

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Кристина В. Васојевић

**Кодигестија у постројењима за третман
отпадних вода**

мастер рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер академске студије

Предмет: Напредне технике третмана вода

Број индекса: 404/2018

Кристина В. Васојевић

**Кодигестија у постројењима за третман
отпадних вода**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Вања Шуштершич - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши преглед литературе и досадашњих истраживања везано за проблематику биоразградивог отпада и третмана отпадних вода, дефинише биоразградиви отпад (који су проблеми везани за његов третман и на који начин може да се третира), опише могућности управљања биоразградивим отпадом, дефинише могуће системе за раздвојено сакупљање отпада (анализа примера добре праксе), анализира могућа решења за град Крагујевац, дефинише појам ко-дигестије биоразградиве фракције комуналног отпада и градске отпадне воде (могућности, проблеми, примери добре праксе) и на крају изведе одговарајуће закључке.

Препоручена литература:

- [1] Nusret Imamović, Šefket Goletić: ISTRAŽIVANJE PRINOSA BIOPLINA U PROCESU ANAEROBNE DIGESTIJE OTPADA IZ MESNE INDUSTRIJE, 7. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "KVALITET 2011", Neum, B&H, 01. - 04 juni 2011.
- [2] Mirzaman Zamanzadeh, Live Heldal Hagen, Kine Svensson, Roar Linjordet & Svein Jarle Horn: Biogas production from food waste via co-digestion and digestion effects on performance and microbial ecology, SCIENTIFIC REPORTS, 7: 17664, 2017.
- [3] Eva Nordlander: System Studies of Anaerobic Co-digestion Processes, Mälardalen University Doctoral Dissertation, 2017.

Крагујевац, 4.03.2020.

ментор:

Др Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме

У оквиру мастер рада извршено је прикупљање и анализа података о начинима третирања и проблемима везаним за биоразградиви отпад и третман отпадних вода. Описане су могућности управљања биоразградивим отпадом као и могући системи за раздвојено сакупљање отпада уз пример пројекта добре праксе сакупљања и одвајања биоразградивог отпада, анализирана су могућа решења примене одвојеног сакупљања биоразградивог отпада у граду Крагујевцу. Дефинисан је појам ко-дигестије, као и ко-дигестија биоразградиве фракције комуналног отпада и градске отпадне воде.

Кључне речи: биоразградиви отпад, отпадне воде, биогас, ко-дигестија

Abstract

In this master thesis is made collecting and analyzing of data about treatment methods and problems related to biodegradable waste and wastewater treatment. Within the thesis are described possibilities of biodegradable waste management and systems for separate waste collection with the example project of good practice of collection and separation of biodegradable waste, it was analyzed solutions for separate collection of biodegradable waste in the Kragujevac city. It's defined the term co-digestion and co-digestion of the biodegradable fraction of municipal waste and municipal wastewater.

Key words: biodegradable waste, wastewater, biogas, co-digestion

Садржај

1. Увод.....	1
2. Биоразградиви отпад.....	3
2.1. Органски отпад - врсте, извори и употреба	3
2.2. Проблем отпада од хране у Свету и Србији	5
2.3. Утицај на климатске промене и законски оквир	8
2.4. Количине произведеног и рециклираног отпада у ЕУ и Србији	12
2.5. Пример добре праксе управљања отпадом у Немачкој.....	12
3. Могућности управљања биоразградивим отпадом	14
3.1. Начини прераде органског отпада	14
3.1.1. Компостирање	15
3.1.2. Производња биогаса.....	22
3.2. Здравље, животна средина и социјални аспекти рекултивације отпада ...	26
4. Могући системи за раздвојено сакупљање отпада.....	28
4.1. Предности система одвојеног сакупљања отпада	28
4.2. Пример добре праксе – пројекат „ <i>Separate</i> “	29
5. Потенцијалне могућности за изградњу биогасних постројења у Србији.....	33
5.1. Постојећа постројења за третман отпадних вода у Србији.....	34
5.2. Могућа решења за град Крагујевац	37
6. Појам ко-дигестије и параметри који утичу на успешност процеса	40
6.1. Ко-дигестија биоразградиве фракције комуналног отпада и градске отпадне воде	43
6.2. Пример производње биогаса из прехранбеног отпада у ко-дигестији са канализационим муљем.....	45
6.2.1. Канализациони муљ из постројења за пречишћавање отпадних вода Зирл.....	45
6.2.2. Отпад од хране из државне болнице у Инсбруку	46
6.3. Пример производње биогаса на фарми.....	49
6.4. Пример анаеробне прераде канализационог муља	51
7. Закључак	53
8. Литература.....	54

1. Увод

Квалитет животне средине зависи од квалитета основних чинилаца животне средине, а то су ваздух, вода и земљиште као и спољних фактора који загађују животну средину. Познато је да нагомилавање отпадних материјала органског порекла, који настају у току производних процеса у сточарству, пољопривреди, прехрамбеној производњи, комуналној хигијени, представљају проблем савременог друштва и захтевају ефикасна решења. Производња биогаза из ових отпадака пружа могућност да се решава проблем загађења животне средине уз добијање енергије и квалитетног ђубрива. У постројењима за пречишћавање отпадних вода поред пречишћавања воде остварује се и производња биогаза.

Циљ сваког постројења за пречишћавање отпадних вода би требало да има значајан допринос уштеди енергије и заштити животне средине. Такође, могуће је искоришћење анаеробног стабилизованог муља за наводњавање и ђубрење пољопривредног земљишта што је добар начин искоришћења насталог муља с обзиром да је велики проблем одлагања муљева у великим градовима и индустријским центрима. Производња биогаза приликом третмана отпадних вода има велику будућност, јер представља суплемент базичној производњи енергије и вештачких ђубрива. Биогас представља органску сировину која тренутно, обзиром на своје могућности, има веома низак степен искоришћења. Не само због чињенице да се тиме може добити расположива топлотна и покретачка енергија, квалитетно ђубриво, већ и због сврсисходног уклањања органског отпада у руралним подручјима, што омогућава њихов развој и побољшавање квалитета животне средине.

Анаеробном ферментацијом из биомасе добија се метан. Биогас настао ферментацијом без присутности кисеоника садржи метан и угљен-диоксид у размери 2:1 па се може употребљавати као гориво, а настаје и мала количина сумпорводоника (због чега има мирис трулих јаја). 1 m³ гаса вреди као 0,6-0,7 kg ложивог уља. Главна храна за бактерије су елементарни азот, угљеник и анорганске соли. Размера између угљеника и азота треба да буде између 20:1 до 25:1. Да би се то постигло потребно је мешати животињски измет са биљним отпаcima. У маси треба да постоји однос од 90% воде и 10% суве материје (тежински). Ако је воде превише опада производња гаса по јединици запремине, а ако је воде мало скупља се сирћетна киселина која омета процес ферментације. Ферментација се одвија у две фазе при температурама од 10 до 40°C, а при температури 50-55°C процес је знатно бржи. На процес могу негативно деловати веће количине сулфата SO₄, соли NaCl, бакра, хрома, никла цијанида, амонијака, калцијума и магнезијума. Концентрацију можемо смањити додавањем воде. Тај процес се одвија у ферментатору (дигестору), при чему се често на површини скупља дебели слој пене. Након ферментације добија се квалитетно вештачко

ђубриво, са око 2 % азота, квалитетније од ђубрива употребљеног за ферментацију, због тога што се количина суве материје ферментацијом смањује, па се повећава проценат азота.

Биогас настаје ферментацијом органских супстанци, као што су стајњак, муљ из отпадних вода, градски чврсти отпад или било која друга биоразградива материја при анаеробним условима. Процес добијања биогаса из постројења за третман отпадних вода постаје све заступљенији, јер представља прикладан начин употребе отпадне воде као и органског отпада са циљем добијања топлотне и електричне енергије, што је основа одрживог развоја. Употреба биогаса се подстиче, јер се на тај начин генерише енергија, а не повећава се количина угљен-диоксида у атмосфери. Такође, метан сагорева знатно чистије у односу на угаљ. Као полазне сировине за добијање биогаса могу се користити различите органске супстанце, које представљају изворе неопходног угљеника, азота, фосфора, калијума, магнезијума и других елемената неопходних за метаболизам анаеробних бактерија. У сврху добијања биогаса најчешће се користе комуналне и индустријске отпадне воде, људски и животњски екскременти и биљна биомаса која се јавља у пољопривреди као отпадни производ. Основни предуслови да би се нека отпадна материја могла економично користити као сировина за производњу биогаса су да буде на располагању у довољним количинама током целе године, да по свом саставу, нарочито по садржају састојака који се могу микробиолошки разградити, омогућава ефикасну и економичну производњу биогаса и да у њој нема супстанци које делују токсично или инхибиторно на процес производње биогаса [1].

2. Биоразградиви отпад

Биоотпад је дефинисан као биоразградиви баштенски и парковски отпад, храна и кухињски отпад из домаћинства, ресторана, угоститељских и малопродајних објеката и отпад из погона за прераду хране. Биоразградиви отпад је врста отпада, који обично потиче из биљних или животињских извора, а који могу да разграде други живи организми. Биоразградиви отпад се често може наћи у комуналном чврстом отпаду (понекад се назива биоразградиви комунални отпад) као зелени отпад, отпад од хране, папирни отпад и биоразградива пластика. Остали биоразградиви отпад укључује људски отпад, стајско ђубриво, канализацију, отпад из кланица. У недостатку кисеоника, већина овог отпада распада се до метана анаеробном дигестијом [2].

2.1. Органски отпад - врсте, извори и употреба

- Кућни отпад или отпад из домаћинства

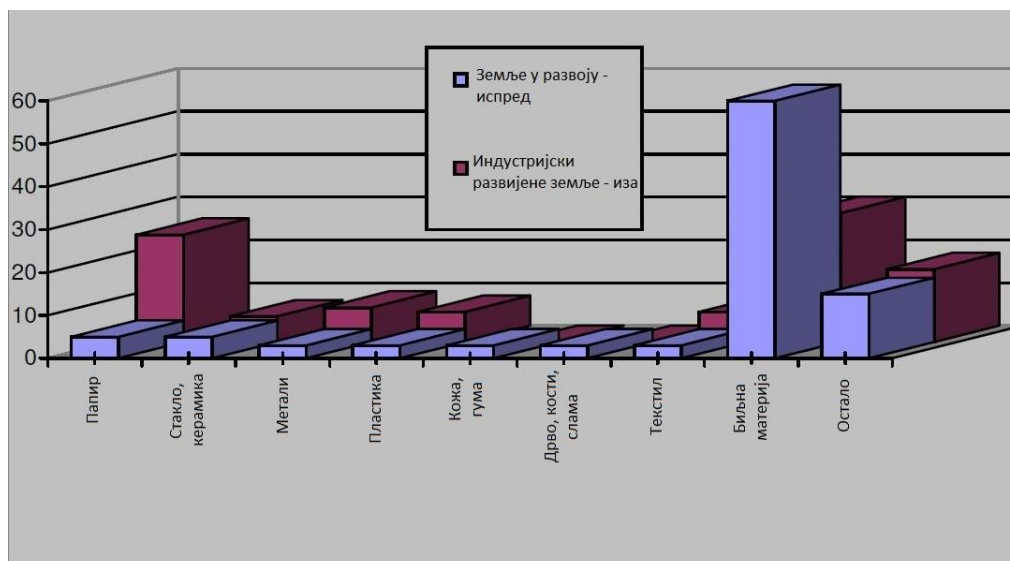
Ова врста отпада обично се састоји од отпадака хране, куваних или некуваних, и баштенског отпада као што су кошена трава или обреза од грмља и живе ограда. Домаћи кухињски отпад често се меша са неорганским материјалима попут пластичне амбалаже, која се не може компостирати. Корисно је ако се ова врста отпада може одвојити на извору што знатно олакшава рециклирање ове врсте отпада. Отпад из домаћинства обично се производи у релативно малим количинама.



Слика 1. Контејнер за одвојено сакупљање органског отпада из домаћинства [2]

У земљама у развоју у кућном отпаду је много већи органски садржај. На слици 2. може се видети да се и до 60% (а у неким случајевима је и већи %) комуналног отпада генерише у земљама у развоју више него у индустријски развијеним

земљама. Стога је вредно преусмерити ову врсту отпада тамо где се може ефикасно користити.



Слика 2. Састав комуналног отпада у типичној земљи у развоју и индустријализованој земљи (стварни подаци се значајно разликују - ова бројка је само пример) [4]

- Органски отпад комерцијално произведен

Под овим се подразумева отпад који настаје у институционалним зградама, попут школа, хотела и ресторана. Количине комерцијално произведеног органског отпада су велике и постоји велики потенцијал за његову употребу.

Треба нагласити да се приликом третмана отпадних вода из канализације, у циљу коришћења исте за производњу биогаса, морају поштовати здравствени и безбедносни прописани поступци и да људи који се баве њеним руковањем морају јасно разумети здравствене ризике. Сирова канализациона вода садржи бактерије и патогене који узрокују озбиљне болести. Она се никада не сме примењивати на усеве који су намењени људској или животињској потрошњи.

Људски фекални остаци производе се у великим количинама у урбаним срединама и њима се поступа на различите начине. У најгорем случају, уколико се не врши уклањање или третирање отпада то може представљати огромне здравствене ризике. То је често случај у сиромашним четвртима или сиромашним областима неких великих градова. Канализационе отпадне воде се често испуштају у најближе водно тело са мало или нимало третмана. Постоје методе за пречишћавање и употребу канализационих вода као ђубриво и извор енергије. Најчешће коришћена метода је анаеробна дигестија за производњу биогаса и течног ђубрива.

Животињски остаци обично се користе као извор ђубрива, које се примењује директно на земљу или као извор енергије, било директним сагоревањем (након сушења) или дигестијом за производњу метана.

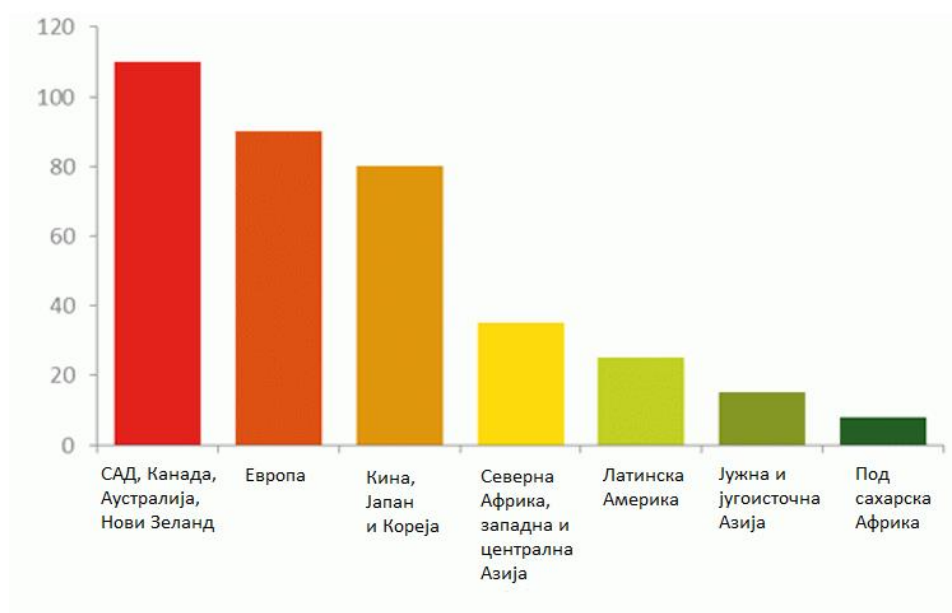
- Пољопривредни остатак

Ово је отпад који остаје након прераде усева (нпр. стабљике кукуруза, пиринчане љуске, лишће итд.). Постоји широк спектар примена за овај остатак, од једноставног сагоревања на отвореној ватри до сложених процеса производње енергије који користе овај отпад као залиху горива [5].

2.2. Проблем отпада од хране у Свету и Србији

Отпад од хране односи се на све већу количину хране која може бити резултат индустријске или масовне производње хране, а која најчешће завршава на депонији. Узроци настајања отпада од хране су бројни, а јављају се у фазама производње, прераде и трговине.

Шведски институт за храну и биотехнологију установио је да се у свету око 1,3 милијарде тона хране годишње баци или троши кроз ланац снабдевања храном, што је око трећина укупне годишње светске производње [6], стварајући огромне социјалне, еколошке и економске проблеме. Према извештају организације за храну и пољопривреду, у Европи се годишње „изгуби“ око 90 милиона тона хране. Сваке године потрошачи у богатим земљама одбацују готово 222 милиона тона хране, односно скоро укупан износ нето производње хране подсахарске Африке, 230 милиона тона. У Европској унији се годишње произведе око 89 милиона тона прехранбеног отпада, за који се очекује да ће се повећати на око 126 милиона тона до 2020. године без додатних политика или активности спречавања. У Кини се годишње одлаже више од 90 милиона тона прехранбеног отпада, што чини 37–62% комуналног чврстог отпада, а очекује се да ће наставити да расте због раста становништва и све веће урбанизације. Од 1974. године количина прехранбеног отпада у САД-у порасла је за 50%, а тренутно се годишње одбаци око 38 милиона тона прехранбеног отпада, док се 76,3% депонује.



Слика 3. Годишња продукција отпада од хране (2007 год., kg/особа/год.) [6]

Постоји разлика између губитка хране и отпада од хране. Губици хране, који се јављају у фази производње, жетве, бербе и прераде - најважнији су у земљама у развоју, због лоше инфраструктуре, ниског нивоа технологије и ниског улагања у системе производње хране. Отпад од хране представља већи проблем у индустријским земљама, који најчешће узрокују трговци на мало и потрошачи који бацају јестиве намирнице. Потрошачи одбаце по глави становника између 95-115 kg годишње у Европи (слика 3) и Северној Америци, док потрошачи у подсахарској Африци и Јужној и Југоисточној Азији одбаце само 6-11 kg годишње.

Укупна производња хране по глави становника за људску исхрану износи око 900 kg годишње у богатим земљама, готово двоструко више од произведених количина у најсиромашнијим регионима, 460 kg годишње.

Храна која се баци у Европи, могла би да нахрани 200 милиона људи. Ако би се спасила макар једна четвртина отписане хране, то би било довољно да се нахрани 870 милиона гладних у свету. Одбацивање хране представља велико расипање ресурса, укључујући воду, земљу, енергију и капитал и производи емисије гасова стаклене баште, доприносећи глобалном загревању и климатским променама. У земљама у развоју проблем је углавном један од неадекватних техника, лошег управљања и логистике, недостатка одговарајуће инфраструктуре, прераде и паковања и недостатка маркетиншких информација које би омогућиле да производња боље одговара потражњи. Савет је стога да се ојача ланац снабдевања храном помажући малим пољопривредницима да се директно повежу са купцима. Приватни и јавни сектор такође би требало више да улажу у инфраструктуру, транспорт и прераду и паковање. У земљама са средњим и високим дохотком губици хране и отпад углавном потичу из понашања потрошача, али и из недостатка комуникације између различитих актера у ланцу снабдевања.

На малопродајном нивоу велике количине хране се троше због стандарда квалитета који пренаглашавају изглед. Анкете показују да су потрошачи спремни да купују производе који не испуњавају стандарде изгледа све док су сигурни и имају добар укус, купци тако имају моћ да утичу на стандарде квалитета. Други предлог је продаја пољопривредних производа потрошачима, без потребе да се усклађују са стандардима квалитета супермаркета. То би се могло постићи путем пољопривредних пијаца. Треба наћи добру употребу за храну која би иначе била бачена. Потрошачи у богатим земљама углавном се подстичу да купују више хране него што им је потребно. Промоције „Купи три, плати две“ су један пример, док су обимни готови оброци које производи прехранбена индустрија други. Уопштено говорећи, потрошачи не планирају правилно куповину хране. То значи да храну често бацају када истекну датуми најбољег рока употребе. Образовање у школама и политичке иницијативе могућа су полазишта за промену ставова потрошача. Потрошаче из богатих земаља треба научити да је беспотребно бацање хране неприхватљиво. Такође би требало да буду свесни да је с обзиром на ограничену доступност природних ресурса ефикасније смањити губитке хране

него повећати производњу хране како би се прехранила све већа светска популација [7, 9].

Отпад од хране у Србији

Званични подаци о количини хране у Србији која се баца из августа 2019. године показују да на отпаду само из домаћинства сваке године заврши скоро 247.000 тона хране (1,54 kg/недељно) Према извештају Центра за унапређење животне средине, дневно се баца 676 тона намирница.

Храна у Србији баца се из много разлога - највећа количина због кварења, а затим пошто чланови домаћинства не желе да једу стару храну или зато што мисле да није безбедна. Пола милиона грађана Србије не може да задовољи основне потребе у погледу хране. Оброк од Црвеног крста свакодневно добија 35.000 људи, а државну социјалну помоћ 260.000 становника Србије. Како би што мање хране завршавало у отпаду, у Београду је пре неколико година формирана Банка хране. Широм Србије, Банка хране има око девет хиљада корисника, најчешће особа са инвалидитетом и корисницима у установама за социјалну заштиту.

Такође, група младих из Србије одлучила је да покуша да споји оне који имају вишак хране са онима који је немају. Направили су апликацију Донорум (donorum.org) преко које могу да се пријаве фирме, трговински ланци и организације које имају вишак хране, као и невладине и хуманитарне организације којима је храна потребна. Преко апликације Донорум компаније и организације треба да направе профиле у зависности од тога да ли су донатори или хуманитарне и друге организације којима је храна потребна. Ово је прва оваква апликација у Србији и настала по угледу на британски *FoodCloud*.

Проблем је што компаније које желе да поклоне вишкове морају да плате ПДВ, па се трговцима и фирмама више исплати да баце и униште храну, него да је поклоне. Још 2017. најављено је укидање ПДВ-а на овакав вид помоћи, Србија је и даље једна од малобројних европских земаља која има такав порез.

Искорењивање глади један је од 17 глобалних циљева Уједињених нација који треба да буду остварени до 2030. године. Само у земљама Европске уније годишње у отпаду заврши 88 милиона тона, односно 113 ± 12 килограма по глави становника (Табела 1). У Француској је 2019. године ступио на снагу закон који налаже супермаркетима, великим дистрибутерима хране, као и произвођачима да не смеју да бацају јестиву храну. Француска, у којој се годишње бацало око 7,1 милиона тона хране, тако је постала прва земља која је законски решила питање бацања хране. Већина хране која се не прода или је близу истека рока се поклања хуманитарним организацијама или јавним кухињама [8].

Табела 1. Продуковане количине отпада из хране 2014. год. (kg/становнику) [9]

ЕУ 27+	116,7
Аустрија	118,5
Белгија	105,7
Бугарска	80,2
Хрватска	84,4
Кипар	79,8
Чешка	93,7
Данска	103,5
Естонија	111,8
Финска	102,0
Француска	122,3
Немачка	94,4
Грчка	142,7
Мађарска	110,0
Ирска	118,2
Италија	127,7
Латвија	107,4
Литванија	121,4
Луксембург	118,3
Малта	113,3
Холандија	111,8
Норвешка	78,8
Пољска	112,0
Португал	12,2
Румунија	127,7
Словачка	84,4
Словенија	108,4
Шпанија	144,0
Шведска	105,7
Велика Британија	118,1

2.3. Утицај на климатске промене и законски оквир

Тренутно главна еколошка опасност од биоразградивог отпада је производња метана из биоразградивог отпада који се распада на депонијама, што доприноси око 3% у укупној емисији гасова са ефектом стаклене баште у ЕУ-15 1995. године. Директива о одлагању отпада (1999/31/ЕС [3], амандман 2018/850) обавезује државе чланице да смање количину биоразградивог комуналног отпада који одлажу на депоније на 35% од нивоа из 1995. до 2016. (за неке земље до 2020.), што би значајно смањило овај проблем.

Најзначајније користи од правилног управљања биоотпадом, поред избегнутих емисија гасова са ефектом стаклене баште, биле би производња квалитетног компоста и биогаса који доприносе побољшању квалитета тла и ефикасности ресурса, као и виши ниво енергетске ефикасности. У пракси, међутим, државе

чланице су често склоне да се не одлуче за компостирање или производњу биогаса, већ уместо тога бирају наизглед најлакшу и најјефтинију опцију као што су спаљивање или одлагање на депоније занемарујући стварне еколошке користи и трошкове.

Несумњиво је да је одлагање на депоније најгора опција управљања отпадом за биоотпад. Међутим, постоји још неколико еколошки повољних опција за управљање биоразградивим отпадом преусмереним са депонија. Иако се хијерархија управљања отпадом односи и на управљање биоотпадом, у одређеним случајевима може бити оправдано одступити од њега јер еколошка равнотежа различитих опција доступних за управљање овим отпадом зависи од низа локалних фактора, између осталог од система сакупљања, састава и квалитета отпада, климатских услова, потенцијала употребе различитих производа изведених из отпада као што су електрична енергија, топлота, гас богат метаном или компост. Према томе, националне стратегије за управљање овим отпадом треба утврдити на транспарентан начин и заснивати се на структурираном и свеобухватном приступу као што је размишљање о животном циклусу. Како би помогла доносиоцима одлука у најбољем коришћењу биоразградивог отпада у складу са хијерархијом отпада, Комисија је припремила смернице о томе како применити процену животног циклуса и размишљање о животном циклусу на планирање управљања био-отпадом.

Бројни правни инструменти ЕУ баве се питањем третмана биоотпада. Општи захтеви за управљање отпадом, као што су заштита животне средине и здравља људи током третмана отпада и приоритет за рециклажу отпада, утврђени су ревидираном Оквирном директивом о отпаду која такође садржи специфичне елементе који се односе на биоотпад (нови циљеви рециклаже кућног отпада, који могу укључивати биоотпад) и механизам који омогућава постављање критеријума квалитета за компост. Депоновање биоотпада обрађено је Директивом о депонијама (1999/31/ЕС) која захтева преусмеравање биоразградивог комуналног отпада са депонија. ИППЦ (*Integrated Pollution Prevention and Control Directive*) директива (која ће ускоро бити замењена Директивом о индустријским емисијама) утврђује главне принципе за дозволу и контролу постројења за прераду биоотпада капацитета преко 50 t/dan. Спаљивање биоотпада регулисано је Директивом о спаљивању отпада, док су здравствена правила за компостирање и постројења за биогаз која третирају нуспроизводе животињског порекла прописана Уредбом о нуспроизводима животињског порекла [2].

Држава Србија је на путу прикључења Европској унији, како Европска унија подржава снажно деловање у области борбе против климатских промена, одрживог развоја и заштите животне средине, држава Србија мора предузети акције на том плану да би се успешно прикључила ЕУ. Потребно је да предузме делотворан институционални оквир за управљање инвестицијама за животну средину, које треба да се повећају. Србија би требало да ојача и повећа

административне капацитете на републичком и локалном нивоу, између осталог и капацитете релевантних инспекцијских служби, како би могла да побољша израду закона и омогући довољно времена за консултације у процесу израде прописа.

Што се тиче управљања отпадом, постигнут је добар ниво усклађености са правним тековинама ЕУ, међутим спровођење је и даље у раној фази. Србија је 2019. године усвојила значајан број прописа и правилника, Србија је такође развила националну стратегију управљања отпадом и националну стратегију управљања отпадним муљем, које су тренутно у процесу усвајања.

Удео рециклираног отпада у укупном систему управљања отпадом је и даље је мали, нпр. удео рециклираног отпада у комуналном отпаду је свега 3%. Србија мора да удвостручи напоре да се брже затворе депоније које нису у складу са правним прописима и у смислу улагања у разврставање и рециклажу отпада, као и смањења количине отпада. Очекује се да отпочне ремедијација депоније у Београду и изградња постројења за искоришћавање комуналног отпада у енергетске сврхе [27].

Главни изазови управљања отпадом у Србији односе се на обезбеђивање добре покривености и капацитета за пружање основних услуга као што су сакупљање, транспорт и санитарно одлагање отпада. Законом о управљању отпадом уређују се питања која се односе на: врсте и класификацију отпада; планирање управљања отпадом; субјекте управљања отпадом; одговорност и обавезе у управљању отпадом; организовање управљања отпадом; управљање посебним токовима отпада; услови и поступак издавања дозвола за управљање отпадом; финансирање управљања отпадом; надзор; казне и друга питања од значаја за успостављање и функционисање система управљања отпадом. Овим законом обезбеђује се успостављање интегралног система управљања отпадом, који треба да прати отпад од његовог настанка, преко његовог сакупљања, транспорта, складиштења, третмана, до коначног одлагања. Циљеви закона су да се у складу са начелом одрживог развоја обезбеди: очување природних ресурса; заштиту животне средине и здравља људи; омогући развој савремених технологија производње амбалаже.

Основни проблем у области управљања отпадом представља непоштовање прописа и недостатак спровођења казнене политике према онима који прописе не поштују, посебно када су у питању локалне самоуправе и јавна комунална предузећа [26].

Европска комисија је 2008. године објавила зелени папир о управљању отпадом у ЕУ који се односи на унапређење управљања био-отпадом, укључујући стандарде за компост, специфичне мере за спречавање стварања био-отпада и строжије квоте за одлагање биоразградивог комуналног отпада. 2009. године проглашена је Директива 2009/28/ЕЦ, директива Европске уније која прописује нивое

коришћења обновљивих извора енергије у Европској унији од 2009. до 2021. године [26].

Циљ је производња 20% енергије у ЕУ из обновљивих извора. Осим забринутости за капацитете депонија у појединим земљама, повећана је и свест о утицајима депонија на животну средину. То се нарочито односи на емисију гасова стаклене баште, која постаје све важнија у планирању управљања отпадом (биоразградиви отпад производи метан много година пошто је одложен на депонију), на загађење подземних и површинских вода, као и земљишта. Приоритет се ставља на спречавање стварања отпада, прераду, рециклирање (постављају се квантитативни циљеви за рециклирање сортираног отпада из домаћинства), повраћај енергије и траже се могућности за избегавање одлагања отпада где год је то могуће [23].

Биоразградиве сустанце (био-отпад, папир и картон, дрво и биоразградиви текстил) чине значајан део комуналног отпада – отприлике 60-70% у већини земаља. Тај отпад може бити поново употребљен на различите начине и постоји огроман потенцијал за прераду тог материјала, који у многим земљама ЕУ није довољно искоришћен. Директива о депонијама је у неким државама чланицама очигледно била покретач за затварање депонија и повећање коришћења алтернативних начина за управљање отпадом као што су сортирање и рециклирање, компостирање, механичко-биолошки третман и спаљивање, а њени циљеви су обезбедили добре законске оквире дајући државама чланицама довољно времена да дефинишу своје стратегије и дизајнирају своје системе за управљање отпадом, базирајући се на својим институционалним структурама и традицији, спроводећи најефикасније и најјефтиније инвестиције. Сортирање фракција биоразградивог комуналног отпада (углавном папира и картона, амбалажног отпада, баштенског и кухињског отпада) се све више користи као мера за преусмеравање биоразградивог отпада са депоније. Како би се постигли високи резултати у сортирању отпада, нарочито је важно да домаћинства (и други) буду свесни и активни у сортирању и да такође учествују у компостирању отпада. Генерално, потребна је комбинација различитих инструмената политике заштите животне средине како би се ефикасно преусмерио отпад са депоније. Економски инструменти као што су корисничке таксе за управљање комуналним отпадом (по систему загађивач плаћа), таксе за одлагање отпада на депонију и таксе на производе који загађују животну средину могу да играју значајну улогу у управљању отпадом и ако су дизајниране на одговарајући начин могу успешно да регулишу понашање домаћинства, компанија за управљање отпадом и произвођача. Сарадња између општина или већих географских јединица изгледају као неопходан услов за обезбеђивање довољно могућности за потребне финансијске и људске капацитете за изграђивање алтернативе одлагању отпада. Истовремено, та сарадња мора да буде веома добро испланирана. Пристанак јавности је апсолутно од суштинског значаја у одлучивању о томе које су алтернативе одлагању отпада изводљиве, а које не. Зато комуникација и

програми информисања имају веома важну улогу у објашњавању јавности правих трошкова и добитака које са собом носе стратегије за алтернативно управљање отпадом и стварање енергије од отпада [23].

2.4. Количине произведеног и рециклираног отпада у ЕУ и Србији

Према истраживању европске статистичке агенције *Eurostat* о количинама произведеног комуналног отпада, Србија се налази на дну листе европских земаља [19]. Иако Србија има доста мању продукцију комуналног отпада у односу на друге европске државе, највећи део произведеног отпада се одлаже на депонијама, рециклира се веома мали део отпада, а компостирање и начини употребе отпада за добијање енергије се не примењују.

Износ отпада по глави становника за 2017. годину у Европској унији, износио је 487 kg. Од 2014. године када је количина произведеног отпада достигла најнижу тачку, од 478 kg, продукција комуналног отпада је константно у благом порасту. Према истраживању из 2017. године које је поред земаља чланица ЕУ обухватило и земље кандидате за чланство, укупно је произведено 249.238.000 t отпада од чега је у Србији произведено 2.150.000 t отпада. Како количина отпада варира од земље до земље, највише отпада је произведено у Данској са 781 килограма по становнику, а у Србији 306 килограма по становнику. Истраживања су показала да земље које производе највеће количине отпада у Европи су уједно и земље које рециклирају највеће количине отпада.

У Европској унији се према истраживању из 2017. године тек 24% отпада одлаже на депоније, док се велики проценат отпада обради на неки начин. Велики део отпада се користи за добијање енергије и сировина или се када је у питању органски отпад компостира и природно разлаже.

У Србији се 95% отпада налази на депонијама или у природи, што је еколошки и економски неоправдана опција за управљање отпадом. Од произведених 306 килограма отпада чак 256 килограма завршило је на депонијама, а један килограм по особи је искоришћен за добијање секундарних сировина [24].

2.5. Пример добре праксе управљања отпадом у Немачкој

Немачка стратегија за управљање отпадом прати ЕУ хијерархију отпада са превенцијом као првим приоритетом, затим повраћајем материјала и енергије у зависности од тога шта је боље за животну средину. Циљеви за управљање комуналним отпадом се такође фокусирају на избегавање контаминације отпада и обезбеђују прераду и одлагање отпада који није прерађен. Произвођачи су одговорни за свој производ чак и онда када постане отпад (амбалажа, електронски отпад), а за отпад који стварају домаћинства одговорна је локална самоуправа (транспорт и сакупљање, мере за промоцију спречавања стварања отпада, прерада отпада, планирање, изградња и управљање постројењима за

одлагање отпада), при чему домаћинства плаћају пуну цену сакупљања и управљања отпадом.

Једно од кључних средстава за преусмеравање отпада са депоније било је ограничење за одлагање органских садржаја на депонију. Још 1993. је законом ограничено одлагање органског отпада на депоније на 3% укупног органског угљеника. Како би се тај циљ постигао, било је неопходно одабрати спаљивање као метод обраде комуналног отпада. Донети су и закони о сортирању био-отпада и папира и у периоду од 10 година системом сортирања је обухваћена цела земља, што је знатно допринело смањењу одлагања биоразградивог отпада. У 2005. години сакупљало се и сортирало 189 kg биоразградивог комуналног отпада по глави становника. Сортирање папира и био-отпада показују готово исти развој: снажно повећање од 1990. до 2000. када су се количине учетворостружиле са 2 на 8 милиона тона да би се после тога тај ниво одржавао (слика 4).



Слика 4. Сортирање биоразградивих фракција отпада у Немачкој

1999. је постављен циљ да се до 2020. године сав комунални отпад преради тако да одлагање комуналног отпада на депоније више не буде потребно [23].

3. Могућности управљања биоразградивим отпадом

Органски отпад настаје свуда где постоји људско пребивалиште. Главни облици органског отпада су кућни отпад, пољопривредни отпад, људски и животињски отпад. У индустријски развијеним земљама количина произведеног органског отпада драматично расте сваке године. Иако многи љубитељи баштованства компостирају део свог кухињског и баштенског отпада, велики део отпада из домаћинства одлази на депоније и често представља веома опасан отпад. Компоненте органског отпада на депонији микроорганизми разграђују у течне процедурне воде које садрже бактерије, патогене и могуће хемијске загађиваче са депоније. Ова процедурна вода може представљати озбиљну опасност ако уђе у водоток површинских или подземних вода. Дигестијом органске материје на депонијама у великој количини настаје и метан, који је штетан гас за животну средину. Људски органски отпад се обично транспортује до постројења за пречишћавање где се третира, а затим отпадне воде улазе у водоток или се талоче директно у море.

У земљама у развоју постоји другачији приступ поступању са органским отпадом. У ствари, реч отпад често је непримерен израз за органску материју, која се често може добро искористити. Економије већине земаља у развоју налажу да се материјали и ресурси морају користити у пуном потенцијалу, а то је пропагирало културу поновне употребе, поправке и рециклаже. У многим земљама у развоју постоји читав сектор за рециклажу и сакупљање, чија је делатност искоришћење отпадног материјала и његово враћање на даље коришћење. Тамо где се стварају велике количине отпада, обично у већим градовима, постоје неадекватне установе за бављење тим отпадом, а већи део овог отпада или трули на улицама, или се сакупља и баца на отворено земљиште у близини градских граница. У тим земљама не постоји довољно контроле заштите животне средине како би се то спречило.

Постоје различити начини коришћења органског отпада. Три главна начина коришћења органског отпада су:

- побољшање тла,
- узгој животиња и
- обезбеђивање извора енергије [4].

3.1. Начини прераде органског отпада

За постизање наведених начина коришћења органског отпада потребни су различити нивои обраде. На слици 5. приказане су неке од опција различитих нивоа обраде у облику дијаграма тока.



Слика 5. Процеси и производи од органског отпада

3.1.1. Компостирање

Компостирање је метода разградње органских материја у великом контејнеру или гомили. До разградње долази услед дејства микроорганизама који се јављају у природи попут бактерија и гљивица. Компостирање може за неколико недеља или месеци претворити органски отпад у богати компост тамне боје или хумус. Природно компостирање, или разлагање, јавља се све време у природи. Оно представља процес биолошке разградње органске материје из биоразградивог отпада уз присуство аеробних микроорганизама и кисеоника из ваздуха. Компостирање је процес који се одвија у периоду од месец дана до шест месеци, што зависи од начина компостирања. Међутим, под контролисаним условима, процес се може убрзати. Компостирање има низ предности:

- пружа користан начин поврата хранљивих састојака из органског отпада,
- штеди драгоцени простор депоније и могуће загађење земљишта и воде због процедурних вода депоније,
- може се користити као ђубриво на пољопривредном земљишту или у башти,
- побољшава стање земљишта.

У компостирању, под условом да постоје прави услови, природни процес пропадања се убрзава. То укључује контролу окружења за компостирање и добијање следећих услова:

- Однос угљеника и азота: Тачан однос је у распону од 25 до 30 делова угљеника према 1 делу азота (25:1 до 30:1). То је зато што бактерије које спроводе поступак компостирања троше угљеник двадесет пет до тридесет пута брже него што троше азот. Однос угљеника и азота се може подесити мешањем органских материја са одговарајућим садржајем.

- Садржај влаге: Биљке имају течну, а не чврсту исхрану, па компостну гомилу треба увек одржавати влажном. С друге стране, компост производи непријатни мирис. Оптимална влага је када је материјал влажан на додир, а при јачем стиску се појаве не више од 1—2 капи воде тј. влага у гомили треба да буде између 40% и 60%.
- Ниво кисеоника: Компостни материјал треба често окретати како би сви делови могли да добијају кисеоник. Компостирање се може обавити под аеробним (потребан је слободан кисеоник) или анаеробним (без кисеоника) условима, али аеробно компостирање је много брже (10 до 20 пута). У тек формираној компостној гомили, концентрација кисеоника је 15—20%, а угљен-диоксида 0,5—5%.
- Оптимални ниво рН вредности компоста је између 5,5 и 8. У овим условима, бактерије и микроорганизми се хране и множе, одајући велику количину топлоте. У материјалу којим се добро управља, температура може достићи и до 60°C, што је довољно за уништавање семена корова и организама који узрокују болести код биљака и животиња. Док температура остаје висока, микроорганизми нису присутни у компосту, али када температура падне, почиње процес разградње.
- Температура: Висока температура врши стерилизацију компоста и уништава патогене микроорганизме, као и семе коровских биљака. Сувише висока температура (преко 75°C) може да уништи микроорганизме и да успори сам процес, па се препоручује повремено превртање материјала ради очувања оптималне температуре гомиле, а тиме и добра проветреност. Добро направљен компостер и обезбеђени добри услови довешће до загревања гомиле на 40–50°C за два то три дана.

Облици разлагања могу бити анаеробни и аеробни:

- У анаеробном распадању, разградњу органског материјала узрокују бактерије и организми које успевају у условима са смањеном количином или без кисеоника. То је врста разградње која се одвија у затвореним контејнерима. Ова врста система је сложенија и теже се контролише и захтева сложену опрему за компостирање већих размера.
- У аеробном разлагању, за разградњу су одговорне бактерије и микроорганизми који успевају у условима високих концентрација кисеоника. Овај облик разградње јавља се у отвореним гомилама и контејнерима који омогућавају улазак ваздуха. Са отвореним гомилама и у вентилисаним контејнерима, компост се може створити за неколико месеци, а још брже ако се органски материјал редовно окреће. У гомилама или кантама где се дешава аеробно распадање, не сме бити непријатних мириса.

Системи за компостирање могу се отворити или затворити, односно органска материја се третира на отвореним гомилама или редовима или у затвореним

контејнерима или реакторима. Отворени систем се ретко користи у земљама са ниским приходима због своје техничке сложености.

Један од отворених система који се користе је компостирање у дворишту на нивоу домаћинства и представља једноставну технику компостирања. Потребан је само одговарајући органски отпад, простор за смештај и време за обављање потребних послова. Отпад се може сместити у јаму (рецимо 2m x 2m x 1m дубине) и оставити да се распаде 2 - 3 месеца. Алтернативно, отпад се може скупљати у затвореном простору који је сачињен од 4 стуба и који може да се обезбеди даскама или жицом и да се оставити сличан период (слика 6). Тако се добија богат компост који се може користити као ђубриво на пољима или у баштама. Још једна уобичајена техника компостирања је прављењем низа од сена који се суши на ветру. Овде се отпад једноставно полаже у дугачке редове и повремено окреће.



Слика 6. Жичани и дрвени компостер

Друга метода је метода ротирајућих канти за коју се користи низ затворених канти са ваздухом (слика 7) [5].



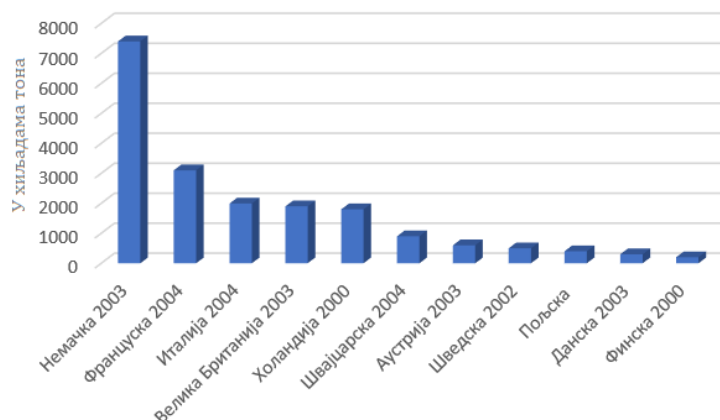
Слика 7. Ротирајући компостери

Увођење стандарда, као на пример, у Норвешкој и сертификата довело је до развоја регионалних и националних тржишта у индустријализованим земљама и земљама у развоју. Комунални отпад из урбаних подручја у земљама у развоју који је богат органским материјама је посебно погодан за овакву врсту третмана и стимулисан је потребом за ђубривима у овим земљама. На пример, град Александрија у Египту претвара четвртину свог отпада у 120.000 тона компоста

годишње и користи га за побољшање квалитета земљишта, а посебно у пустињским и песковитим пределима.

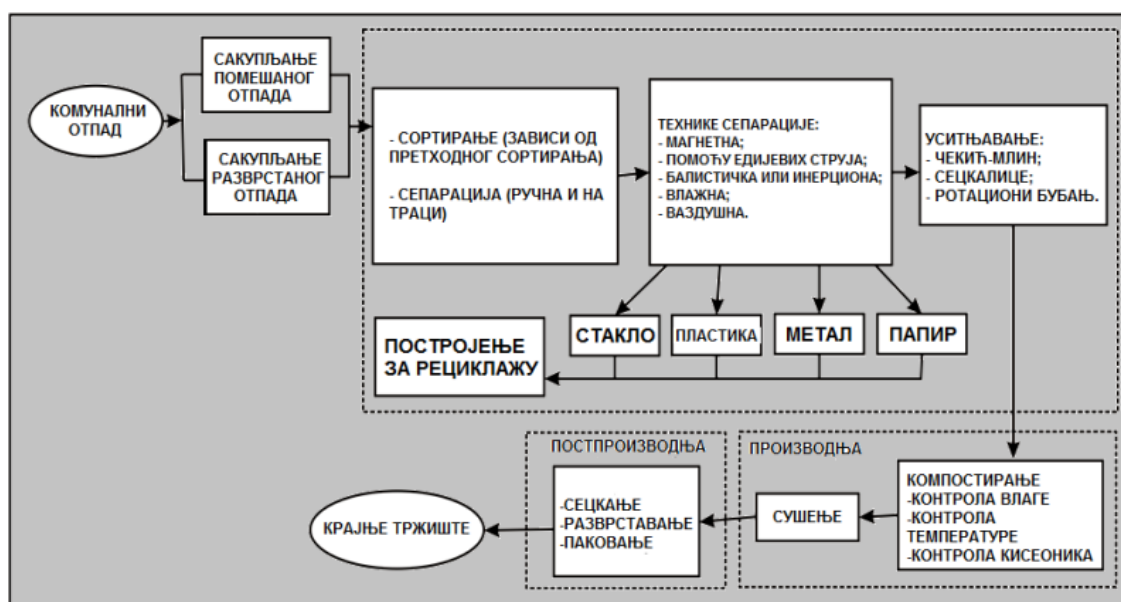
У Србији не постоји организована производња компоста органског ђубрива које настаје обрадом органског отпада иако сваки становник у просеку дневно произведе килограм отпада, од чега скоро половину чини биоразградиви отпад који завршава на депонијама. У Србији је компостирање још увек ствар ентузијазма појединаца, без систематских и законских решења која би омогућила и подстакла његову производњу и без озбиљне едукације младих о његовој важности. У Србији око 50 одсто отпада на депонијама чини органски отпад који би након примарне сепарације у домаћинствима, институцијама и индустрији могао да се компостира, што би повољно утицало и на смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште и на тај начин допринело механизму чистог развоја. Шуме су најважнији неискоришћени ресурс за компостирање у Србији, а нарочито су погодне због тла незагађеног хемикалијама, које се иначе налазе у компосту од сакупљеног биљног отпада са пољопривредног земљишта. Предност је у томе што шумски компост може да буде добра основа за органску производњу хране. У Србији не постоји инвентар количина сировина погодних за компостирање, али постоје процене да би у Србији за даљу прераду, па и компостирање, годишње могло да се користити око 70.000 кубних метара шумске биомасе. Шумски отпад у Србији се за сада не користи за производњу компоста јер не постоји одговарајућа технологија и опрема за сакупљање која би истовремено омогућила економску исплативост, а проблем представља и недовољна изграђеност шумских путева којих има упола мање од оптималног броја.

Истовремено, у Европи десет година функционише Европска мрежа за компост (ECN) која промовише и подржава компостирање и као део борбе против климатских промена. Чланови те мреже су министарства држава чланица ЕУ, факултети и агенције који се баве заштитом животне средине, невладине организације и фирме које производе компост. Према подацима Еуростата, у ЕУ се просечно годишње компостира око 17 одсто комуналног отпада. Процењује се да је у Европи (ЕУ 15) сакупљено и претворено у компост око 18 милиона тона органског отпада (зелени и кухињски отпад), којем треба додати 3,5 милиона тона органског отпада који је третиран у резервоарима за анаеробну дигестију. Процењује се да је степен поновног искоришћења органског отпада (који чини од 30% до 45% укупне количине отпада из домаћинства, укључујући папир и картон) у Европи 42%. Немачка, Аустрија, Холандија, Данска и Француска већ су достигле циљеве Европске директиве за смањивање отпада на депонијама која промовише стабилизацију органског материјала и развој рециклаже у пољопривредне сврхе док је Шведска прва успела у томе. На слици 8. дат је графички приказ количине органског отпада поново искоришћеног из комуналног отпада у одабраним земљама у Европи.



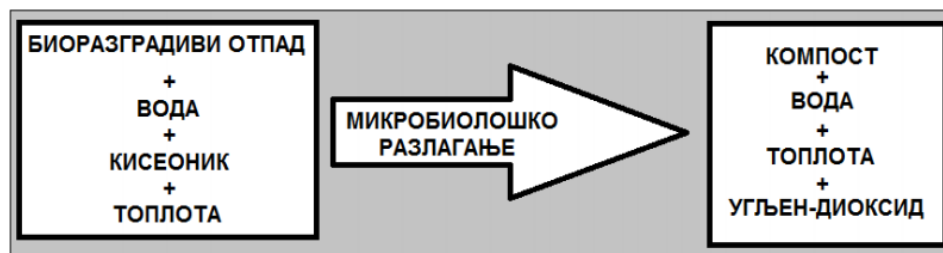
Слика 8. Графички приказ количине органског отпада поново искоришћеног из комуналног отпада у одабраним земљама у Европи (укупно 18 милиона тона) [10]

Примени технологије компостирања за прераду чврстог биоразградивог отпада, треба да претходи процес разврставања односно селекције или сепарације укупне масе отпада, са циљем издвајања некомпостабилних рециклабилних материјала као што су: стакло, пластика и метали. Индустијски и други опасан отпад се мора искључити. На слици 9, приказана је блок-шема постројења за разврставање и компостирање комуналног отпада.



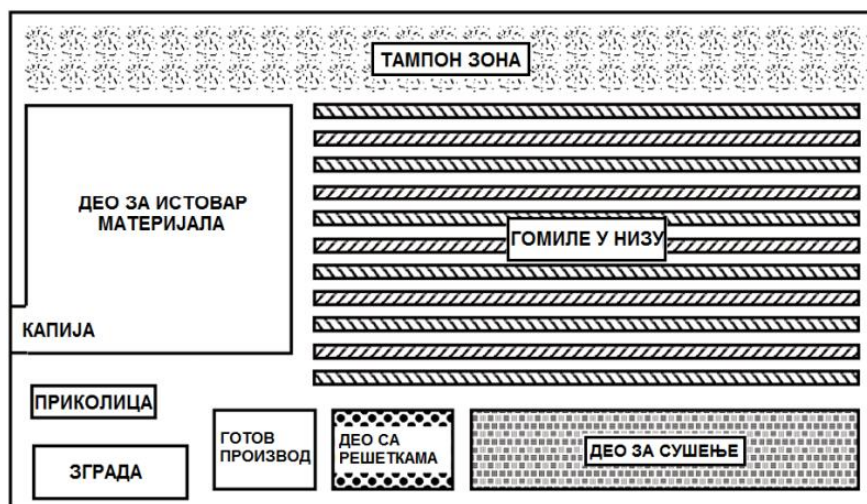
Слика 9. Блок-шема постројења за разврставање и компостирање комуналног отпада [10]

Процес компостирања захтева: одговарајући биоразградиви отпадни материјал, воду, кисеоник и микроорганизме који живе у земљишту, као што је приказано на слици 10.



Слика 10. Основни процес компостирања [10]

На слици 11, приказан је план модела постројења за компостирање са саставним елементима.



Слика 11. План постројења за компостирање са саставним деловима [10]

Процес компостирања одвија се у неколико фаза: фаза биоразградње, фаза зрења и фаза паковања. У фази биоразградње, врши се пријем биоразградиве материје и њено трансформисање до добијања бруто – компоста, спремног за испоруку следећој фази. Биоразградиве материје се компостирају аеробном ферментацијом после које следи фаза сазревања. Постоје различити начини који се могу користити али на основу вишедеценијског искуства најекономичнији и најефикаснији начин је природна ферментација, стварањем гомила, одређених за остваривање најбољег односа између подлоге, протока ваздуха и материје. Сваком производном дану одговара једна гомила, која мора да се сваког дана преврне у року од две недеље и то ручно или машински у зависности од доступне технологије. Са фазом сазревања на отвореном простору у року од 4 недеље се завршава компостирање. Овај систем ферментације у потпуности елиминише непријатне мирисе, који су пропорционални брзини ферментације. Осим тога почетак процеса ферментације одмах по добијању биоразградивог отпада омогућава избегавање мириса и да фаза биоразградње остане чиста. Стари метод компостирања састојао се у томе да се органска материја спакује у гомилу која би се оставила годину дана након чега се очекује да материјал буде спреман за коришћење. Предност овог метода је што је потребно мало рада и напора за обављање посла око компостирања. Недостаци су: простор се заузима у току целе године, хранљиви елементи могу бити испрани услед атмосферских падавина,

процес компостирања дуго траје, семе корова, инсекти, штеточине и патогени микроорганизми који се јављају као узрочници многих болести код људи, животиња и биљака, не могу се контролисати. У новије време развијен је нов метод "брзог" компостирања који решава неке од проблема везаних за стари начин компостирања. Применом новог метода компост се може направити у року од 2 до 3 недеље. За овај метод који штеди време мора се уложити посебан напор. Овај напор је оправдан и у случају добијања великих количина компоста и у случају претварања некорисног биоразградивог материјала у користан компост. Постоји неколико важних фактора који утичу на процес брзог компостирања и пошто су сви важни, није битан њихов редослед презентирања: Материјал који се компостира треба да буде гранулације од 1,25 до 3,8 центиметара. Сочно мекано ткиво не треба да се ситни на врло мале делове зато што се исти брзо разлаже. Што је ткиво више одрвењено мора се више уситњавати да би дошло до брзог декомпоновања. Дрвенасти материјал се мора пропустити кроз млин за млевење док већина млинова зељастог материјала ситни исувише фино за добро компостирање. Уситњавање материјала се врши тако што дрвенасте делове треба што више уситнити, а зељасте делове мање да би се постигло равномерно декомпоновање [10].

Примери добре праксе употребе органског отпада (компоста)

Производња биогаса и компоста средње величине из отпада у Коломбу, Шри Ланка

Пилот пројекат који спроводи општинско веће Коломба користи органски отпад са локалних градских пијаца поврћа за производњу биогаса и компоста. Дигесторе је развио Национални центар за истраживање и развој енергије и прихватају суве серије органског отпада. Постоје четири дигестора са плутајућом куполом пречника око 6 метара, сваки капацитета 40 тона сувог отпада. Време задржавања органске материје је 4 месеца, тако да су четири резервоара у могућности да се баве са укупно 480 тона тржишног отпада сваке године.

Отпад производи приближно 1m^3 биогаса по тони дневно, што значи укупно 7500 kWh електричне енергије сваке године. Систем такође даје 300 тона продајног ђубрива сваке године. Пре овога, сав отпад морао је бити одложен на депоније ван града.

Дигестор је направљен од бетона са плутајућим поклопцем од стаклених влакна. Гас се изводи из дигестора и користи се за напајање мотора. На локацији се налазе и пекарска пећ и плински горионик за угоститељство који демонстрирају употребу гаса.

Пример узгоја животиња помоћу остатака органске хране

У забаченим градским областима Маниле узгој свиња је дуго био традиционални извор прихода. Комерцијално произведена храна за ову активност је скупа, а узгајивачи свиња често користе органске остатке да би допунили или заменили комерцијални производ. Постоји развијена мрежа сакупљача који сакупљају органски отпад из ресторана у центру града, а затим га дистрибуирају међу пољопривредницима. Пољопривредници могу отпатке купити приближно за половину цене комерцијалне хране. Поређење трошкова изведено у оквиру пројекта *WAREN* (цитираног у извештају под називом „Рециклажне активности у метроу Манила“) показује да се зарада са свињама више него удвостручује храњењем органским отпадом, чак када се узиму у обзир остали трошкови, као што су ветеринарски трошкови, превоз, гориво итд. Овакви подухвати су корисни не само узгајивачима свиња, већ и општини која би иначе отпад морала да одлаже на депонију [5].

Тоалет за компостирање

Постоји низ метода које се обично користе за кућно компостирање људских излучевина. Најједноставније решење је тоалет за компостирање. Обично дизајн таквог тоалета укључује две коморе, од којих свака може да одржи најмање једногодишњи депозит излучевина. У комору се не додаје вода, али се и пиљевина или пепео могу додати за побољшање односа угљеник - азот. Када се прва комора напуни, она се затвара и омогућава се аеробно компостирање. Процесом се добија богат компост без патогена. Када се друга комора напуни, прва се испразни и циклус започиње поново. За једно становање, структура не сме бити већа од оне у типичном тоалету. Остале методе кућног компостирања излучевина укључују ко-компостирање са биљном материјом или анаеробну дигестију у реактору за биогаз или у септичкој јами, који дају богат компост од гнојнице [5].

3.1.2. Производња биогаза

Биомаса представља одржив извор обновљиве енергије. Неколико органских материја коришћено је за анаеробну дигестију. Анаеробна дигестија биомасе је микробиолошки процес у више фаза, који ствара биогаз и остатке дигестије као коначне производе. Биогаз је енергетски богата мешавина првенствено метана и угљендиоксида и може се користити у енергетске сврхе. Остаци дигестије карактеришу висок садржај хранљивих материја и могу се ефикасно применити за гнојење тла.

Производња биогаза оцењена је једном од најефикаснијих технологија за производњу биоенергије која је енергетски најефикаснија за животну средину. Типични супстрати за анаеробну дигестију укључују стајско ђубриво, талог из отпадних вода и енергетске усеве. Ко-дигестија неколико супстрата повећава принос биогаза и побољшава ефикасност процеса. Поред тога, коришћење

органског отпада као супстрата за производњу биогаза представља стабилизацију отпада и смањену количину депонованог отпада.

Биогас се производи поступком познатим као анаеробна дигестија. Биогас је мешавина метана (CH_4), угљен-диоксида (CO_2) и мале количине гасова у траговима, који настаје микробном разградњом органских супстанци под анаеробним условима. Анаеробна деградација природно се јавља у стаништима са недостатком кисеоника, као што су седименти, тла закрчена водом. Природно се јавља на дну бара и мочвара и доводи до стварања „мочварног гаса“ или метана, који је запаљив гас. Такође се природно одвија на депонијама, изазива стварање депонијског гаса и доприноси штетним гасовима стаклене баште.

Биогас се може произвести дигестијом људског, животињског или биљног отпада у посебно дизајнираним дигесторима. Животињски отпад је посебно погодан за производњу биогаза јер је често доступан у великим количинама и такође има одговарајући однос угљеника и азота. Размера једноставних постројења за биогас може да варира од малог система за домаћинства до великих комерцијалних постројења од неколико хиљада кубних метара. Процес је осетљив и на температуру и на сировине (потребан је исправан однос угљеника и азота као код компостирања) и оба треба пажљиво контролисати. Време производње варира од неколико недеља до неколико месеци.

Састав биогаза варира у зависности од разградивог супстрата као и услова процеса, нпр. температура и редовно мешање. Уобичајено, садржај метана је 50–75% биогаза, а садржај угљен-диоксида од 20 до 45%. Метан је енергетски носилац биогаза, па је за производњу енергије пожељан висок садржај метана, а нижи садржај угљен-диоксида. Концентрација водене паре варира од 2 до 7% у зависности од температуре у току процеса дигестије. Биогас може такође да садржи трагове азота (N_2), амонијака (NH_3), кисеоника (O_2), водоника (H_2) и водоник сулфида (H_2S), који делује корозивно на метале. Састав биогаза дат је у Табели 2.

Табела 2. Састав биогаза

Једињење	Хемијски симбол	Садржај (%)
Метан	CH_4	50–75
Угљен-диоксид	CO_2	25–45
Водена пара	H_2O	2–7
Кисеоник	O_2	< 2
Азот	N_2	< 2
Амонијак	NH_3	< 1
Водоник	H_2	< 1
Водоник сулфид	H_2S	< 1

Анаеробна дигестија органске материје је четворофазни процес који се остварује сарадњом неколико микробних група. Четири фазе укључују деполимеризацију органских супстанци (хидролизу), ацидогенезу, ацетогенезу и метаногенезу, које производе биогаз и дигестат као крајњи продукт анаеробне дигестије (слика 12).



Слика 12. Фазе анаеробне дигестије органске материје: 1) хидролиза биополимера, 2) ацидогенеза, 3) β -оксидација масних киселина дугог ланца, 4) ацетогенеза, 5) оксидација ацетатом, 6) метаногенеза

- Хидролиза

Прва фаза анаеробне дигестије – хидролиза, представља деполимеризацију биополимера (полисахариди, липиди, протеини и нуклеинске киселине) (слика 13). Комплексна хидролизна микробна заједница производи ванћелијске хидролизне ензиме који разграђују биополимер у њихове мономере (шећере, дуголанчане масне киселине, глицерол, аминокиселине, пурине, пиримидине). Обично, организми који врше хидролизу такође асимилирају настале мономере и ферментирају их током следећих фаза анаеробне дигестије.

- Ацидогенеза

Продукти хидролизе микробно се претварају у алкоhole, испарљиве масне киселине, угљен-диоксид и молекулски водоник ферментацијом или анаеробном оксидацијом ако постоје акцептори електрона, попут нитрата или сулфата (слика 13). За производњу биогаза пожељнија је ферментација јер даје супstrate метаногенезе (ацетат, формат, H_2 , CO_2). Због киселих продуката (нпр. пропионске киселине) друга фаза анаеробне дигестије назива се ацидогенеза.

- Ацетогенеза

Ацетогенеза је једна од главних реакција. У овој фази продукти настали ацидогенезом се даље оксидују у ацетат, формате, молекуларни водоник и угљен диоксид ацетогеним бактеријама, стварајући директне супstrate метаногена (слика 13).

- Метаногенеза

Последња фаза анаеробне дигестије је метаногенеза, при којој настаје енергетски носилац биогаза – метан (CH_4). У току метаногенезе настају и други гасови,

највише угљендиоксида, затим у много мањим концентрацијама настају азот и водониксулфид.

Фактори који утичу на анаеробну дигестију

Анаеробна дигестија је сложен процес у више фаза који је осетљив на широк спектар фактора. Неуспеси процеса могу бити резултат техничких и биохемијских проблема. Често пријављени технички проблеми укључују недовољно мешање у биореакторима, узроковано непримереном величином честица. Нечистоће у супстрату, као што су стакло, пластика и метали који се налазе у органском отпаду, представљају механичке проблеме. Поред тога, промене температуре као и време задржавања у биореактору утичу на ефикасност процеса.

Процес анаеробне дигестије органске материје у биогасу и остаци дигестије такође зависе од физичко-хемијских услова биореактора. Често пријављени проблеми у току процеса су резултат смањења рН вредности услед накупљања испарљивих масних киселина, инхибицијског дејства амонијака и H_2S , недовољне количине хранљивих материја и као и могућег присуства токсичних нечистоћа [11].

Дигестија отпада доноси неколико предности:

- производња метана за употребу као гориво,
- отпад се редукује у гнојницу која има висок садржај хранљивих састојака што чини идеално ђубриво, у неким случајевима ово ђубриво је главни производ из дигестора, а биогас је само нуспроизвод,
- током процеса варења патогени у стајњаку се убијају, што представља велику корист за животну средину.

Два популарна једноставна дизајна дигестора развијена су за употребу у земљама у развоју, индијски дигестор за биогас са плутајућим поклопцем и кинески дигестор са фиксном куполом. Обе раде на исти начин, али коморе за складиштење имају мало другачији дизајн.

Остатак после дигестије се уклања на излазу и може се користити као ђубриво. Биогас се може користити за бројне примене, укључујући осветљење, кување, производњу електричне енергије и као замена за гориво у дизел моторима. Неке земље су покренуле велике програме за биогас, а пример је Танзанија. Танзанијски модел заснован је на интегрисаном искоришћењу ресурса из комуналног и индустријског отпада за производњу електричне енергије и ђубрива [5].

3.2. Здравље, животна средина и социјални аспекти рекултивације отпада

Сакупљање и одлагање отпада често се сматра одговорношћу владе или општине. У многим случајевима општина није у могућности да испуни ову улогу ни због финансијских ограничења, недостатка воље или недостатка организационих способности. У многим градовима сакупљање и одвајање отпада од стране приватног или неформалног сектора одузима превише времена због садржаја отпада, често мешавине органских и неорганских супстанци, попут пластике. Да би успео процес рекултивације органског отпада, примећено је да је од велике помоћи ако се органски и неоргански отпад одваја на извору. Овде се одговорност пребацује на произвођача отпада, на јавност. Многе успешне шеме успешне су само због свакодневног учешћа заједнице у активностима. Тамо где се отпад одваја на извору, смањује се ризик од контаминације од предмета као што су батерије, што значи да је органски отпад чистији. Постоји низ добрих примера рециклаже у заједници или шеме поврата ресурса у земљама у развоју. Две таква примера су наведена у наставку.

- Акра, Гана

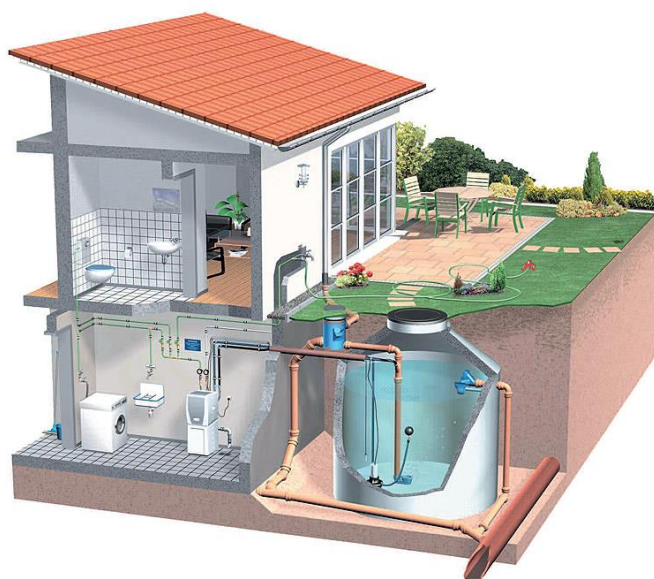
У главном граду Гане, Акри, уведено је компостирање кућног отпада како би се олакшала ситуација са отпадом (слика 13). Пројекат се изводи од 1985. године са 3 места за прикупљање у окрузима са ниским приходима. Чим стигне на место сакупљања (где га испоручују радници градског одељења за управљање отпадом), отпад се претходно сортира, материјал за виšekратну употребу се одмах одваја од органског отпада. Више чврстог отпада уклања се након што се компост први пут преокрене. Отпад се сортира још два пута током процеса компостирања и коначно пречисти пре него што се контејнерски прода локалним пољопривредницима.



Слика 13. Компостирање кућног отпада

- Мерида, Мексико

Почетком 1978. године започет је нови систем дренаже и рециклаже као део новог јефтиног пројекта у Мериди, граду на југоистоку Мексика. Систем је познат под називом *SIRDO* (*Sistema Integrada para la Reciclaje de Derecho Organico* - Интегрисани систем за рециклажу органског отпада). Свака кућа је повезана са одводним системом који разликује сиву (прање) и црну (тоалет) воду. Сива вода се филтрира и користи за наводњавање, а чврсте супстанце у црној води се таложе и користе у процесу ко-компостирања (са отпадом из домаћинства) за производњу ђубрива богатог хранљивим састојцима (слика 14). Двокоморни систем даје компост сваких 6 месеци. Пречишћена црна вода користи се и за наводњавање.



Слика 14. Систем за одвајање воде из кућне употребе која се користи за наводњавање

Систем је осмишљен да њиме управља заједница. У првим данима постојало је знатно противљење систему, не само од стране заједнице, већ и од локалног већа и приватних компанија, али се то убрзо променило, јер је постало јасно да је систем побољшао санитарне услове заједнице и дао квалитетан компост за продају. Чланови заједнице систем одржавају на добровољној основи, а приход од продаје компоста (обично становницима средње класе) реинвестира се у микро предузећа или користи за плаћање већих послова одржавања [5].

4. Могући системи за раздвојено сакупљање отпада

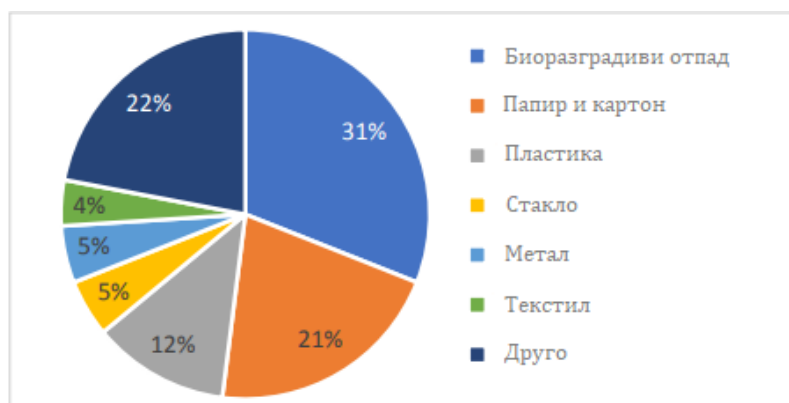
Сортирање отпада је поступак којим се отпад раздваја на различите елементе. Сортирање отпада може се извршити ручно у домаћинству и потом се сакупљати, или аутоматски одвајати у постројењима за сакупљање отпада или у системима механичког биолошког третмана. Ручно сортирање је била прва метода која се користила у историји сортирања отпада.

Сегрегација отпада подразумева поделу отпада на сув и мокар. Суви отпад укључује дрво и сродне производе, метале и стакло. Мокри отпад се обично односи на органски отпад. Сегрегација отпада разликује се од сортирања отпада. Сегрегација отпада значи груписање отпада у различите категорије. Сваки отпад иде у своју категорију на месту одлагања или сакупљања. Сортирање долази након сакупљања или одлагања [12].

4.1. Предности система одвојеног сакупљања отпада

Земље које су увеле обавезно одвојено сакупљање одређених фракција комуналног отпада, нпр. отпадни папир, поред амбалажног отпада или обавезног одвојеног сакупљања биоотпада, имају висок ниво рециклаже комуналног отпада. То указује на то да када државе успоставе шеме одвојеног сакупљања барем папира, метала, пластике и стакла до 2015. године, како захтева члан 11. Оквирне директиве о отпаду из 2008. године, може се очекивати да ће стопе рециклаже знатно порасти у многим земљама.

1989. године рециклирано је само 14% комуналног отпада, док је десет година касније удео отпада за рециклажу већ достигао 50%. То се могло постићи само великим проширивањем техничке инфраструктуре, као и информисањем и мотивисањем корисника система сакупљања.



Слика 15. Састав кућног отпада у Европи

На слици 15 приказано је да већина отпада долази из шест токова отпада. Одвојена колекција папира и картона, стакла и метала је добро позната и широко се примењује. Оптимална решења за сакупљање биоотпада зависе од географских и демографских услова, као што су густина насељености и типови становања.

У подручјима са ниском густином морају се прећи велике удаљености по прикупљеној количини што повећава трошкове и смањује укупну корист за животну средину. У руралним подручјима кућно компостирање се често може лако применити, а добијени компост се може користити локално. Истраживање у Шпанији о кућном компостирању показало је стопу смањења за 77% органског отпада из домаћинства. У високо насељеним подручјима сакупљање од врата до врата је оптималније и исплативије.

Међутим, у животном простору у високим зградама, теже је омогућити складиштење неколико токова отпада, што спречава одвајање на извору.

Квалитет је кључно питање. Биоотпад са више од 10% нечистоћа чини даљи третман тешко изводљивим јер то погоршава квалитет произведених ђубрива. У просеку, биоотпад сакупљен преко локалних сабирних места (нпр. подземни контејнери за биоотпад) имају већи удео загађивача од биоотпада прикупљеног системом од врата до врата. Подземни контејнери могу бити опција у градским центрима, али захтевају појачану контролу како би се побољшао квалитет прикупљених фракција.

Биоразградива пластика може се сакупљати заједно са био-отпадом. Међутим, већина биоразградиве пластике се разграђује спорије од уобичајеног кухињског отпада, што успорава процес или проузрокује елементе који нису потпуно разграђени [12].

4.2. Пример добре праксе – пројекат „Separate“

Пројекат „Separate“ укључује четири организације из Белгије, Немачке, Холандије и Велике Британије. Пројектни тим поседује техничко знање и аналитичке капацитете у области управљања отпадом и специјализован је за пренос еко-иновативних технологија, управљање пројектима и комуникацијске активности на европском нивоу.

Главни део система за раздвајање отпада је иновативна хидраулична преса која постиже највећу ефикасност одвајања (98%). Мешани отпад се убацује у „Орекс“ пресу, под високим притиском растворљива органска материја се понаша као течност и одваја се од суве фракције. Органска фракција се даље чисти како би се преостале нечистоће попут пластике и инертних материјала свеле на мање од 0,5% укупне органске материје. Резултат је хомогена паста која је погодна за анаеробну дигестију и осигурава ниске трошкове одржавања дигестора. Структуре ћелија овог органског материјала су разбијене чиме се постиже висок принос гаса са краћим временима задржавања. Кратко време задржавања је од

економске важности јер смањује инвестиционе трошкове дигестора. Као резултат врло чистог раздвајања могу се добити бројни висококвалитетни производи.



Слика 16. Део погона за раздвајање отпада

Током целог пројекта систем одвојеног сакупљања отпада био је подвргнут дугорочним и краткорочним испитивањима у Немачкој, Шпанији и Великој Британији. Резултати испитивања, изведених на комуналном чврстом отпаду, одвојено сакупљеном биоотпаду и монотоковима, представљени су на конференцији. Конференцијом која је обележила крај трогодишњег пројекта, такође је посвећена пажња будућем тржишном потенцијалу одвојеног система сакупљања отпада (слика 16). Изложено је да се систем може користити у комбинацији са различитим технологијама за производњу производа као што је биогаз.

Производња комуналног отпада у ЕУ смањила се на 475 kg по становнику у 2014. години, 10% мање у односу на ниво из 2002. 44% отпада било је рециклирано, компостирано или подвргнуто анаеробној дигестији.

Подаци Еуростата [19], завода за статистику ЕУ, показују да производња комуналног отпада опада сваке године од 2007. године, са максимумом у 2002. години од 527 kg по особи. Количина произведеног комуналног отпада значајно се разликује у државама чланицама ЕУ.

Третман комуналног отпада такође се разликује у ЕУ, готово половина се рециклира у Словенији (49%) и Немачкој (47%), у поређењу са само 3% у Летонији и 5% у Румунији.

56% комуналног отпада који није рециклиран или компостиран, равномерно се дели између спаљивања и одлагања на депоније. Највеће стопе спаљивања заступљене су у Естонији (56%), Данској (54%), Финској и Шведској (обе 50%), док је највећи удео депонованог комуналног отпада забележен у Летонији (92%), Малти (88%) и Хрватској (83%).

У оквиру пројекта вршена су испитивања различитих токова отпада на лицу места и анализиран је квалитет и карактеристике токова отпада који су одвојени новом технологијом. Резултате анализе потврдили су реномирани институти и лабораторије у испитним земљама.

Био-отпад представља велики део чврстог комуналног отпада, али рециклажа био-отпада још увек је у развоју. Ако се правилно третира, био-отпад може резултирати висококвалитетним компостом и биогасом, чиме се избегава емисија гасова стаклене баште и губитак материјала високе вредности.

У отпаду, токови материјала су заплетени, помешани и контаминирани. Сортирање сувих материјала за рециклирање је једноставно, али прави изазов је одвојити органске састојке од остатка отпада. Постоје две могућности:

- Одвајање на извору

Од домаћинства се захтева да свој органски отпад сортирају у одређене канте. Иако је одвајање на извору теоретски најбоље средство за постизање чистог органског отпада, стварност изгледа другачије. Менталитет и култура утичу на стопу учешћа и ефикасност одвајања, али без обзира на то, искуство је показало да је тешко применити сакупљање органског отпада у густо насељеним урбаним областима.

- Централизовано раздвајање у објектима за третман отпада

Због проблематичних хигијенских услова и високих трошкова особља, ручно одвајање биоотпада није опција. Механичко раздвајање уситњавањем и просејавањем данас је најраспрострањенија метода, али његова ефикасност није оптимална и висок остатак органских састојака у неорганској фракцији и обрнуто, неорганских састојака у органској фракцији, ствара проблеме за оба тока.

Иновативни систем одвајања отпада превазилази ове проблеме са високом ефикасношћу раздвајања, при чему се уклања 98-99% укупних растворљивих органских материја из контаминираних токова отпада, остављајући органску фракцију чистом, а неорганску фракцију сувом и чистом.

Орекс преса је иновативна хидраулична преса која постиже највећу ефикасност раздвајања (98%). Под високим притиском растворљива органска материја се понаша попут течности и одваја се од суве фракције.

Орекс преса има модуларну конструкцију (слика 17). Састоји се од активног дела односно потисног носача, водећи и сви функционални делови смештени су у самоносећој конструкцији и централног пасивног дела конструкције који садржи главни цилиндар и комору за истискивање. Процес истискивања врши се у три фазе:

- Фаза храњења;
- Фаза компресије;
- Фаза избацивања.

Доводни цилиндар допрема органски отпад помоћу потисног носача у екструзиону комору из резервоара за довод, а затим главни цилиндар компресује да би истиснуо материјал који се претвара у течност под овим екстремно високим притиском. Када се фаза компресије заврши, потисни носач се увлачи, отварају се бочна врата и доводни цилиндар износи структурни сув материјал који је остао у комори за компресију. Доводни цилиндар се потом увлачи и врата се затварају да би отпочео следећи циклус.



Слика 17. Орекс преса

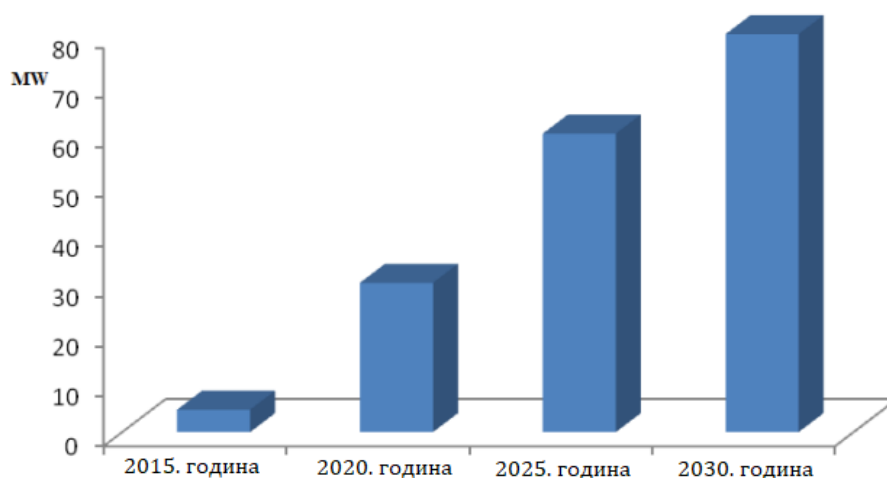
Систем за даље чишћење органске фракције делује у две фазе. У првој фази циклон се користи за даље чишћење органске фракције (слика 18). У циклону се материјал ротира великом брзином гурајући органски материјал кроз перфорацију и одвајајући га од материјала који је већи од перфорације, обично од пластике. Док се органска фракција утискује кроз рупе циклона, преостала пластика пада и затим се одвози транспортером. У другој фази, из органске фракције се уклањају инертни материјал и загађивачи попут врло малих комада камена, стакла и песка. Током друге фазе, биоразградиви органски материјал се премешта у резервоар где материјал мирује. Тежи материјал попут ситног камења и стакла током времена мировања тоне на дно резервоара. На дну се налази стругач који полако извлачи потонули материјал из резервоара [13].



Слика 18. Циклон

5. Потенцијалне могућности за изградњу биогасних постројења у Србији

У Републици Србији усвојен је национални акциони план развоја обновљивих извора енергије до 2020. године, којим је предвиђено да се изграде биогасна постројења укупне снаге до 30 MW за производњу електричне енергије, док је стратегијом развоја енергетике до 2025. са пројекцијом до 2030. предвиђено да се до 2030. године изграде постројења снаге око 80 MW за производњу електричне енергије из биогаса (слика 19).



Слика 19. План изградње биогасних постројења за производњу електричне енергије у Републици Србији до 2030. године

Ови планови захтевају ангажовање свих актера на енергетском тржишту, пре свега државе која треба да креира подстицајни механизам за коришћење биогаса и осталих обновљивих извора енергије, а затим и других који би користили опрему, производили биогас и користили произведену енергију. Република Србија је у циљу подстицања овакве производње усвојила мере такозване *feed-in* тарифе које стимулишу произвођаче електричне енергије који користе биогас као обновљиви извор енергије. Она обухвата цену која је већа од тржишне цене електричне енергије, такође гарантује се откуп електричне енергије у трајању од 12 година. Оваква постројења имају предност приликом прикључења на електричну мрежу и са аспекта животне средине могуће је издвајање подстицајне мере која омогућава инвеститорима да ако увозе опрему буду ослобођени плаћања царине за опрему која доприноси заштити животне средине и на тај начин смањују трошкове везане за изградњу биогасног постројења. Стимулативни оквир прилагођава се актуелним тржишним условима, стога су увођене промене подстицајних мера од 2010. године у циљу веће могућности изградње биогасних постројења.

За изградњу биогазних постројења постоје четири аспекта које је неопходно сагледати, а то су:

- Просторно плански услови,
- Енергетски услови,
- Услови заштите животне средине и
- Грађевински услови.

Треба имати у виду кључну карактеристику биогазних постројења, а то је да се не може очекивати јако велика производња електричне енергије, али без обзира на ту чињеницу биогазна постројења су еколошки објекти где долази до третмана вода и где се смањују трошкови отпада. Са освртом на поглавље 27 које је најскупље за достизање европских стандарда, које је везано и за третман отпадних вода, може се закључити да биогазна постројења могу да дају значајан допринос у смањењу трошкова. Због тога се биогазна постројења морају посматрати и у том смислу, а не само као енергетски објекти. Биогазна постројења су добар начин да се у руралним срединама обезбеди стабилан извор електричне енергије и стабилност електричне мреже, али и могућност третмана отпадних токова.

5.1. Постојења за третман отпадних вода у Србији

Област квалитета вода се често означава као једна од најзахтевнијих у процесу приступања ЕУ, нарочито имајући у виду потребна средства и капацитет. Главни проблеми у овој области су мали проценат пречишћавања отпадних вода, слаба контрола коришћења подземних вода, као и слаба контрола коришћења речних седимената. Тренутна ситуација не наговештава да је Влада одлучила да се озбиљније посвети решавању овог проблема, јер решавање овог проблема захтева велика улагања као и јачање стручних капацитета у надлежним институцијама. Највећи фондови су потребни за инфраструктурне мере за побољшање квалитета воде, односно изградњу постројења за пречишћавање отпадних вода. Како се ови инвестициони трошкови процењују на више милијарди евра јасно је да Србија са својом економијом неће моћи сама да их финансира. Због тога је потребан стратешки приступ државе у тражењу алтернативних решења како би се умањили трошкови. Део трошкова могао би да се смањи развојем посебних технологија и применом природних решења у пречишћавању вода [27].

Непречишћене отпадне воде и даље су главни извор загађења. Утврђивање јасних правила о дужностима у коришћењу и одржавању објеката за пречишћавање вода, као и прераду отпадних вода мора бити приоритет. Потребно је појачати и активности на подизању свести. Србија мора да уложи много више напора у смислу преласка на зелену енергију и унапређење застареле инфраструктуре [26].

Према подацима министарства заштите животне средине у Републици Србији се прерађује само осам одсто отпадних вода. У Србији има 44 постројења за прераду отпадних вода од којих 32 функционишу, а од тога само неколико ради адекватним капацитетом и у потпуности пречишћава отпадне воде. Прикључак на канализацију има тек 55 одсто становништва. Од 450 насеља у Србији која имају више од две хиљаде становника, проценат прикључености на канализациону мрежу је 72 одсто, што је светски просек, али у насељима која имају мање од две хиљаде становника број прикључених на канализацију је испод пет процената. Из министарства је наведено да се спремају пројекти за изградњу постројења за третман отпадних вода у неколико градова и да је у томе најдаље одмакао Београд, коме су уједно потребна највећа инвестициона средства [28].

Производња биогаса из отпадних вода у централној Србији

Канализационом мрежом није покривено целокупно становништво Централне Србије. На канализациону мрежу у општини Крагујевац прикључено је 75% од укупног броја становника. Крагујевац поседује централно постројење за пречишћавање комуналних и предтретираних индустријских отпадних вода секундарног типа у коме се отпадна вода пречишћава у аерационом базену са активним муљем. Постојење је пројектовано за 250.000 еквивалентних становника, а инсталирани капацитет је 125.000 еквивалентних становника. Примарним таложењем се уклања 25% органског оптерећења воде, а остатак у аерационом базену и секундарном таложнику. Добијени муљ се после стабилизације одвози на градску депонију. Анаеробна дигестија муља је вишестепени биохемијски процес који се одвија у три фазе. За потребе постројења инсталирана су два затворена дигестора са великом брзином дигестије (слика 20) које карактеришу следеће карактеристике:

- врши се загревање дигестора уз потпуно мешање масе,
- фаворизује се раст термофилних (оптимална температура од 40-60°C) и мезофилних бактерија (оптимална температура од 20 - 40°C),
- време дигестије у реактору је до 15 дана,
- унутар реактора се врши рецикулација муља пумпањем или цевним мешалицама,
- време задржавања у реактору 10-20 дана,
- оптерећење реактора муљем је од 1.6-6.4 kg/m³ на дан.

Производња гаса варира у зависности од садржаја испарљивих материја, садржаја муља и биолошке активности у дигестору и креће се у опсегу од 17- 28 l/s. Емисије метана од старне урбаног становништва нема, док је емисија метана руралног становништва 317 тона на годишњем нивоу [29, 30].



Слика 20. Дигестору у централном постројењу за третман отпадних вода у Цветовецу, Крагујевац

У општини Аранђеловац је 57% становништва прикључено на канализациону мрежу. Поседује два постројења истог типа као и Крагујевац знатно мањег капацитета од 45.000 еквивалентних становника, па и у овом случају нема емисије метана урбаног становништва. У канализацију се испуштају индустријске отпадне воде. Емисија метана руралног становништва износи 133 тоне на годишњем нивоу. У општини Топола само 15% становништва је прикључено на канализациону мрежу. Не постоји централно постројење за пречишћавање отпадних вода. Емисија метана руралног становништва износи 161 тона годишње. У општини Рача је 24% становништва прикључено на канализациону мрежу. Отпадна вода комуналног и индустријског типа се испушта у реку. Укупна емисија метана на локалитету ове општине износи 68 тона на годишњем нивоу.

У општини Баточина 18% становништва је прикључено на канализациону мрежу, у канализацију се испуштају индустријске отпадне воде, а отпадне воде се испуштају у реку, укупна емисија метана износи 69 тона годишње. У општини Лапово је на канализациону мрежу прикључено 20% становништва. Отпадна вода се испушта у језеро, укупна емисија метана на годишњем нивоу је 45 тона. У општини Кнић је свега 3% становништва прикључено на канализациону мрежу, отпадна вода се испушта у реку без третмана, а укупна емисија метана износи 106 тона годишње.

Из свега наведеног произилази закључак да укупни енергетски потенцијал садржан у комуналним отпадним водама у седам општина региона Централне Србије износи 899 тона метана на годишњем нивоу [30]. Овај енергетски потенцијал представља значајну базу за изградњу когенерацијских постројења за покривање енергетских потреба централизованих постројења третмана отпадне воде за електричном и топлотном енергијом из обновљивих извора. Повећање концентрације гасова стаклене баште проузрокован је директним негативним

утицајем људских активности. Сектор отпадних вода доприноси 9-10% укупној антропогеној емисији гасова.

Решење проблема, смањења резерви фосилних горива, климатских промена, директног испуштања отпадних вода у водотокове, одлагања отпада и смањења зелених површина, могло би се наћи у производњи и коришћењу биогаса из отпадних вода и депонијских резерви. Применом анаеробних поступака прераде комуналних отпадних вода које као резултат имају продукцију биогаса могу се оптимизовати укупне енергетске потребе постројења за топлотном и електричном енергијом.

Како емисија метана из комуналних отпадних вода у региону Централне Србије износи 900 тона на годишњем нивоу сматра се да је то довољан потенцијал за примену когенеративних постројења на извору биогаса из отпадних вода [29, 30].

5.2. Могућа решења за град Крагујевац

У циљу унапређења квалитета животне средине и искоришћења отпада идеја је да се у граду Крагујевцу уведе одвојено сакупљање биоразградивог отпада и да се третира заједно са градском отпадном водом у градском постројењу у Цветојевцу (слика 21).



Слика 21. Постојеће постројење за третман отпадних вода у Цветојевцу

Током анаеробног процеса пречишћавања комуналне отпадне воде у постројењу се из муља производи биогас односно електрична енергија која се користи за потребе постројења (слика 22). Пречишћена вода из постројења се испушта у Лепеницу.



Слика 22. Резервоар за биогаз у склопу постројења у Цветојевцу

Да би се успешно остварио третман органског отпада неопходно је пре свега применити добру шему одвојеног прикупљања. На слици 24 је приказана шема прикупљања биоразградивог отпада из домаћинстава. Да би се органски отпад из домаћинстава успешно искористио неопходно је активно учешће становника, који би пре свега требало да одвајају ову врсту отпада од осталог (слика 23).



Слика 23. Контејнер за органски отпад

Затим би се тај отпад прикупљао у више сценарија. Први сценарио би био прикупљање од врата до врата не више од два пута недељно. Други сценарио би било одлагање у уличне контејнере намењене за органски отпад. И трећи сценарио би био периодично сакупљање са фреквенцијом већом од два пута недељно по потреби, када постоји већа количина баштенског отпада.



Слика 24. Ток одвојеног сакупљања биоразградивог отпада из домаћинства [13]

Поред биоразградивог отпада из домаћинства велика количина органског отпада се производи на пијацама, у ресторанима и болници који се такође може искористити у сврху производње биогаза у комбинацији са отпадним водама. Предложена шема прикупљања органског отпада из домаћинства може се применити и за прикупљање органског отпада из ресторана, пијаца и болнице, где се пре прикупљања отпад мора одвајати на извору.

Кључни фактори успеха овог предлога били су правни оквир и учешће локалних актера [14].

6. Појам ко-дигестије и параметри који утичу на успешност процеса

Анаеробна дигестија је једносустратни једнонаменски поступак. Анаеробна дигестија као таква постаје стабилнија када се повећава разноликост супстрата који се истовремено примењују. Ко-дигестија је процес где се два или више ко-супстрата са комплементарним карактеристикама мешају за комбиновани третман. Ко-дигестија органске материје побољшава радне карактеристике дигестора и његове перформансе. Она обезбеђује већи принос метана, као и убрзане стопе производње метана. Ко-дигестија може искористити хранљиве састојке и бактеријске разноликости у различитим отпадима да би се оптимизовао процес дигестије. Због синергијског ефекта, који превазилази неравнотежу у хранљивим састојцима побољшава биоразградњу. Овај ефекат резултује већим приносом метана у поређењу са анаеробном дигестијом једног отпада, што повећава органски садржај унутар реактора, појачава стабилизацију дигестата, разређује потенцијална инхибиторна и/или токсична једињења попут амонијака.

Преусмеравање органског отпада са депонија омогућава производњу органских ђубрива и уређаја за пољопривреду и употребу земљишта, смањење емисије гасова стаклене баште и економске користи. Конвенционална постројења за пречишћавање отпадних вода управљају муљем, талог који настаје има велики енергетски потенцијал и може се користити у сврху производње енергије на лицу места [21, 17].

Фактори који утичу на перформансе ко-дигестије

Неколико фактора утиче на функционисање анаеробних дигестора и на успешност ко-дигестије, који захтевају контролу да би се побољшао процес производње биогаса. Неколико главних утицаја који у великој мери утичу на перформансе дигестора у ко-дигестији су мешање, однос мешања ко-супстрата и равнотежа хранљивих састојака, радна температура, брзина органског пуњења и хидраулично време задржавања у дигестору.

- **Мешање**

Мешање обезбеђује добар контакт између микроба и супстрата, побољшава способност популације бактерија да добијају хранљиве материје. Мешање се може извршити механички, рецикулацијом биогаса или рецикулацијом муља. Мешање такође побољшава производњу гаса у поређењу са дигесторима без мешања. Мешање треба да буде инсталирано у дигестору, посебно у ко-дигестији, како би се обезбедила довољна хомогеност поред побољшања перформанси дигестора. Различити су ефекти при различитим брзинама механичког мешања

при ко-дигестији, спорије мешање (80 o/min) ефикасније је од велике брзине мешања (200 o/min). То је зато што прекомерно мешање може прекинути микроорганизме у процесу дигестије. То указује на то да је подешавање оптималне брзине мешања од суштинског значаја, јер би могло значајно утицати на брзину дигестије и производњу биогаса.

Међутим, одређена истраживања су показала да мешање током процеса није корисно, јер смањује рН у дигестору, што резултује нестабилношћу перформанси. Због тога треба размотрити рН да би се постигло одговарајуће стање у дигестору током мешања за најбоље перформансе дигестора. Неке студије су такође потврдиле да је повремено мешање, познато као полуконтинуирано мешање, боље од континуираног мешање. За разлику од континуираног мешања, које прекида синтрофни однос између ацетогена и метаногена, полуконтинуирано мешање обезбеђује довољно времена за раст микроба, што појачава пренос масе из фазе течности у гас, и на крају повећава принос метана.

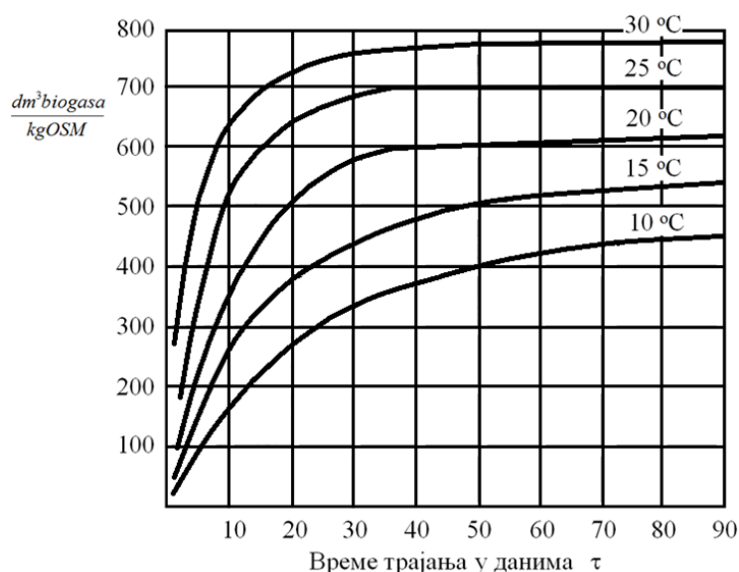
Поред уобичајене методе мешања, развијене су и неке иновативне методе мешања, попут пнеу-механичке мешалице и рецикулације биогаса употребом новог дизајна дифузора у облику слова О, што доприноси смањењу рН вредности дигестора, контроли амонијака и обогаћивању метана.

- Однос мешања ко-супстрата и равнотежа хранљивих састојака

Однос угљеника и азота треба да се успостави да би се постигао процес дигестије органске материје. Оптимални однос угљеника и азота у анаеробним дигесторима је обично између 20:1 и 30:1. Брза употреба азота од метаногена резултира мањом производњом гаса, због тога је висок однос C/N. Супротно томе, нижи однос C/N доводи до таложења амонијака и рН изнад 8,5 што је веома токсично за метаногене бактерије.

- Радна температура

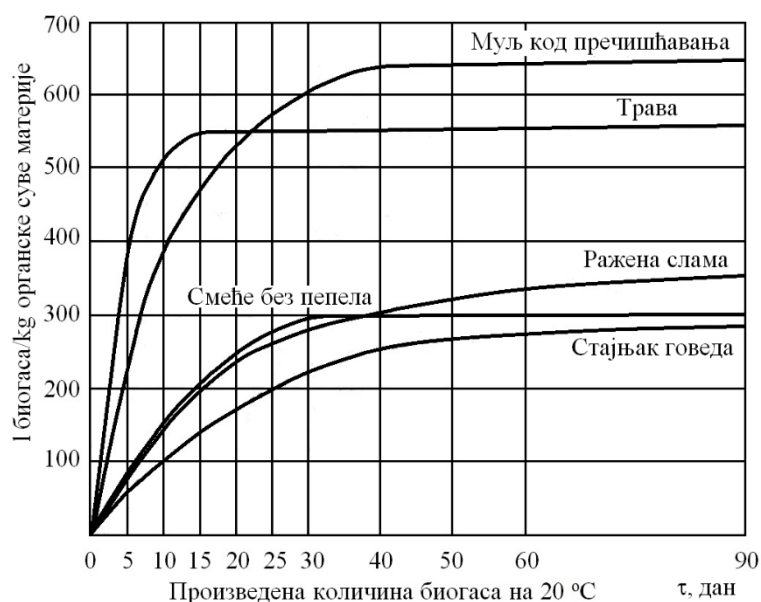
Третман ко-дигестије изводљив је и под мезофилним и под термофилним условима, зависно од подлоге. Бројни истраживачи су истакли значајне ефекте температуре на микроорганизме, стабилност и принос метана. Познато је да ниже температуре током процеса смањују раст микроба, стопе коришћења супстрата и производњу биогаса. Истраживања су показала да су различити температурни услови потребни за различите ко-супстрате, због карактеристика сваког од њих (слика 25). Мезофилно стање је идеално за ко-дигестију са сировим глицеролом. Како сирови глицерол има висок алкални ниво, рН просечно 10,3, обично се ко-дигестира са киселим отпадом да би се добио неутрални рН.



Слика 25. Добијање биогаса из једног кг суве органске материје зависно од процесне температуре и времена труљења

У случају ко-дигестије са пољопривредним отпадом, за већину студија које су спроведене се може утврдити да су функционисале у мезофилним условима. У неким студијама је показано да је термофилно стање било корисно за разградњу неких отпадака пољопривредних биљака попут кукуруза и сламе. Међутим, мезофилно стање је боља опција за ко-дигестију са стајским ђубривом за превазилажење инхибиције амонијака. Амонијак се повећава са порастом рН и температуре, па ће због тога термофилно стање резултовати већом концентрацијом слободног амонијака, што негативно утиче на активност метаногених бактерија, према томе, постиже се нижи принос метана.

Истраживања су показала да ко-дигестија муља отпадних вода који укључује ко-супстрате органске фракције комуналног чврстог отпада, сирови глицерол, пољопривредни отпад и уља и масти показују потенцијал у повећању производње биогаса и приноса метана. Ко-дигестија такође може да смањи трошкове заједничке опреме, створи услове лакшег управљања сировинама и створи стабилнији процес уопште. Главни изазови при ко-дигестији су нестабилност процеса, која је углавном последица неодговарајућег односа ко-супстрата и услова рада. Због тога анаеробни систем ко-дигестије треба дизајнирати узимајући у обзир радне услове као што су полагани систем мешања и смеша отпада са одговарајућим односом угљеника и азота [18, 20].



Слика 26. Произведена количина биогаса од различитих органских материја при истој температури зависно од времена труљења

6.1. Ко-дигестија биоразградиве фракције комуналног отпада и градске отпадне воде

Ко-дигестија муља из отпадних вода са отпадом од хране обухвата неколико одрживих решења, нпр. стабилизација муља из отпадних вода и смањење органског отпада који се депонује. Муљ од отпадних вода производи се у комуналним постројењима за пречишћавање отпадних вода, док храна од отпада може бити из различитих угоститељских установа, као и из домаћинства. Прехрамбени отпад је пожељан супстрат за анаеробну дигестију коју карактерише велика варијабилност, која се добија од порекла и припреме хране. Пријављени принос метана од прехранбеног отпада варира од 245–525 l/kg, док се принос метана од муља из отпадних вода креће од 116–318 l/kg.

Ко-дигестија муља из отпадних вода са отпадом од хране резултује повећаном производњом метана у поређењу с моно ферментацијом муља из отпадних вода. Синергијски ефекти су такође пријављени у експериментима пуних размера у погонима на биогасна постројења. Ко-супстрати се морају дозирати у оптималним пропорцијама у зависности од специфичних карактеристика супстрата. Додавање лако разградљивог органског материјала убрзава хидролошки талог канализације и резултира већим метаногеним потенцијалом. С друге стране, прехранбени отпад може да спречи анаеробну дигестију због своје променљивости, могућих токсичних супстанци, накопљања амонијака и закисељавања. Често се нечистоће попут пластике, метала и стакла налазе у сакупљеном прехранбеном отпаду, који стварају техничке проблеме у реакторима.

Треба обратити пажњу на утицаје на животну средину који настају прикупљањем прехранбеног отпада. Предложено је неколико различитих система, попут

сакупљања кућног отпада из хране у папирним кесама, претходног сушења сакупљеног животног отпада, употребе кухињских бруслица повезаних са таложним танкерима и употребе вакуум система са накнадним централним млевењем. Упоредна анализа животног циклуса различитих система за сакупљање показала је да вакуумски систем резултира највећим нето избегавањем употребе примарне енергије, док одлагање прехранбеног отпада у папирне врећице за децентрализовано сушење рачуна се као највеће нето избегавање глобалног загревања, еутрофикације и закисељавања [22].

- Искоришћавање биогаза и дигестата

Биогаз се производи у биогасним постројењима која користе разне врсте биореактора и технологија прераде. Уобичајена пракса је влажна ферментација у вертикалним реакторима са непрестаним мешањем, али примењени су и хоризонтални дигестори и сува ферментација. Производи анаеробне дигестије, дигестат и биогаз морају се сакупљати и складиштити у специјализованим објектима. За складиштење биогаза морају се поштовати сигурносни прописи, као што су контрола експлозије и сигурносне зоне због запаљиве природе биогаза.

Употреби биогаза претходи десумпоризација и сушење прикупљеног гаса. За успешно избегавање корозије потребна је десумпоризација до максималног нивоа, што се често постиже биолошким путем. Сушење биогаза резултат је кондензације и елиминације водене паре у цевоводу због смањене температуре у поређењу са температуром у биореактору.

Десумпоризовани и осушени биогаз се обично користи за комбиновану производњу топлотне и електричне енергију, односно когенерацију (енгл. *CHP – Combined Heat and Power*). Доминантна метода искоришћавања је когенерација помоћу гасних горива, која омогућавају ефикасност и до 43%. Алтернативно, микро гасне турбине, мотори и гасне ћелије могу се користити. Ефикасност биогасног постројења може се побољшати комбинованим јединицама за хлађење, грејање и производњу електричне енергије односно тригенерацијом (енгл. *CSHP – Combined Heat, Cooling and Power production*), које узимају у обзир сезонске разлике у термичким оптерећењима. Најефикасније решење за коришћење биогаза је производња биометана који се може убризгати у јавну гасну мрежу и користити као транспортно гориво. Међутим, високи трошкови технологије производње ограничавају њено коришћење, а коришћење горива за возила додатно инхибира лоша инфраструктура бензинских станица.

Други производ анаеробне дигестије је дигестат, који се претежно користи као пољопривредно ђубриво. Процес дигестије резултира минерализацијом органских хранљивих материја, смањењем мириса, појачаним својствима протока и потенцијалном инактивацијом семенки корова, бактерије, вируси, гљивице и паразити у зависности од температуре процеса и времена задржавања. Алтернативно, дигестат се може одвојити на чврсту и течну фракцију, први је

погодан као ђубриво као и за производњу енергије спаљивањем, а други се може третирати у постројењима за пречишћавање отпадних вода.

- Будуће перспективе производње биогаса

Производња биогаса путем анаеробне дигестије има вишенаменску предност, укључујући побољшања у аспекту заштите животне средине, пољопривреде, санитарне заштите и смањења отпада. Значајан је допринос бољој употреби обновљивих извора енергије и зато је високо цењена у Европи и јавља се све веће интересовање у многим деловима света. У контексту ограничених ресурса фосилних горива и поштрвања политика заштите животне средине, анаеробна дигестија представља брзо растуће тржиште.

Међутим, проширена употреба биогаса мора бити праћена даљим унапређивањем ефикасности, управљања и инфраструктуре процеса. Одрживо снабдевање сировином повећава економску сигурност постројења за биогас, док би више пажње требало усмерити на већу разноликост супстрата и њихову прераду. Боља контрола процеса и побољшање мерења на мрежи могу оптимизовати анаеробну дигестију и повећати принос биогаса. Детаљнија анализа микробне популације помаже да се осигура стабилност процеса и већа ефикасност. Надаље, друштвена и економска питања попут коришћења локално доступних ресурса и отварања нових радних места треба да се реше ради ширења одрживе производње биогаса [10].

6.2. Пример производње биогаса из прехранбеног отпада у ко-дигестији са канализационим муљем

У наредном делу биће приказан пример ко-дигестије прехранбеног отпада и канализационог муља. Узорци су прикупљени у Тиролу у Аустрији у мају 2012. Узорке муља из канализације заједно са микробиолошким инокулумом обезбедило је постројење за пречишћавање отпадних вода Зирл (*Abwasserverband Zirl und Umgebung*), док се отпад од хране сакупљао из државне болнице у Инсбруку (*Landeskrankenhaus Innsbruck – Universitätskliniken*) аутоматским вакуумским системом [11].

6.2.1. Канализациони муљ из постројења за пречишћавање отпадних вода Зирл

Систем за пречишћавање активног муља у постројењу за пречишћавање отпадних вода (*WWTP*) Зирл, које ради од 1996, обрађује отпадне воде из 14 заједница у близини Зирла, које чине 42.000 становника. 60% органског оптерећења у дотоку отпадне воде потиче из домаћинства, 40% потиче из индустрије (*Häusler et al 2010*). У 2005. години постројење је проширено постројењем за анаеробну стабилизацију производа пречишћавања отпадних вода. Анаеробни реактор за биогас, са комбинованом топлотном и електричном енергијом (*CHP*), у почетку је вршио дигестију само канализационог муља. Међутим, 2008. године уведена је

заједничка дигестија променљивих супстрата, што је значајно повећало производњу енергије.

Постројење за пречишћавање отпадних вода у Зирлу дневно пречишћава од 6.000 до 20.000 m³ воде, а процес се састоји од неколико фаза. У механичкој фази отпадне воде пролазе кроз сито, комору за песак и хватач масти. Након тога следи примарна седиментација и биолошки третман нитрификацијом и денитрификацијом активног муља. Као последња фаза, секундарни резервоари за одлагање користе се за уклањање целог седиментног материјала из воде. Процесни производи се делимично поново користе (поврат активног муља), делимично се врши анаеробна дигестија за производњу биогаса (маст, примарни муљ, вишак активног муља). Одвод се редовно контролише аналитичким одређивањем релевантних компонената отпадних вода и испушта у реку Ин.

Биогас се производи у мезофилном анаеробном реактору од 1350 m³ и користи се за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије на лицу места. Дигестат се сакупља ради таложења због локалних прописа који забрањују пољопривредну употребу дигестата. У 2012. години произведено је укупно 712.570 m³ биогаса, што је 1074 MWh електричне енергије. Од 2009. године производња енергије у постројењу за пречишћавање отпадних вода Зирл премашила је потрошњу постројења, што омогућава продају електричне енергије и пренос топлоте до суседних постројења. Примарни активни муљ и вишак активног муља из постројења Зирл коришћени су као супстрати за дигестију [11].

6.2.2. Отпад од хране из државне болнице у Инсбруку

Отпад од хране анализиран у овој студији прикупљен је из државне болнице у Инсбруку (*Landeskrankenhaus Innsbruck – Universitätskliniken*). Болница сервира 54.000 obroka недељно, при чему се произведе 13,4 тоне отпада од хране. Отпад хране у болници сакупља се аутоматским системом вакуумског сакупљања *WasteStar*.

Прехрамбени отпад у државној болници у Инсбруку потиче из више извора:

- Станица за хлеб – хлеб са минималном количином воде усисава се у примарни резервоар,
- Станица за мешане намирнице – супе, умаи за салату итд. сакупљани су ручно са тањира у систем за сакупљање и усисавани у примарни резервоар,
- Биљна станица – биљни отпад усисаван у примарни резервоар,
- Производна станица – производни остаци из кухиње и мешовити прехрамбени отпад из мензе за особље,
- Маст за испуштање отпадних вода – одвојена маст.

Сав отпад сакупља се у затворену примарну цистерну, где је подложен хомогенизацији и смањењу величине. Хомогенизовани прехрамбени отпад усмерава се у затворени резервоар за складиштење и на крају транспортује у постројење за пречишћавање отпадних вода (слика 27).



Слика 27. Хомогенизовани узорак отпада из државне болнице из Инсбрука

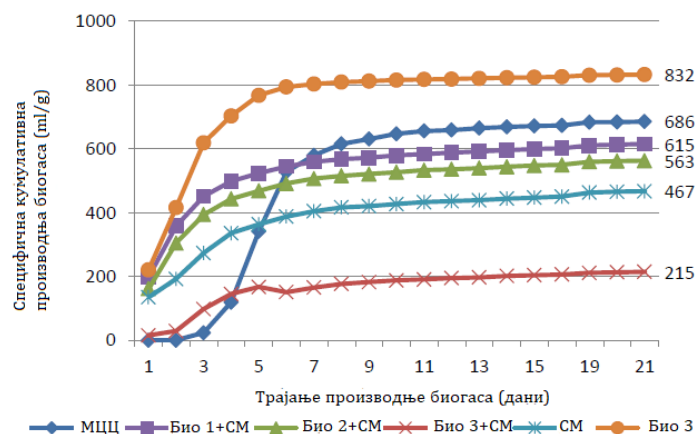
Сав отпад сакупља се у затворени примарни резервоар (под притиском 1 bar, 1500 l), где се хомогенизује и меша. Након смањења величине у примарном резервоару, отпад се усмерава у затворени резервоар (25°C, 14 m³), који се два пута недељно празни возилом за сакупљање течног отпада и транспортује у постројење за пречишћавање отпадних вода, где се користи као ко-супстрат за анаеробну дигестију.

Узорци су узети из резервоара возила за сакупљање течног отпада који је отпад допремао у постројење за пречишћавање воде. Почетни материјал је хомогенизован у мешалици 20 секунди да би се уклониле веће фракције, попут мрвица хлеба, зрна пиринча, кукурузне куглице итд. [11].

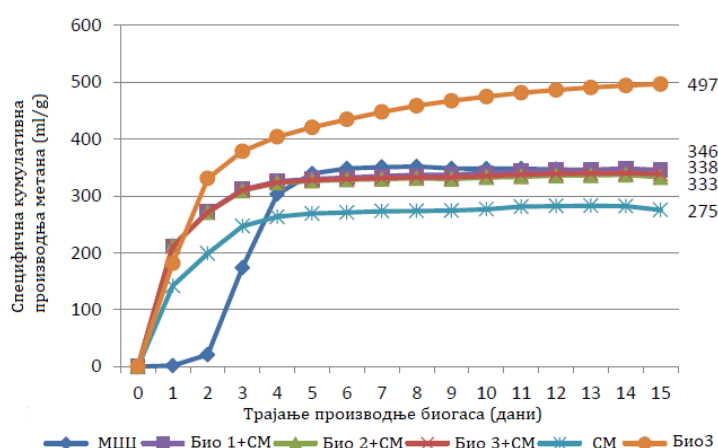
Током 21-дневног експеримента за производњу биогаса, количина произведеног биогаса свакодневно је мерена системом за истискивање течности.

Потенцијал за биогас и метан

Специфична кумулативна производња биогаса у систему приказана је на сликама 28 и 29.



Слика 28. Специфична кумулативна производња биогаза различитих експерименталних линија у систему избацивања течности. Експерименталне линије укључују МЦЦ (позитивна контрола микрокристалном целулозом); СМ (мешавина примарног муља и вишка муља); Био3 (прехранбени отпад из трећег узорковања); Био1 + СМ, Био2 + СМ, Био3 + СМ (смеше различитих узорака хране и смеше талога)



Слика 29. Специфична кумулативна производња метана различитих експерименталних линија. Експерименталне линије укључују МЦЦ (позитивна контрола микрокристалном целулозом); СМ (мешавина муља примарног и вишка муља); Био3 (прехранбени отпад из трећег узорковања); Био1 + СМ, Био2 + СМ, Био3 + СМ (смеше различитих узорака хране и смеше талога)

Ко-дигестија супстрата резултовала је повећаном продуктивношћу у односу на моно-ферментацију смеше муља. Према резултатима испитивања карактеризације супстрата и дигестата и ферментацијског система са системом истискивања течности, као и аутоматским системом за испитивање потенцијала метана, прехранбени отпад се показао као веома вредан супстрат за производњу биогаза. Анализом нису откривени инхибиторни ефекти, што указује на одговарајући састав супстрата за анаеробну дигестију. Производњу биогаза на почетку експеримента карактерисала је висока стопа производње, што показује способност микробне заједнице да почне са дигестијом без претходног периода прилагођавања. Анаеробна дигестија представља стабилизацију муља из отпадних вода и обезбеђује алтернативни извор енергије. Употреба прехранбеног

отпада као ко-супстрата показала је да повећава енергетске приносе. Како би се у потпуности искористио муљ из отпадних вода и максимизирала производња биогаса будуће студије требало би да се позабаве оптималним односом муља из отпадних вода и органског отпада [15].

6.3. Пример производње биогаса на фарми

Биогас технологија није применљива на свим фармама али у многим случајевима може бити економски исплатив и погодан метод за добијање енергије и заштите околине код обраде животињског ђубрета. Ова технологија је оптимална за примену на фармама које имају велике количине отпадног ђубрета.

Количине и карактеристике органских материја (биљни и животињски отпад) које се могу на овај начин разлагати знатно варирају. На фармама својства растопљивих материја зависе од климатских услова, заступљеног типа пољопривреде, врсте животиња које се гаје, начина скупљања отпада и сл.



Слика 30. Биогасно постројење

Више од половине првобитне сировине у чврстом стању која се уноси у дигестор претвара се у гас (слика 30). Гас је засићен водом те се стога са њим уклања и знатна количина влаге. Од сировинске суспензије до стадијума остатка запремински губитак износи око 20%. Остатак представља одлично ђубриво пошто садржи састојке битне за развој биљака: азот, фосфор и калијум [15].

Биогасно постројење на фарми свиња Рокаи, Литванија

Овај пројекат је инициран од стране Данског центра за обновљиву енергију. Пројекат је планиран као демонстрационо и едукативно постројење за Литванију и околне Балтичке земље.

Биогасно постројење је пројектовано у сразмери са количином ресурса расположивих на посматраној фарми. Дневна количина отпада је 60 m³ од 11000 свиња. Овај отпад се анаеробном дигестијом претвара у „употребљивији“ стајњак. Произведени биогас се когенерацијом претвара у струју и топлоту, која у знатној

мери смањује трошкове фарме. Технологија пружа могућност за много већу производњу, плус вишак електричне енергије која се може продати.

Постројење се састоји од 3 хоризонтална дигестора у паралелној конфигурацији пуњена стајњаком. Сваки дигестор је запремине 300 m^3 и дневно примају по 20 m^3 отпада у засебне мешајуће резервоаре од 30 m^3 . Стајњак се упумпава у дигестор у интервалима у току 24 сата свака два сата. Еквивалентна запремина отпада се помера на излазни крај дигестора. Процес се загрева на температуру између 35°C и 50°C . Загревање се постиже интегрисаним измењивачем топлоте. Губици топлоте су смањени изолационим слојем дебљине 200mm , покривеним челичном оплатом.

Да би се отпад одржавао хомогеним, он се меша у интервалима помоћу споро ротирајућег аксијалног система. Мешалица такође транспортује талог ка излазу одакле се одстрањује. Биогаз одлази са врха дигестора на ниском притиску, довољном да превазиђе губитке у цевима. Држач гаса даје довољан притисак за рад гасног горионика и мотора без било каквог компресора. Ако притисак у систему пређе 45 mbar , гас се испушта из дигестора.

У појединим европским земљама присутан је различит приступ коришћења биогаз технологије. Док поједине земље користе биогаз технологију за обраду отпадних вода друге је користе за повећање вредности органског отпада.

Након анаеробне дигестије око 25-40% органске суве материје се претвори у метан и угљен диоксид. Ова редукција побољшава квалитет органског отпада. Додатно се повећава и флуидност што утиче на лакше руковање и већу инфилтрацију након посипања ђубрива. Такође су смањене количине компонената које проузрокују неугодан мирис, смањује се количина корова и употреба пестицида. Многи фармери су приметили повећање приноса након коришћења дигестованог ђубрива. Мерења су показала да је принос већи за 2 до 3 процента у односу на принос када се користи необрађено стајско ђубриво.

Анаеробним третманом животињских излучевина користи се обновљиви енергетски ресурс што има повољан ефекат на климу. Коришћење обновљивог ресурса смањује емисију CO_2 јер се смањује потрошња фосилних горива (1 m^3 биогаза замењује 0.5 kg нафте и тако се редукује емисија CO_2 за 2.6 kg).

Повећањем обима производње на фармама стварају се услови за изградњу постројења за производњу и коришћење биогаза. Мала и средња постројења у европским земљама чине 70% постојећих постројења и 80% актуелног годишњег раста. С обзиром да течна фаза стајњака има највећи ефекат код производње биогаза, ова постројења требало би градити првенствено на фармама свиња. На већим фармама крава и живинарским фармама постоје техничко-технолошки и економски услови за изградњу ових постројења [15].

6.4. Пример анаеробне прераде канализационог муља

Пример анаеробне прераде канализационог муља одрађен у оквиру пилот пројекта за село Банатски Брестовац које се географски ослања на резерват заштићене природе Поњавица. Ово село има развијену повртарску производњу, али је у развој села врло мало уложено од стране друштвене заједнице. 900 домаћинстава у селу је већину комуналних послова одрадило самодоприносом, без или са мало учешћа општине Панчево. Канализациона мрежа је недовршена, а у селу се користе септичке јаме, чије је пражњење неконтролисано и најчешће завршава у површинским водотоковима, а самим тим и у резервату Поњавица.

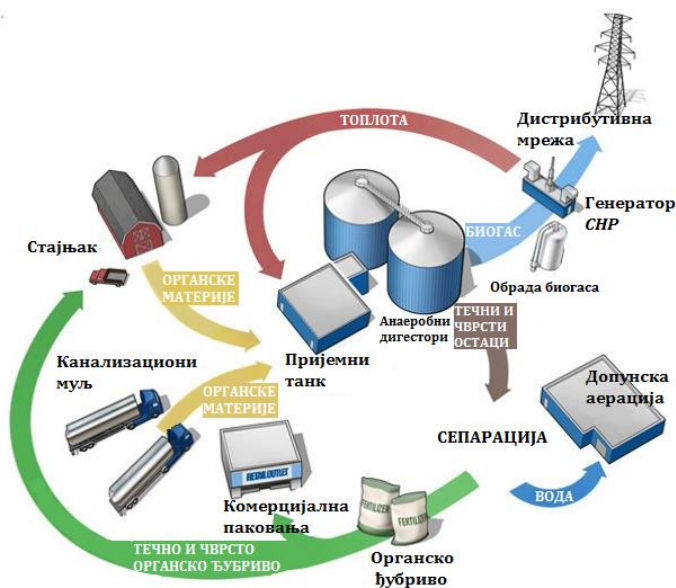


Слика 31. Испуштање канализације у реку

Циљеви овог пројекта су:

- успостављање механизма контролисаног пражњења септичких јама,
- третман отпадних вода и других пољопривредних отпадних кабастих маса у биодигестору кроз процес анаеробне дигестије,
- искоришћење добијеног биогаза за комбиновану производњу електричне енергије и топлоте
- унапређење повртарске производње (подизање пластеника)
- искоришћење чврсте и течне фазе након анаеробне дигестије.

Класично решење канализационе мреже је веома скупо и предрачунска вредност износила би од 280 до 300 милиона динара. Уместо скупог и дуготрајног процеса постављања цеви и локалних прикључака предложено је коришћење једноставног система прежњења и одвожења цистернама, које са само једним трактором могу испунити годишње потребе села. Контролисано одлагање у пријемном танку омогућило би истовремено и мешање са органским отпадом насталим у пољопривредној производњи или са чврстим стајњаком из оближњих фарми. На слици 32 је дат предлог шеме за функционисања овог система.



Слика 32. Технолошка шема

Постројење за анаеробну дигестију, омогућавало би максимално скраћење и минимализацију потребних грађевинских радова. Предвиђено је коришћење бетонског армираног дигестора са изолацијом и пливајућом двослојном мембраном. Постројење би обухватало:

- пријемни резервоар, на нивоу дневног пуњења био би до 6 m³ (са миксером),
- додатно уситњавање сламе и кукурузовине предвиђено је млином (чекићар),
- сепаратор изливне масе на чврсту и течну фазу,
- плато за секундарну обраду чврсте масе,
- привремени spremnik течне фазе после сепарације,
- генераторску јединицу *CHP*, 10 kW, без трафо станице,
- акумулатор топлоте (био би неопходан у случају проширења постројења на део са пластеницима) [16].

7. Закључак

Због глобалног раста потражње за енергијом и ограничених фосилних ресурса, алтернативни извори енергије добили су на значају. Биомаса представља одржив извор обновљиве енергије. Током анаеробне дигестије биомасе, микроорганизми разграђују органске материје, стварајући енергетски богату мешавину гасова, биогаза, који се обично користи за комбиновану производњу топлотне и електричне енергије. Остаци дигестије погодни су за коришћење у пољопривреди као ђубриво. Анаеробним третманом животињских излучевина користи се обновљиви енергетски ресурс што има повољан ефекат на климу. Коришћење обновљивог ресурса смањује емисију CO₂ јер се смањује потрошња фосилних горива (1m³ биогаза замењује 0.5 kg нафте и тако се редукује емисија CO₂ за 2.6kg). Повећањем обима производње на фармама стварају се услови за изградњу постројења за производњу и коришћење биогаза.

Метан је други по важности гас који утиче на стварање ефекта стаклене баште у свету. Емисија метана се појављује у сваком анаеробном процесу органских материја. Процењује се да емисија метана из сектора пољопривреде доприноси са 33% глобалном ефекту стаклене баште. Око 7% долази само од животињских излучевина што износи отприлике око 20-30 милиона тона метана годишње.

Од низа проблема са којима се данас наша земља суочава један од можда највећих је производња енергије. Решење актуелних проблема недостатка енергената, где су ресурси који се тренутно користе ограничени и необновљиви, је рационалисање и истраживање нових извора енергије. Заштита животне средине, као и штедња енергије, има све већи значај и из тог разлога изградња биогаз постројења има велику перспективу. На нивоу државних институција би требало да постоји подршка оваквом виду производње и коришћења енергије. Та подршка би се огледала кроз разне стимулативне мере, као што је субвенција производње и примене опреме за производњу и коришћење биогаза на фармама.

У земљама у развоју мања биогазна постројења смањују потрошњу шумских ресурса за добијање енергије у домаћинствима и смањују нестанак шума и деградацију тла што резултује природним катастрофама (поплаве и сл.) Фосилна горива су ограничени ресурс и доприносе ефекту стаклене баште. Биогаз спада у обновљиве ресурсе и помаже очувању климе као и заштити ограничених ресурса.

8. Литература

- [1] Бранка Накомчић-Смарагдакис, Маја Ступавски, Зоран Чепић, Дијана Момчиловић: Третман комуналних отпадних вода и производња биогаза, Савремена пољопривредна техника, Cont. Agr. Engng. Vol. 38, No. 2, 71-188, 2012.
- [2] <https://ec.europa.eu/environment/waste/compost/index.htm> Приступљено: 07/09/2020
- [3] Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031&from=EN> Приступљено: 07/09/2020
- [4] https://www.appropedia.org/Biodegradable_waste Приступљено: 07/09/2020
- [5] [https://www.appropedia.org/Recycling_organic_waste_\(original\)](https://www.appropedia.org/Recycling_organic_waste_(original)) Приступљено: 07/09/2020
- [6] Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Global food losses and food waste, Dusseldorf, Germany
- [7] <https://www.bbc.com/serbian/lat/srbija-50923827> Приступљено: 10/10/2020
- [8] <http://www.fao.org/news/story/en/item/74192/icode/> Приступљено: 10/10/2020
- [9] Bio-waste generation in the EU: Current capture levels and future potential, Bio-based Industries Consortium (BIC) https://zerowasteurope.eu/wp-content/uploads/2020/07/2020_07_06_bic_zwe_report_bio_waste.pdf Приступљено: 10/10/2020
- [10] Драган Спасић: Економско-еколошки ефекти технологије компостирања као механизма чистог развоја, магистарска теза, Факултет заштите на раду, Ниш, 2018.
- [11] Kärt Kanger, „BIOGAS PRODUCTION UNDER CO-DIGESTION OF FOOD WASTE WITH SEWAGE SLUDGE“, Bachelor thesis in Environmental technology, University of Tartu, 2013
- [12] Guidance for separate collection of municipal waste, https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/15.1.%20EC_DGENV_Separate%20Collection_guidance_DEF.pdf Приступљено: 28/09/2020
- [13] <http://www.separate-wastesystems.eu/> Приступљено: 28/09/2020
- [14] <http://jkpvik-kg.com/sistem-za-preciscavanje-otpadnih-voda-cvetojevac/> Приступљено: 28/09/2020

- [15] Саша Игић, Милош Миланковић, Игор Срејић, Драгослав Перић: Коришћење биогаса на фарми, 12 Симпозијум термичара СЦГ, Друштво термичара СЦГ, Сокобања, с. 66, 2005.
- [16] Илија Аралица, Александар Јовановић, Пилот пројекат анаеробно постројење за прераду канализационог муља у малим сеоским срединама, 2013.
- [17] Meghanath Prabhu and Srikanth Mutnuri: Anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste, Waste Management & Research 1–9, 2016
- [18] Wei Ling Chow, Siewhui Chong, Jun Wei Lim, Yi Jing Chan, Mei Fong Chong, Timm Joyce Tiong, Jit Kai Chin and Guan-Ting Pan: Anaerobic Co-Digestion of Wastewater Sludge, A Review of Potential Co-Substrates and Operating Factors for Improved Methane Yield, Processes 2020, 8, 39
- [19] ЕУРОСТАТ <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> Приступљено: 28/09/2020
- [20] Nusret Imamović, Šefket Goletić: ISTRAŽIVANJE PRINOSA BIOPLINA U PROCESU ANAEROBNE DIGESTIJE OTPADA IZ MESNE INDUSTRIJE, 7. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "KVALITET 2011", Neum, B&H, 01. - 04 juni 2011.
- [21] Mirzaman Zamanzadeh, Live Haldal Hagen, Kine Svensson, Roar Linjordet & Svein Jarle Horn: Biogas production from food waste via co-digestion and digestion effects on performance and microbial ecology, SCIENTIFIC REPORTS, 7: 17664, 2017.
- [22] Eva Nordlander: System Studies of Anaerobic Co-digestion Processes, Mälardalen University Doctoral Dissertation, 2017.
- [23] https://rs.boell.org/sites/default/files/nova_politika_za_razvijanje_javne_svesti1.pdf Приступљено: 09/10/2020
- [24] <https://reciklaza.biz/drugi-pisu/srbija-na-zacelju-po-kolicini-otpada-ali-i-po-recikliranju/> Приступљено: 09/10/2020
- [25] https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview_en Приступљено: 09/10/2020
- [26] http://www.pregovarackagrupa27.gov.rs/?wpfb_dl=165 Приступљено: 09/10/2020
- [27] Poglavlje 27 u Srbiji: Izveštaj o (ne) napretku, Mladi istraživači Srbije, Koalicija 27, 2018, https://rs.boell.org/sites/default/files/izvestaj_k27_2018_web.pdf Приступљено: 10/10/2020
- [28] Министарство заштите животне средине Републике Србије, <https://www.ekologija.gov.rs/nedopustivo-je-da-se-u-srbiji-preciscava-samo-8-otpadnih-voda/> Приступљено: 10/10/2020
- [29] Чедо Лаловић, Горан Бошковић, Производња биогаса на постројењима за третман отпадних вода у централној Србији, 32. Међународни конгрес о процесној индустрији, стр. 257- 262, 2019.

[30] Milasinovic M., Jovicic N., Boskovic G., Sustersic V. and Babic M.: "Overview of the methane emissions from domestic wastewater in the Republic of Serbia", *Desalination and Water Treatment*, Vol. 57, No. 35, pp. 16353-16362. Taylor & Francis, 2016.