности за људе

Вредности за емисију ситних честица у ваздуху (РМ) приказане су на дијаграму са слике 6.14.

Аерозагађење подразумева присуство хемикалија, честица или биолошких материјала који наносе штету или узрокују нелагодност код човека и других живих бића, односно који угрожавају природну средину у атмосфери. Ваздух је прозачна смеша природних гасова и ситних честица које имају сталан састав и које се налазе у стабилној равнотежи.

Емисије ситних честица су, као фактор утицаја, показале најмање оптерећење животне средине приликом симулације сценарија 4. Количина ситних честица у атмосфери се смањује сразмерно мањем уделу прехранбеног отпада. Фактор РМ, за сценарије 2 и 3 има нешто више вредности у односу на сценарио 1. Овакви резултати су првенствено, знатно сложеније процедуре и технологије третмана у оквиру ових сценарија и повећаног утицаја скупљања, сортирања и посебно транспорта комуналног отпада.



Слика 6.14 Дијаграм вредности за емисију ситних честица у ваздуху

7. Закључак

Рационално управљање комуналним отпадом је један од примарних циљева, а уједно и проблем у систему заштите животне средине. Пажња се посвећује унапређењу технологија третмана комуналног отпада и смањењу емисија гасова стаклене баште. Економски и енергетски губици који настају услед неадекватног управљања отпадом су значајан подстицај великом броју истраживача како би пронашли одговарајуће системско решење. Од великог је значаја пратити и анализирати искуства развијених земаља и на тај начин вршити конципирање, селекцију и избор оптималних технологија управљања комуналним отпадом.

Као основни циљ овог рада, предвиђено је дефинисање ефикасне методологије за процену и избор одрживих технологија управљања комуналним чврстим отпадом за град Крагујевац, са посебним акцентом на оптималне еколошко – енергетске и економске перформансе пројектованих система.

С обзиром да подаци о саставу и генерисаним количинама комуналног отпада чине важан улазни сегмент методологије, извршено је њихово прикупљање, систематизација и обрада за град Крагујевац.

Након анализе комплетног контекста одлучивања, приступило се формирању широког спектра предлога варијантних решења за системе управљања комуналним чврстим отпадом за град Крагујевац. Укупно је, у складу са структуром софтверског пакета EASETECH извршено 4 различита сценарија управљања отпадом. Креирање предложених алтернативних решења вршено је у складу са важећим законско-регулативним оквирима Републике Србије и Европске Уније.

Постројења за издвајање, односно секундарну сепарацију материјала (MRF - Material Recovery Facility) требало би да поседују могућност обима третмана од 50 тона за град Крагујевац. На основу предвиђених количина отпада, за систем управљања отпадом на територији града Крагујевца, када је у питању биолошки третман, потребна су и потенцијално исплатива постројења за компостирање и анаеробну дигестију. Количине преосталог, мешаног отпада отварају перспективу економски оправдане изградње постројења за механичко – биолошки третман. И процес биолошког сушења, са овим нивоом продукције отпада, има реалну економску перспективу.

На основу добијених резултата спроведених симулација и поређењем одговарајућих вредности параметара, прелиминарно изабраних варијантних решења, може се закључити да, у контексту управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца, најповољнију алтернативу представља сценарио 4, који обухвата рециклажу амбалажног отпада, али се део органског отпада преусмерава у процес анаеробне дигестије, док се преостали отпад одлаже на депонију, уз постојање система за сакупљање и искоришћења депонијских гасова.

8. Литература

- Агенција за заштиту животне средине (2018), Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2017, Министарство заштите Републике Србије, Србија
- Цановић Д., (2011), Трансфер станица комуналног отпада: Идејно решење на локацији депоније у Јовановцу, мастер рад, Машински факултет у Крагујевцу, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац
- Цветановић Б., Јовановић М., Милошевић А., Ристић М., (2010), Савремена средства за сакупљање и транспорт чврстог комуналног отпада. Симпозијум “Рециклажне технологије и одрживи развој”, Соко Бања 12-15. Септембар 2010
- Јовановић С., (2015), Моделирање еколошко-енергетских и економских перформанси одрживих технологија управљања чврстим отпадом, Докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
- Јовичић Н., Вујић Г., Батинић Б., Станисављевић Н., Убавин Д., Бошковић Г., (2010), Методологија за утврђивање морфолошког састава комуналног отпада, Техничко решење, Машински факултет у Крагујевцу, ТР40/2010
- Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Bhander, G. S., Hauschild, M., Christensen, T. H., (2007), Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE, Waste Management 27
- Милосављевић Д., (2006), План детаљне регулације санације депоније у Јовановцу – службени лист града Крагујевца, Крагујевац,
- Нешић Б., Економско еколошки ефекат технологије компостирања као механизма чистог развоја, Магистарска теза, Факултет заштите на раду Универзитет у Нишу, Ниш, 2018
- Службени гласник Републике Србије, (2010), Национална стратегија за управљање отпадом за период 2010-2019, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 29, стр. 13-57
- <http://www.kontejnerieuromotiv.com/proizvodi>, Приступљено април 2017
- <http://cenazlata.org/reciklaza-i-otkup-papira-cene-i-sve-sto-treba-da-znate/>, Приступљено Март 2017.
- http://www.eko-puls.hr/Grijanje_na_drva_piroliza.aspx, Приступљено фебруар 2018
- <http://www.srem-macva.rs/ekologija/kompostiranje-kucnog-organskog-otpada>, Приступљено фебруар 2018
- <http://www.victorialogistic.rs/poljoprivreda/biorazgradivi-otpad-sansa-ili-pretnja-za-zemlje-u-tranziciji>, Приступљено мај 2018
- http://www.sepa.gov.rs/download/Statistika_otpada.pdf, Приступљено септембар 2018
- <https://www.tehnologijahrane.com/knjiga/kompostiranje>, Приступљено септембар 2018
- <http://www.easetech.dk/model-description>, Приступљено новембар 2018
- <http://www.sepa.gov.rs/download/UpravOtpad/KragujevacLPUO.pdf>, Приступљено децембар 2018