

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Управљање отпадом
Број индекса: 316/2008

Марко Р. Терзић

**Процена когенерационог потенцијала
депонијског гаса из комуналног отпада
града Крагујевца**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

Датум одбране: _____

Оцена: _____

1. Др Горан Бошковић - ментор
2. Др Небојша Јовичић
3. Др Саша Јовановић

У оквиру овог мастер рада, кандидат треба да:

Истражи могућности коришћења депонијског гаса као обновљивог извора енергије, са посебним освртом на процес когенерације. Посебна пажња ће бити посвећена математичким моделима и софтверским алатима који се користе за прорачун продукције депонијског гаса. Конкретна примена ових алата ће бити спроведена на примеру депоније у Јовановцу, како би се дошло до поузданих података о количинама гаса на депонији. Ови подаци су предуслов за спровођење процене техно-економских и еколошких перформанси постројења за отплињавање депоније, уз могућност коришћења депонијског гаса као енергетског ресурса. Рад треба да садржи следеће целине:

1. Управљање чврстим отпадом у урбаним срединама
2. Депонијски гас као обновљиви извор енергије и когенерација
3. Методологија за прорачун продукције метана на депонијама
4. Прорачун продукције и потенцијала депонијског гаса на депонији у Јовановцу
5. Процена техно-економских и еколошких перформанси постројења за когенерацију депонијског гаса на депонији у Јовановцу
6. Закључак

Препоручена литература:

- [1] Jeffrey L. Pierce, P.E.: Desining a landfill gas to energy project, Salt Lake City, UtahSalt Utah, 2005.
- [2] Dieter Deublein and Angelika Steinhauser: Biogas from Waste and Renewable Resources.
- [3] Небојша Јовичић: Студија: Истраживање енергетских потенцијала комуналних депонија за изградњу когенерационих постројења, Крагујевац 2012.
- [4] Дејан Убавин: Докторска дисертација:Модел емисије и редукције метана – гаса стаклене баште генерисаног на депонијама отпада у Србији, Нови Сад 2011.
- [5] Марко Р Јевтовић: Мастер рад: Идејно решење постројења за когенерацију депонијског гаса из комуналног отпада града Крагујевца

Крагујевац, март 2016.

ментор:
Др Горан Бошковић, доцент

Резиме:

У свету пуном технолошких иновација и научних открића, неминовно је наићи на негативне последице напретка. Зато се цео свет данас суочава са проблемом вишка отпада и уклањањем истог, јер његова количина расте из године у годину, како са порастом броја становника планете, тако и са новим технологијама и производима широке употребе. Са тим проблемом се, између осталих, суочава и град Крагујевац, јер решење за одлагање чврстог отпада није еколошки прихватљиво. Иако постоји депонија у Јовановцу на коју се одлаже комунални и комерцијални отпад, она не испуњава све услове потребне за правилно руковање отпадом. На ову депонију се годишње одложи око 50 000 t отпада. Стога, овај рад се осврће на решење за постројење за искоришћење депонијског гаса и даје целокупан увид у чињенице какве су техничке, економске, еколошке и безбедносне предности овог постројења.

Након кратког осврта на дефиницију и врсте отпада, рад се бави и адекватним начинима прикупљања отпада, као и најбољим начинима његовог одлагања. Као главни део рада треба истаћи појам депонијског гаса који представља обновљив извор енергије, као и појам когенерације, чија је употреба у овом раду детаљно описана.

На основу технолошко-економске анализе и процене, добијени су следећи резултати:

- процес когенерације депонијског гаса је, са еколошке тачке гледишта, смањио количину метана и угљен-диоксида емитованог у атмосферу,
- електрична енергија добијена процесом когенерације би била довољна да задовољи потребе 1300 домаћинстава,
- технолошко-економска анализа је показала да је за овај горући проблем града Крагујевца потребно уложити око 1.000.000 евра. Међутим, рад показује да је ово постројење, иако захтева велика улагања, исплативо, јер је период отплате инвестиција 5 година, а новац за отплату би обезбедила продаја дистрибуцији електричне енергије створене у овом процесу по дефинисаној тарифи.

Кључне речи:

Управљање чврстим отпадом, депонијски гас, когенерација, прорачун генерисања депонијског гаса

Abstract:

In the world full of technological achievements and scientific discoveries, it is inevitable to come upon the negative consequences of progress. This is the reason the whole world deals with the excess of waste materials and removal of the same, because its quantity increases with the growth of population, as well as with new technologies and wide range products. Amongst other cities, the city of Kragujevac also encounters the problem of waste disposal, since solution for the disposal of municipal waste is not ecologically acceptable. There is a landfill in Jovanovac, where communal and commercial waste is disposed, but it does not meet the requirements for the proper waste management. Around 50 000t of waste are disposed onto this landfill. So, this paper concentrates on the solution for the facility for exploitation of landfill gas and gives an overall insight into the technical, ecological, economical and safety advantages of this facility.

After the brief comment on the definition and types of waste, the paper concentrates on the adequate manners of waste collection, as well as the best ways of its disposal. As the main part of the paper, I should highlight the notion of landfill gas as a renewable energy source, and the process of cogeneration that is described in details.

According to the technological and economical analysis and estimates, the following results were made:

- the process of cogeneration of landfill gas would, from the ecological point of view, reduce methane and CO₂ emitted into the atmosphere, which would result in the reduction of greenhouse emission effects,
- electricity made in the process of cogeneration would suffice 1300 households,
- Technological and economical analysis showed that this burning issue of the city of Kragujevac should be invested approximately 1 000 000 euros. However, this paper shows that this facility, seeking great investments, is profitable, since the estimate period of the return of investment funds is 5 years, and it would be done through the sale of electricity made in the process of cogeneration to the distribution on the previously defined rate.

Keywords:

Cogeneration; cogeneration plant; the process of cogeneration; projecting software; calculus of landfill gas generation

САДРЖАЈ:

1. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА.....	7 -
1.1. ИНТЕГРИСАНО УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ.....	8 -
1.2. ИЗВОРИ, КАРАКТЕРИСТИКЕ И КОЛИЧИНЕ ЧВРСТОГ ОТПАДА.....	12 -
1.3. САКУПЉАЊЕ, ТРАНСПОРТ И ТРАНСФЕР ОТПАДА.....	13 -
1.4. САКУПЉАЊЕ ЧВРСТОГ ОТПАДА	15 -
1.4.1. Врсте трансфер станица.....	19 -
1.5. РЕДУКЦИЈА СТВАРАЊА ОТПАДА И ПОВРАЋАЈ МАТЕРИЈАЛА	20 -
1.5.1. Постројења за повраћај материјала	21 -
1.6. ОДЛАГАЊЕ ОТПАДА НА САНИТАРНЕ ДЕПОНИЈЕ	24 -
1.6.1. Планирање одлагања отпада на санитарну депонију.....	24 -
1.6.2. Методе одлагања отпада на санитарне депоније	25 -
1.6.3. Стварање филтрата, контрола и третман.....	26 -
2. ДЕПОНИЈСКИ ГАС КАО ОБНОВЉИВИ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ И	
КОГЕНЕРАЦИЈА	29 -
2.1. ДЕПОНИЈСКИ ГАС	29 -
2.2. САСТАВ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	29 -
2.3. ПРОИЗВОДЊА И КАРАКТЕРИСТИКЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	31 -
2.4. ОСНОВНЕ ФАЗЕ РАЗЛАГАЊА ОТПАДА НА ДЕПОНИЈИ.....	32 -
2.5. ТЕХНОЛОГИЈА САКУПЉАЊА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	33 -
2.5.1. Екстракција депонијског гаса	34 -
2.5.2. Систем за обраду гаса	36 -
2.5.3. Систем за конверзију гаса	37 -
2.6. ПРОЦЕС ФОРМИРАЊА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	38 -
2.7. УТИЦАЈ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ	39 -
2.8. ПОДАЦИ О ДЕПОНИЈАМА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ	41 -
2.9. БИОГАС	44 -
2.9.1. Процес производње биогаза	44 -
2.9.2. Резервоари за биогаз.....	46 -
2.9.3. Остаци ферментације и њихова примена	47 -
2.9.4. Неопходни елементи за производњу биогаза.....	48 -
2.10. КОГЕНЕРАЦИЈА	48 -
2.10.1. Појам когенерације.....	48 -
2.10.2. Когенерациони модул.....	49 -
2.10.3. Процеси пречишћавања гаса за потребе когенерације	50 -
2.10.4. Гасни Otto мотори.....	51 -
2.10.4. Поређење технологија	52 -
3. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОРАЧУН ПРОДУКЦИЈЕ МЕТАНА НА	
ДЕПОНИЈАМА	54 -
3.1. ЛОКАЛНА ДЕПОНИЈА ГРАДА КРАГУЈЕВЦА И	
ЊЕНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ.....	54 -
3.2. МОТИВИ ЗА ПРОРАЧУНАВАЊЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	55 -
3.3. МЕРЕЊЕ САСТАВА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПОНИЈИ У	
КРАГУЈЕВЦУ	56 -
3.3.1. Резултати мерења састава депонијског гаса на депонији у крагујевцу	58 -
3.4. МЕТОДОЛОГИЈА ПРОРАЧУНА ПРОДУКЦИЈЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА	59 -
3.5. СОФТВЕРСКИ АЛАТИ ЗА ПРОРАЧУНАВАЊЕ ПРОДУКЦИЈЕ	
ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА.....	61 -
3.5.1. Land-GEM модел.....	61 -
3.5.2. “Ukrain” модел.....	63 -

4. ПРОРАЧУН ПРОДУКЦИЈЕ И ПОТЕНЦИЈАЛА ДЕПЕНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПЕНИЈИ У ЈОВАНОВЦУ	68 -
4.1. РАДНИ ЛИСТ СА УЛАЗНИМ ПОДАЦИМА	69 -
4.2. РАДНИ ЛИСТ – КОЛИЧИНА ДЕПОНОВАНОГ ОТПАДА ПО ГОДИНАМА	71 -
4.3. РАДНИ ЛИСТ – САСТАВ ДЕПЕНИЈСКОГ ОТПАДА.....	71 -
4.4. РАДНИ ЛИСТ – ИЗЛАЗНИ ПОДАЦИ (Output-Table).....	73 -
4.5. РАДНИ ЛИСТ – ГРАФИК ИЗЛАЗНИХ ПОДАТАКА.....	73 -
5. ПРОЦЕНА ТЕХНО-ЕКОНОМСКИХ И ЕКОЛОШКИХ ПЕРФОРМАНСИ ПОСТРОЈЕЊА ЗА КОГЕНЕРАЦИЈУ ДЕПЕНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПЕНИЈИ У ЈОВАНОВЦУ	75 -
5.1. ТРОШКОВИ ИНВЕСТИЦИЈЕ И ОДРЖАВАЊА	76 -
5.2. ТРОШКОВИ СИСТЕМА ЗА ПРИКУПЉАЊЕ И ПРОЦЕСИРАЊЕ ГАСА ...	76 -
5.3. ТРОШКОВИ ОБЈЕКТА	78 -
5.4. ПРОЦЕНА ВРЕМЕНА ПОВРАЋАЈА ИНВЕСТИЦИЈЕ	80 -
6. ЗАКЉУЧАК	85 -

1. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ У УРБАНИМ СРЕДИНАМА

Управљање отпадом у оквиру заштите животне средине подразумева настанак, прикупљање, складиштење, транспорт, третман, рециклажу, коришћење и одлагање секундарних сировина, штетних и опасних материја. Управљање отпадом зависи од више фактора, а пре свега од његових особина и на основу тога може се предвидети решење смањења, сакупљања, рециклаже, транспорта и одлагања. У средњем веку, отпаци од хране су бацани на улице, па су глодари и инсекти преносили многе заразне болести и опасне епидемије (од куге је у IV веку умрло скоро половина становника Европе). И данас, због неадекватног третмана отпада, може се појавити већи број заразних болести. По једном становнику, у већим светским градовима, створи се око 3,5 kg отпада дневно. Повећањем броја становника и стандарда живота, повећава се и отпад, који се све више сматра ресурсом. Према подацима секретаријата Базелске конвенције, у свету се годишње створи око 400.000.000 t опасног отпада. Посебно је опасан војни отпад и радио-хемијске индустрије, која користи разне сировине и чији производи имају опасна својства.

У штетне и опасне загађиваче радне и животне средине спадају физички (чврст отпад, прашина, бука, вибрације), хемијски (аеросол, гасови, паре, дим, прашина, отпад), зрачење (јонизујуће, УВ, радарско, ласерско, ултразвучно, рентгенско) и биолошки (вируси, бактерије, плесни, гљиве, паразити, инсекти, глодари). Антропогене супстанце доспевају у спољашњу средину различитим путевима и на више начина. Отпадне воде се избацују у површинске и подземне водотокове и басене. Чврсти отпад се складишти на специјалним депонијама, закопава се и одлаже у напуштеним коповима али често баца неконтролисано. У пољопривреди се користе вештачка ђубрива и пестициди (око 70.000 различитих штетних и опасних супстанци, а списак се годишње допуњује са 900-1000 нових назива). Пронађене су нове супстанце које се не налазе у радној и животној средини, а које живи организми нису у стању да разложе (ПВЦ материјали). Оцењује се да само у океанима и морима плива близу 40.000.000 пластичних боца и кеса, велики број изгубљених и одбачених рибарских мрежа од најлона, металних удица и др.

Економски развој, технолошки напредак, као и начин на који Европљани користе и стварају ресурсе, утичу на околину. Прогнозе предвиђају да ће Европа повећати потрошњу материјалних ресурса како се земље буду опорављале од економске кризе која је почела 2008. године. Европа је постала ефикаснија у управљању материјалним ресурсима. Али дугорочно говорећи, глобална потрошња материјала расте. Шта више, упркос дугорочним побољшањима, пораст у производњи материјала у Европској Унији је знатно успорио у односу на пораст продуктивности рада.

Свеукупни тренд у стварању отпада, укључујући опасне материјале, је у успону, међутим данашње цифре нам показују да је дошло до пада што је вероватно повезано са економском кризом у Европи. Са друге стране, систем управљања отпадом је побољшан. На пример, 38% комуналног отпада је у 2010. години рециклирано или компостовано, у поређењу са 17% у 1995. години, у Европској Унији, укључујући и Швајцарску и Норвешку. Неких 60% пакованог отпада се сада рециклира, а 12 од 19 земаља рециклира или обнавља више од половине грађевинског отпада. Ипак, ако узмемо у обзир укупан отпад, од 2008. године, у 27 земаља Европске Уније, Хрватској, Македонији, Норвешкој и Турској, уклањање отпада је и даље доминантно (50%) у односу на рециклирање (45%), где је 5% спаљено.

Европска Унија тежи да постане део зелене економије, која обезбеђује већу ефикасност ресурса и бољу безбедност залиха. Али европска економија и даље зависи од

увозних сировина – у 2011. години увоз је износио око милијарду и 600 милиона тона (око 3,2 тоне поособи), са горивом и мазивом који представљају већи део увозног материјала. Стратегија Европе за 2020. годину коју је усвојио Европски Савет у јуну 2010. године, има за циљ да унапреди ефикасност ресурса да би се постигао одржив и укључив пораст.

Циљеви постављени у скоријој прошлости нису до краја испуњени; Европска Унија је желела да постане економија са најефикаснијим ресурсима, и да знатно смањи стварање отпада, на основу Шестог акционог програма заштите животне средине из 2002. године. Усвајање Стратегије за 2020. годину у 2010. години, која приказује ефикасност ресурса као водећу иницијативу, обезбеђује нови стимуланс за развој економије која је конкурентска, укључива, и обезбеђује високи животни стандард са много мањим утицајем на животну средину.

Примена Директиве Европске Уније о депонијама може да има за последицу секундарне бенефиције на промене у клими кроз смањење емисије гасова који стварају ефекат стаклене баште од 62 тоне угљен-диоксида, штоје еквивалентно у 2020. години са оном количином из 2008. године.

Управљање чврстим отпадом је сложен процес, јер укључује многе технологије и дисциплине. Оно укључује технологије повезане са стварањем (укључујући смањење генерисања отпада на извору), локалним руковањем и одлагањем, сакупљањем, премештањем и транспортом, обрадом и уклањањем чврстих отпада. Сви ови процеси се морају изводити у оквиру постојећих законских, друштвених и норми које се тичу животне средине, које штите здравље и животну средину и естетски и економски су прихватљиве. Да би одговориле општим ставовима, дисциплине које се морају разматрати у целокупном процесу управљања чврстим отпадом, укључују административне, финансијске, законске, архитектонске, планске чиниоце животног окружења и инжењерске чиниоце.

1.1. ИНТЕГРИСАНО УПРАВЉАЊЕ ОТПАДОМ

Управљање отпадом представља спровођење прописаних мера за поступање са отпадом у оквиру сакупљања, транспорта, складиштења, третмана, и одлагања отпада, укључујући и надзор над тим активностима и бригу о постројењима за управљање отпадом после затварања. Велики трошкови, нерационална организација, низак квалитет услуга и недовољна брига за околину резултат су поразног стања у организацији управљања отпадом.

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

У Србији је практично једини начин управљања отпадом одлагање на локалне депоније, које, са веома мало изузетака, не задовољавају ни основне хигијенске и техничко-технолошке услове, а поред свега нека од постојећих одлагалишта су практично попуњена. У Србији је, према постојећем стању, врло мало депонија које се могу претворити у санитарне депоније. Интегрални систем управљања отпадом представља низ делатности и активности које подразумевају:

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

Овај систем се заснива на избору и примени ефикасних технологија којима се остварују специфични циљеви управљања отпадом уз одговарајућу изградњу законске регулативе. Основни предуслов за успешно функционисање интегралног система управљања отпадом је одређено хијерархијско одвијање активности у оквиру њега, што је приказано на слици 1.1.



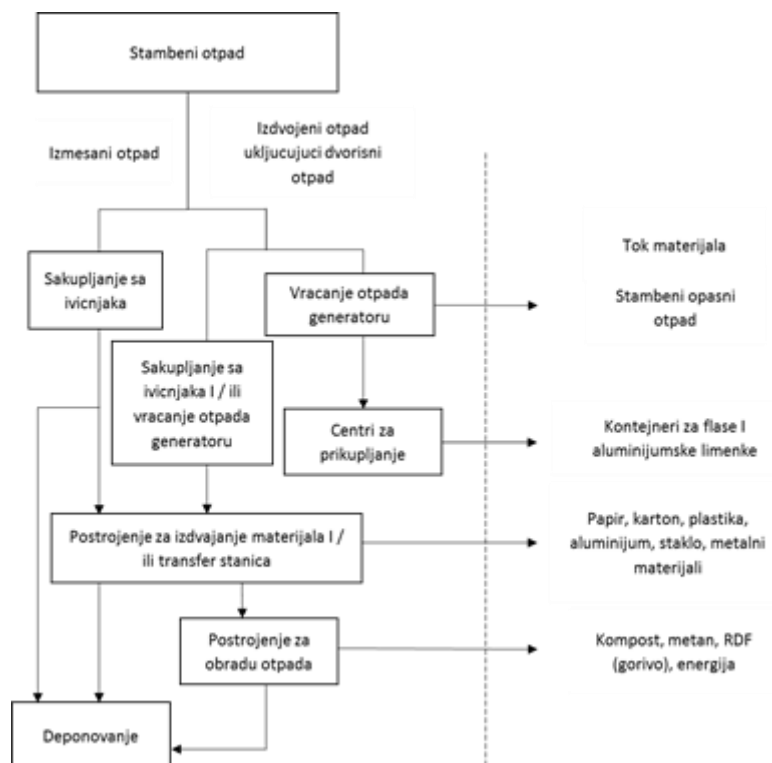
Слика 1.1 - Хијерархијско одвијање активности у вези са интегрисаним управљањем отпада

Интегрисано управљање отпадом се може дефинисати као избор и примена погодних техника, технологија и програма управљања да би се постигли одређени циљеви управљања отпадом. Америчка Агенција за заштиту животне средине (ЕРА – Environmental Protection Agency) идентификовала је четири основна начина (стратегије) управљања отпадом: :

- ❖ Редукција отпада на извору, која се заснива на смањивању количине и токсичности створеног отпада. Зато је потребно окренути се производима и паковањима која се могу поново користити, чији је најпознатији пример повратна амбалажа (флаше).
- ❖ Рециклирање и компостирање је можда најпозитивније прихваћено и најлакше изводљиво од свих модалитета одрживог управљања отпадом. Издвајањем из отпада производа који се могу поново користити, сировине се рециклирају и изнова враћају на тржиште.

- ❖ Спаљивање (уз издвајање енергије из отпада) се доста користи, јер се на тај начин смањује запремина отпада до девет пута. Постројења где се врши спаљивање (инсинератори) могу из отпада да издвоје корисну енергију било у облику топлотне или електричне енергије.
- ❖ Одлагање отпада на депоније је један вид управљања отпадом који нико не воли, али сви имају потребу за њим. Једноставно не постоје комбинације техника управљања отпадом које не захтевају депоновање отпада да би систем функционисао.

Од четири главне опције управљања, одлагање отпада је једина техника која је и неопходна и довољна сама по себи. Неке врсте отпада се једноставно не могу рециклирати из економских разлога, јер достижу тачку где се њихова реална вредност потпуно губи. Процес депоновања отпада се, такође, може претворити у ресурс. Данас је сакупљање метана пракса на многим савременим санитарним депонијама, док је повраћај угљен-диоксида у процесу истраживања. У развијеним земљама, по завршетку периода функционисања, места за одлагање отпада се преуређују и враћа им се првобитни изглед или се претварају у паркове, терене за голф или скијалишта.



Слика 1.2 - Примена интегрисаног управљања комуналним отпадом.

Национална стратегија управљања отпадом

Национална стратегија управљања отпадом - са програмом приближавања Европској унији усвојена је 4. јула 2003. године од стране Владе Републике Србије. Она представља базни документ којим се обезбеђују услови за рационално и одрживо управљање отпадом на нивоу Републике.

Последње издање стратегије управљања отпадом (Сл. гласник РС бр. 29/10) у периоду од 2010 – 2019 год. одређује:

- Правце у складу са економским развојем
- Правце у складу са захтевима и плановима Европске уније
- Институционалне оквире
- Кратак преглед и анализу постојећег стања у управљању отпадом
- Опције управљања отпадом
- Циљеве
- Концепт
- Стратешки оквир
- Трошкове и финансијски план
- Праћење спровођења
- Акциони план

Имплементацијом стратегије се постиже велики број циљева од значаја за све нивое власти - од локалне самоуправе до републичког нивоа. Као најважније потребно је издвојити:

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

Процес придруживања Европској унији у области отпада обухвата основне принципе који се примењују у циљу побољшања система управљања отпадом на простору наше земље:

- смањење количина насталог отпада;
- превенцију настајања отпада;
- решавање проблема отпада на месту настанка;
- принцип сепарације отпада;
- принцип рециклаже што веће количине отпада;
- принцип рационалног коришћења постојећих капацитета за прераду отпада;
- принцип рационалне изградње постројења за третман;
- принцип мониторинга загађења у циљу очувања квалитета животне средине.

Применом основних принципа управљања отпадом приказаних у овом стратешком оквиру, тј. решавања проблема отпада на месту настајања, принципу превенције, одвојеном сакупљању отпадних материјала, принципу неутрализације опасног отпада, регионалног решавања одлагања отпада и санације сметлишта, имплементирају се основни принципи ЕУ у области отпада и спречава даља опасност по животну средину и генерације које долазе.

1.2. ИЗВОРИ, КАРАКТЕРИСТИКЕ И КОЛИЧИНЕ ЧВРСТОГ ОТПАДА

Да би се створила стратегија управљања чврстим отпадом потребно је идентификовати изворе, карактеристике и количине чврстих отпада. Ови подаци су од великог значаја, јер се на основу њих одређује врста возила за сакупљање, врста постројења за обраду и метода уклањања отпада.

Порекло чврстог отпада

Иако се отпад може анализирати кроз велики број могућих подела, од посебне практичне користи су следеће категорије:

- ❖ стамбени (породична пребивалишта различитих величина),
- ❖ комерцијални (продавнице прехранбене робе, ресторани, пијаце, зграде са канцеларијама, хотели, мотели, продавнице новина, сервисне станице и радње за поправку аутомобила)
- ❖ институционални (школе, болнице, затвори, владини центри)
- ❖ грађевински (нова места изградње, места за обнављање путева, рушевине зграда, поломљени плочници, конструкција, изградња),
- ❖ индустријски (изградња, производња, лака и тешка производња, рафинерије и хемијска постројења, електране, рушевине) и
- ❖ пољопривредни (пољски и баштенски усеви, воћњаци, виногради, млекаре, товилишта, фарме).

Карактеристике чврстог отпада

Карактеристике чврстог отпада подразумевају његов састав, количину и специфичну тежину.

❖ Састав

Подаци општих карактеристика комуналног отпада су приказани у табели Т.1.1.

Табела Т.1.1 Приближни састав чврстог стамбеног отпада 1977, 1989, 2000 и 2010.године.

Компонента	Проценат тежине			
	1977	1989	2000	2010
Остаци хране	16-18	7-10	6-8	30-32
Папир	30-35	36-42	34-42	15-16
Гума, кожа, текстил, дрво	7-9	6-9	4-8	5-6
Пластика	3-4	6-8	8-12	15-16
Метали	9-10	7-9	6-8	11-12
Стакло и керамика	9-12	7-9	7-9	5-6
Дворишни остаци	16-20	16-18	16-18	11-12
Камење, прљавштина, разно	1-4	1-3	1-3	1-2

Просеци су предмет прилагођавања зависно од многих фактора: годишњег доба, навика и економског статуса људи, броја и врсте комерцијалних и индустријских објеката, да ли је у питању градска или сеоска средина и локација. Свака заједница би требало да се анализира појединачно да би се добили репрезентативни подаци у сврху пројектовања система управљања отпадом.

❖ Количина

Постоје различите процене количине чврстог отпада који се дневно ствара и сакупља по становнику. У развијеним земљама је тренд да маса комуналног отпада не прелази једну тону по становнику годишње, са тежњом на смањивању количине отпада на извору и рециклирању отпада (као на пример папира, метала, конзерви и стакла) и да би се количина чврстог отпада који се депонује што више смањила.

❖ Специфична тежина

Запремина коју заузима чврсти отпад утиче на број, величину и врсту контејнера, возила за сакупљање отпада као и станица за трансфер. Такође, овај податак нам одређује врсте транспортних система и избор локације за одлагање отпада.

❖ Специјални отпад

У свакој заједници се сакупља одређена количина отпадних материјала независно од стамбених и комерцијалних чврстих отпада. Специјални отпад укључује:

- ❖ **Медицински отпад**, који се може дефинисати као било који чврсти отпад који се ствара при дијагнози, лечењу или имунизацији људи или животиња, у истраживању или производњи и тестирању биолошких материја. Заразни отпад обично долази од установа медицинске неге или сродних установа.
- ❖ **Животињски отпад** који може да садржи организме који проузрокују заразу салмонелом, болести стопала и устију, свињску колеру и друге заразне болести.
- ❖ **Отпадно уље** које представља велике количине моторног и индустријског уља које доспевају у животну средину путем случајног просипања, науљених путева, уља просутог у канализацију и на земљиште, и уља које троше моторна возила.
- ❖ **Коришћене гуме** које могу проузроковати крупне пожаре и ослободити многе опасне хемикалије које утичу на загађење ваздуха и подземних вода. Гуме нису погодне за одлагање на депонију али је прихватљиво ако су самлевене или исечене, иако се преферира рециклирање као оптимална опција.

1.3. САКУПЉАЊЕ, ТРАНСПОРТ И ТРАНСФЕР ОТПАДА

Пре одношења на депонију (или неко друго место), чврсти отпад се привремено складишти на јавним површинама. Да би се ова активност успешно реализовала потребно је да се обезбеди довољан број контејнера.



Слика 1.3 - Типични контејнери коришћени за стамбени чврсти отпад: а) рециклирајући материјали се смештају у четири посебна контејнера (један за папир, један за стакло, један за конзерве и један за пластику), остале нерациклирајуће материје се смештају на улицу ради третмана посебном опремом за сакупљање; б) мешани отпад смештен у један већи контејнер (1100 литара)

Врста контејнера који се користе за сакупљање комуналног чврстог отпада зависи од врсте обезбеђеног сервиса за сакупљање и од чињенице да ли је укључено одвајање отпада. Различите врсте контејнера који се користе у Америци за комуналне услуге у разутим насељима приказани су на слици 1.3.

У слабо и средње насељеним областима, служба за сакупљање отпада смештеног уз ивичњаке је честа. Особље за одржавање је одговорно за транспорт контејнера до улице ради сакупљања мануелним или аутоматским средствима. У многим локалним заједницама, сакупљач је одговоран за транспорт контејнера од места складиштења до возила за сакупљање. Тамо где се користе велики контејнери, садржај контејнера се празни механички, коришћењем возила за сакупљање, која су опремљена механизмом за пражњење.

У Америци, у густо насељеним областима са високим зградама (већим од девет спратова), најчешћи метод руковања мешаним отпадом укључује неку од следећих опција:

- 1) отпад са различитих спратова сакупљају радници одржавања и односе га до приземља или одређене локације,
- 2) станари односе отпад до приземља или одређене локације или
- 3) отпад, обично у кесама, станари смештају у одводне канале под нагибом који се користе за сакупљање мешаног отпада на једно централно место.

Обично су велики контејнери за сакупљање отпада смештени у приземљу високих зграда, док се у појединим случајевима обезбеђују и ограђени објекти за складиштење отпада. У земљама Европске Уније, у неким новијим зградама за становање, користе се подземни пнеуматски транспортни системи заједно са одводним каналима из станова.

Велики контејнери и канте за чврсти отпад су препоручљиви тамо где се стварају велике запреминске количине чврстог отпада, као што су хотели, ресторани, мотели, стамбене зграде, тржни и други пословни центри.

У многим случајевима контејнери се комбинују са компакторима (видети слику 1.4). Контејнери треба да буду смештени на равну, чврсту површину, која може да се чисти, на осветљеном и отвореном простору. Контејнер и околина се морају одржавати чистим.



Слика 1.4 - Типични контејнери за велике запреминске количине отпада из пословних објеката: (а) отворен горњи део са поклопцем; (б) затворени контејнер заједно са компактором

1.4. САКУПЉАЊЕ ЧВРСТОГ ОТПАДА

Трошкови сакупљања чврстог отпада су величине 50 до 70% укупне цене управљања чврстим отпадом.

Табела Т.1.2 - Подаци о врстама и капацитетима контејнера у системима за сакупљање отпада

Возило за сакупљање	Врста контејнера	Типични капацитет контејнера
Системи за одвожење контејнера		
Камион са дизалицом	Користи се са стационарним сабијачем	4.5-9 m ³
Кипер	Отворен кров	9-40 m ³
	Користи се са стационарним сабијачем	11-30 m ³
	Опремљен механизмом за самосабијање	15-30 m ³
Камионска приколица за чврсти отпад	Отворене приколице за чврсти отпад	11-30 m ³
	Затворене приколице опремљене механизмом за самосабијање	20-30 m ³
Системи са стационарним контејнерима (са сабијањем)		
Сабијач, механички утоваран	Отвореног или затвореног крова са утоваром са стране	0.5-8 m ³
	Специјални контејнери за сакупљање стамбеног отпада из индивидуалних станова	350-400 l
Сабијач, механички утоваран са подењеним утоварним левком	Специјални контејнери коришћени за сакупљање рециклирајућих и осталих нерациклирајућих отпада	350-400 l
Приколица за сакупљање са	Специјални контејнери	350-400 l

механичким лифтом повезаним на приколицу	коришћени за сакупљање рециклирајућих и осталих нерестирајућих отпада	
Сабијач, ручно утоваран	Мали пластични или метални контејнери, са папирним или пластичним кесама	80-200 l
Системи са стационарним контејнерима (без сабијања)		
Возило за сакупљање са контејнерима ручно утовараним са стране	Све врсте контејнера за привремено складиштење рециклирајућих материјала	120 l
Возило за сакупљање са контејнерима полуаутоматски ручно утовараним са стране	Све врсте контејнера за привремено складиштење рециклирајућих материјала	120 l
Возило за сакупљање са контејнерима полуаутоматски ручно утовараним са стране са утоваром контејнера са точковима	Све врсте контејнера за привремено складиштење рециклирајућих материјала и контејнери са точковима	200-400 l
Возило за сакупљање са механичким лифтом	Специјални контејнери за сакупљање отпада из индивидуалних станова	200-400 l

Учесталост сакупљања

Учесталост сакупљања отпада зависи од количине произведеног отпада, годишњег доба, социо-економског стања опслуживане области и општинске комуналне одговорности. У стамбеним областима, за време топлих месеци, максимални дозвољени интервал сакупљања чврстог отпада је два пута недељно, односно једном недељно у другом периоду. У пословним областима, чврсти отпад, укључујући отпад из хотела и ресторана, требало би скупљати свакодневно, осим недељом. Зависно од врсте система за сакупљање, контејнере који се користе за складиштење чврстог отпада требало би празнити директно у возило за сакупљање отпада. Друга могућност је превоз, пражњење и враћање или замена чистим контејнером. Постоји могућност просипања чврстог отпада који се превози од места локације контејнера, а која резултира загађењем тла и привлачењем мува. Гломазни отпад би требало сакупљати свака три месеца. Већина градова у Европи и Америци је утврдила програме сакупљања кућног опасног отпада, обично свака три месеца.

Врсте система сакупљања

Системи сакупљања чврстог отпада се могу поделити према: врсти функционисања, коришћеној опреми и врсти отпада који се сакупља. Према начину функционисања, системи за сакупљање се могу поделити у две категорије:

1. Системи превоза контејнера су системи сакупљања где се напуњени контејнери за складиштење отпада превозе до постројења за третман материјала, трансфер станица или места за депоновање. Тамо се контејнери празне и враћају на оригиналну или неку другу локацију. Постоје три основне врсте возила која се користе у системима за превозење контејнера:

- а) камиони са механизмима за дизање,
- б) кипери и
- в) камионске приколице прилагођене превозу чврстог отпада

Системи за превоз контејнера су идеални за одвожење отпада са места где је степен прикупљања отпада већи, па се зато користе и већи контејнери. Коришћење великих контејнера смањује време руковања и сакупљања, као и разне несанитарне ефекте који се повезују са коришћењем већег броја малих контејнера. Друга предност овог система је његова флексибилност првенствено због примене контејнера најразличитијих величина и облика погодних за сакупљање отпада.

2. У систему са стационарним контејнерима, где се возило за сакупљање ручно утовара, број сакупљача се креће од једног до четири, зависно од врсте услуге и опреме за сакупљање. Постоје две основне врсте система за сакупљање ручним утоваром:

- 1) Системи у којима се користе возила за сакупљање ручним утоваром и
- 2) Системи у којима се користе возила за механичко сакупљање

Возач-сакупљач је одговоран за управљање возилом, утовар пуних контејнера у возило, пражњење контејнера на месту одлагања (или трансфера) и истовар празних контејнера. У неким случајевима, из безбедносних разлога, поред возача, ангажован је и један помоћник. Помоћник је обично одговоран за прикључивање и искључивање ланаца или каблова који се користе за утовар или истовар контејнера, док је у том случају возач одговоран само за управљање возилом. Возач и помоћник се морају ангажовати увек када се рукује опасним отпадом. Радни захтеви у стационарним системима са механичким утоваром су у принципу исти као и код система за одвожење контејнера. Тамо где се користи помоћник, возач често помаже помоћнику у приношењу пуних контејнера постављених на тачкове до возила за сакупљање и враћању празних контејнера. Повремено, ангажују се возач и два помоћника, и то тамо где се контејнери морају пренети до возила за сакупљање са неприступачне локације, као што је случај у пренасељеним пословним градским зонама.

За сакупљање стамбеног раздвојеног и измешаног отпада користе се возила за ручни утовар. Ручни утовар се користи у стамбеним областима где је степен сакупљања мали и где је време утовара релативно кратко. Поред тога, ручни метод се користи за сакупљање стамбеног отпада, зато што многа места за сакупљање нису доступна возилима за аутоматско сакупљање. Посебна пажња се мора посветити пројектовању возила за сакупљање које се користи за појединачно сакупљање. У Америци је посебно популаран и често коришћен камион са бочним утоваром, опремљен управљачем са десне стране. Овим камионом се управља стојећи и врло је погодан за сакупљање отпада лоцираног поред ивичњака и у уским улицама.



а)



б)



в)

Слика 1.5 - Типични примери возила за сакупљање са ручним утоваром у систему са стационарним контејнерима: (а) возило за сакупљање са утоваром са стране за измешани отпад, (б) возило за сакупљање са утоваром позади за измешани отпад, (в) возило за сакупљање са утоваром са стране за сепарисане материјале



а)



б)

Слика 1.6 - Типични примери возила за сакупљање са механичким утоваром у систему са стационарним контејнерима: (а) возило за сакупљање са двоструком комором са утоваром са стране, (б) возило за сакупљање са утоваром са предње стране за измешани отпад

Градови се шире и све је мање простора за депоновање отпада. То је довело до развоја постројења за спаљивање отпада (инсинератора) и објеката за третман или прераду отпада у градовима и околини. Све ово је условило одвожење отпада на веће удаљености, на нова места за санитарно одлагање/депоновање отпада. Међутим, са повећањем удаљености повећавају се и трошкови превоза, па изградња трансфер станица у овим случајевима постаје јефтинија варијанта што се тиче цене и времена. У трансфер станицама се отпад привремено складишти и претовара за транспорт на удаљена места за третман. У најбољем случају, трансфер станица би требало да се

налази у центру области сакупљања.

1.4.1. Врсте трансфер станица

Трансфер станице се користе као међу фаза у претовару чврстог отпада са класичних возила за сакупљање до специјализоване опреме за даљи транспорт отпада. У зависности од коришћене методе за утовар транспортног возила, трансфер станице се могу поделити у три основне групе:

- (1) станице са директним утоваром,
- (2) станице са посредним утоваром материјала,
- (3) комбиноване станице.

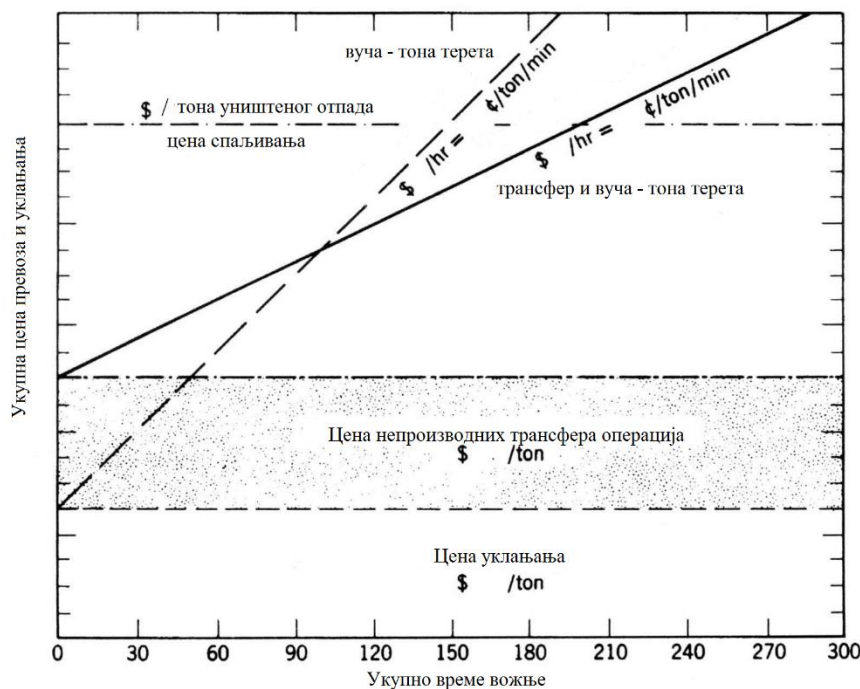
Трансфер станице се, такође, могу поделити са аспекта радног капацитета (количине материјала који се може пренети и превести) на следећи начин:

- (1) мале - мање од 100 тона дневно,
- (2) средње - између 100 и 500 тона дневно и
- (3) велике, више од 500 тона дневно.

Трансфер станице за директни утовар су станице у којима се отпад из возила за сакупљање празни директно у возило које се користи за транспорт:

- 1) до коначног одредишта или
- 2) до постројења која се користе
 - а) за сабијање отпада који се преноси у возила за превоз или
 - б) за сабијање у бале отпада које се транспортују до места за одлагање.

У неким случајевима, отпад може да се празни на истоварној платформи и одатле пребацује у возила за превоз, пошто се претходно одвоје рециклирајући материјали. Количина отпада који се може складиштити привремено на истоварним платформама обично се дефинише као ударни или тренутни капацитет складиштења станице. Мале трансфер станице са директним утоваром се користе у индустријским парковима, насељеним областима и на улазима депонија чврстог отпада.



Слика 1.7 - Поређење цена - спаљивање у односу на трансфер и превоз до места за одлагање чврстог отпада

Трансфер станице за посредни утовар материјала су станице у којима се чврсти отпад из возила празни директно у специјализовани канал за складиштење. Из овог складишта отпад се даље товари у возила за транспорт различитим врстама помоћне опреме. Разлика између трансфер станица за директни и посредни утовар материјала је та да је друга поменута пројектована са могућношћу да се у њој отпад може складиштити и задржати неколико дана (обично један до три дана).

1.5. РЕДУКЦИЈА СТВАРАЊА ОТПАДА И ПОВРАЋАЈ МАТЕРИЈАЛА

Правилном применом методологије управљања чврstim отпадом долази до смањења количине произведеног отпада, смањења његовог токсичног својства и стварања услова за повраћај материјала и рециклажу отпада до степена практичне употребљивости. Трајно одлагање отпада на санитарне депоније је последња мера у систему одрживог управљања чврstim отпадом која не угрожава здравље људи или животну средину. У овом одељку пажња је усмерена ка начинима смањења количина произведеног отпада на извору његовог настанка и обнови и рециклирању материјала.

Први корак у сваком систему интегрисаног управљања чврstim отпадом је редукција стварања отпада на извору његовог настанка. Измене индустријских материјала, технолошких процеса или амбалаже могу свести на минимум количине насталог отпада или омогућити корист за животну средину укључивањем мање токсичних материјала. Дакле, количина произведеног отпада се може смањити и тако произведен отпад се даље може рециклирати или поново користити до неке реалне границе. На овај начин се значајно смањује количина отпада која се трајно одлаже на депоније.

У развијеним земљама се врши повраћај материјала и издвајање енергије из чврстог отпада. Појединци, код нас и у свету, сакупљају старе новине и картон, бакар, олово и гвожђе годинама. Ови материјали, заједно са алуминијумом, стаклом, пластиком и дрветом, обрађују се у адекватним постројењима до већег или мањег степена зависно од тржишта, пореске политике и јавног интереса. За сваку заједницу је веома важно наћи решења којима ће се из отпада произвести енергија било електрична или топлотна.

Рециклирањем чврстог отпада се штеди енергија и ослобађа простор на депонији. Једна тона прикупљених старих новина може да уштеди 2-2.5 m³ простора за одлагање на депонији. Такође, процењује се да је потребно уложити 95% мање енергије да би се произвео алуминијум од рециклираног алуминијума него из руде боксита. Изломљено рециклирано стакло се топи на нижим температурама од сировог материјала, и на тај начин се додатно штеди енергија.

Очување и обнова ресурса у систему управљања чврстим отпадом је сложени економски и технички систем који захтева одговарајућу технолошко-економску анализу пре донешења било какве одлуке. Од посебног су значаја капитални и оперативни трошкови, тржишна вредност и квалитет рециклираних материјала, дугорочна процена минималне цене енергије на тржишту, гарантоване количине чврстог отпада, потребе за местима за депоновање отпада и остатака од спаљивања. Обзиром да је систем интегрисаног управљања отпадом врло сложен, нису сви концепти одрживи. Да би се дошло до дугорочног, оптималног решења, неопходна је иницијатива и финансијска подршка свих структура власти у држави.

До скоро, под третманом чврстог отпада обично се подразумевало одлагање отпада на отворене и санитарне депоније. Тренутно, најбоља прихваћена технологија третмана отпада је процес повраћања материјала који се спроводи у специјализованим постројењима, као и компостирање.

1.5.1. Постојења за повраћај материјала

Типови постројења за повраћај материјала

Сепарација кућног и комерцијалног отпада се може извршити на извору, на месту сакупљања од стране надлежне службе или у специјализованим објектима. Тип постројења за повраћај материјала зависи од врсте услуге сакупљања као и степена раздвајања отпада пре доласка у постројење. У општем случају, постоје две врсте ових постројења и то су:

- 1) постројења за третман отпада раздвојеног на извору и
- 2) постројења за третман измешаног чврстог отпада.

Методе и опрема за раздвајање и повраћај материјала

Методе и процеси који се користе, појединачно и у различитим комбинацијама, да би се извршило раздвајање и повраћај материјала из отпада и припремио отпад за поновно коришћење и/или трајно одлагање на депоније, приказани су у табели Т.1.3.

Табела Т.1.3 Типичне методе и опрема за третман и издвајање појединачних компонента из комуналног отпада

Опција обраде	Опис
Ручно сортирање	Радна јединица у којој радник физички издваја предмете из тока отпада.
Смањење величине	Радна јединица која се користи за смањење запремине како измешаног комуналног отпада, тако и издвојених материјала.
Издавајање по величини	Радна јединица у којој се материјали издвајају по величини и облику, најчешће коришћењем филтера.
Издавајање магнетним пољем	Радна јединица у којој се издвајају магнетни од немагнетних материјала.
Сабијање	Сабијање је радна јединица која се користи за повећање густине издвојених материјала да би се смањили трошкови превоза и поједноставило складиштење.
Руковање материјалима	Радна јединица за транспорт и складиштење комуналног отпада и издвојених материјала.
Аутоматско сортирање	Радна јединица у којој се материјал издваја по карактеристикама материјала.

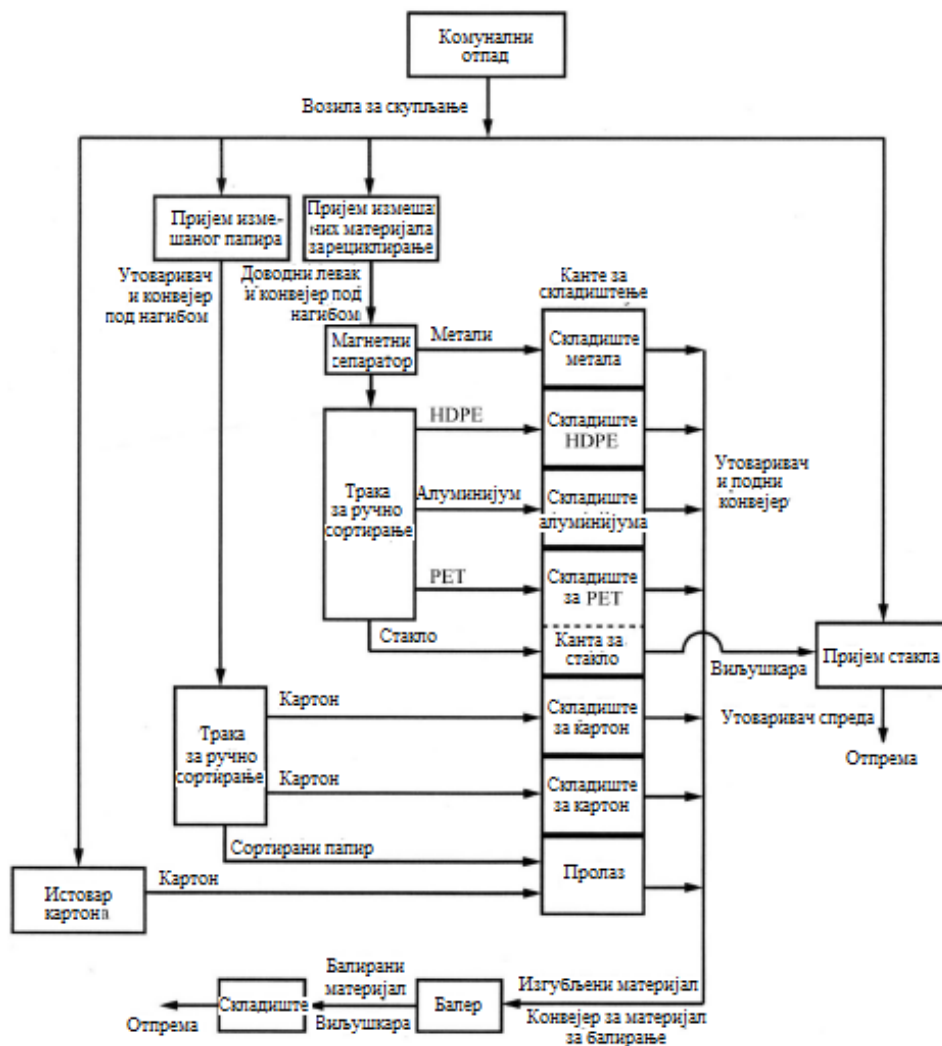
Од метода приказаних у табели Т.1.3, ручно сортирање је далеко најчешће коришћен метод за обраду отпадног материјала.

Дијаграм тока процеса у постројењима за издвајање материјала

Фактори који утичу на израду дијаграма тока процеса издвајања материјала су:

- 1) идентификација карактеристика отпадних материјала који се обрађују,
- 2) разматрање техничких услова за рециклирање материјала данас и у будућности
- 3) расположива опрема и постројења.

На пример, одређене врсте отпадних материјала се не могу ефикасно одвојити од измешаног комуналног отпада док се прво не уклоне велики предмети, као што су дрвена грађа, бела техника, велики комади картона и док се пластичне кесе у које се смешта отпадни материјал не отворе и њихов садржај не проспе. Степен издвајања отпада зависи од техничких услова којима се подвргава отпад. Типични дијаграм тока процеса издвајања материјала из отпада, приказан је на слици 1.8



Слика 1.8 - Дијаграм тока процеса издвајања материјала при раздвајању отпада на извору

Технички аспекти планирања и пројектовања постројења за издвајање материјала из чврстог отпада

Техничка посматрања у процесу планирања и пројектовања постројења за издвајање материјала из чврстог отпада укључују три основна корака, а то су:

1. анализа изводљивости,
2. прелиминарно пројектовање и
3. коначно пројектовање.

Наведени кораци су уобичајени у пројектима јавних радова, као што су изградња постројења за депоновање отпада или постројења за третман отпадних вода. У неким случајевима, анализа изводљивости се укључује раније и постаје део интегрисаног процеса планирања управљања отпадом.

1.6. ОДЛАГАЊЕ ОТПАДА НА САНИТАРНЕ ДЕПОНИЈЕ

Трајно збрињавање отпада на санитарне депоније је облик контролисаног уклањања чврстог отпада. Локација за депонију мора бити изабрана веома опрезно тако да буде прихватљива геолошки, хидролошки, а нарочито прихватљива по животну средину. Под појмом санитарне депоније се не подразумева појам отворена депонија или сметлиште. Правилно пројектована санитарна депонија не загађује подземне воде, и има развијен систем за надзор и контролу депонијског гаса и отпадних вода. Типични попречни пресек једне санитарне депоније приказан је на слици 1.8. У развијеним државама постоје детаљни и строги прописи који уређују локацију објекта, пројектовање, управљање, надзор и контролу гасова и воде, надгледање затварања и одржавања у наредних 30 година. Потребно је дефинисати детаље у вези спровођења третмана отпада, укључујући планирање, пројектовање и управљање и затварање санитарне депоније.

1.6.1. Планирање одлагања отпада на санитарну депонију

Кључни елементи у планирању и примени санитарног одлагања отпада укључују:

- (1) законску регулативу,
- (2) међуопштинску сарадњу,
- (3) социјалне и политичке факторе и
- (4) питања дугорочног планирања.

Предности међуопштинске сарадње: У решавању овог проблема помоћ се може наћи у државном и регионалном планирању у вези сакупљања и одлагања чврстог отпада при чему би се превазишле бројне тешкоће.

Социјални и политички фактори: Важан елемент при избору места за одлагање отпада је процена јавне реакције и едукација јавности у погледу разумевања и прихватања понуђеног решења, као и дугорочни програм јавног информисања. Једнако су важни и политичка клима, поређење трошкова алтернативних решења, могући приходи, естетски захтеви, организована подршка заједнице и слични фактори.

Питања дугорочног планирања и пројектовања: Локалне самоуправе могу олакшати задатак спроводећи планове у сагласности са државним или регионалним плановима (20 до 40 година у будућности) и обезбеђујући одговарајуће локације најмање 5 година пре предвиђеног времена почетка коришћења депоније. Такође, врло је битно размотрити доступност савезних и државних фондова за планирање, сакупљање, рециклирање, обраду и уклањање чврстог отпада. Планови морају бити у сагласности са:

- (1) захтевима очувања животне средине и здравља људи,
- (2) у складу са урбанистичким плановима на свим нивоима и
- (3) спроведном стручном анализом алтернативних локација.

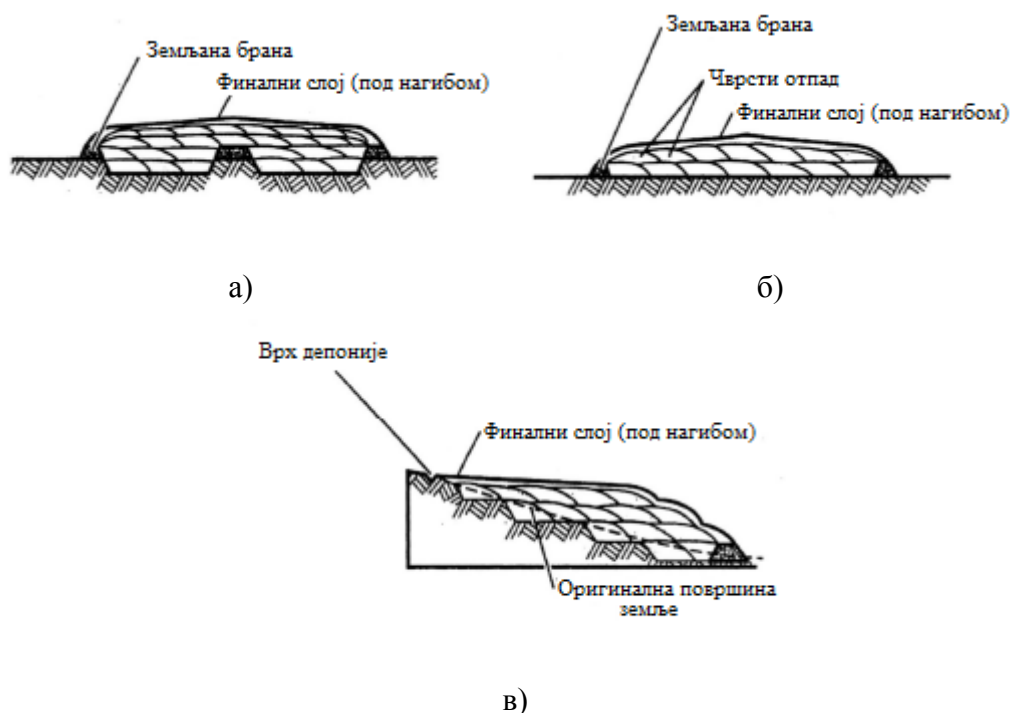
Такође се захтева познавање фактора као што су: популациона пројекција, количина и карактеристике свих типова чврстог отпада који ће се одлагати, трошкови земљишта и припрема локације, очекивано време коришћења депоније, растојање и трошкови превоза отпада, трошкови опреме и функционисања постројења, трошкови затварања депоније, даљег одржавања и могућности коришћења тог простора.

Информисање и укључивање јавности у процес планирања изградње депоније би требало да буде један од важних елемената који води ка коначном решењу.

1.6.2. Методе одлагања отпада на санитарне депоније

Санитарна депонија се може формирати на било ком типу терена. Зависно од рељефа локације разликује се више метода одлагања отпада, а најчешће су: метода јарка (канала), површинска метода, метода рампе и метода одлагања у увалу, како је приказано сликом 1.9.

Метода јарка (канала): Метода јарка се користи првенствено на равном земљишту, мада се може применити и у случајевима умерено нагнутог рељефа (слика 1.9а). У овом приступу, канали се формирају ископавањем плитких рупа, а ископани материјал се користи за израду косина (нагиба) изнад земљишта. Чврсти отпад се смешта у ископане канале, сабија и прекрива на крају сваког дана са претходно припремљеним (ископаним) материјалом. Због потребе за постављањем подлоге која пропушта воду - **лајнера** (међуслој између земљишта и отпада, енг. - liner), сви канали за депоновање отпада се обично копају истовремено. Канали се праве ширине 6 до 7,5m и најмање двоструко веће ширине од опреме која се користи за сабијање отпада (компактора). Дубина простора за попуњавање се дефинише процењеним коначним потребама депоновања или се ограничава на основу нивоа подземних вода или стеновитог земљишта. Ако постоји могућност да се канали копају дубље, расположива површина употребљеног земљишта ће се ефикасније искористити.



Слика 1.9 Шематски приказ различитих опција депоновања отпада:
(а) метод јарка, (б) површински метод и (в) метод одлагања у увалу

Површински метод: На релативно равном терену, површински метод (слика 1.9б) се може применити коришћењем постојећих природних косина и нагиба земљишта. Ширина и дужина нагиба пуњења зависе од природе терена, количине чврстог отпада који се свакодневно довози и приближног броја камиона који ће се истовремено истоварати. Бочни нагиб је 20 до 30 степени, а ширина и висински ниво површине за

одлагање отпада се контролишу за време депоновања. Радна површина би требало да буде што мања да би се искористила предност сабијања камионима, ограничило изbacивање отпада на дефинисаном простору и да би се избегло растурање. У површинском приступу одлагања отпада, покривни материјал се превози из околине. Основа депоније је формирана када се дефинише подизање темеља, ниво подземних вода, постави подлога која не пропушта воду и систем за сакупљање и уклањање отпадних вода.

Метода одлагања у увалу: У пределима где постоје долине и клисуре, овај метод одлагања отпада је обично најбоље решење (слика 1.9в). У оним областима где је увала дубока, чврсти отпад би требало смештати у слојевима дебљине од 2,5–3m. Покривни материјал се копа на обронцима клисуре. Из практичних разлога није увек пожељно да се први слој отпада распростре целом дужином увале. Први слој се обично формира на релативно мањем простору при самом дну клисуре. Следећи слојеви се формирају депоновањем отпада преко почетног слоја све до врха клисуре. Кад се достигне максималан ниво, доњи (почетни) слој се може проширити и процес се може поновити. Подлога која не пропушта воду и систем за сакупљање и уклањање филтрата морају се пројектовати пажљиво узимајући у обзир састав терена.

1.6.3. Стварање филтрата, контрола и третман

Најбољи начин за решавање могућег проблема са депонијским филтратом (процедним водама) је умањити његово стварање. У пракси, стварање филтрата се не може потпуно избећи, нарочито за време функционисања депоније. Међутим, непропусни слојеви земљишта и пројектовани лајнери могу значајно да умање негативни еколошки утицај процедурних вода. Ради заштите квалитета подземних и површинских вода, мере контроле филтрата се морају предвидети и увести у пројекат депоније. Систем за контролу филтрата се мора ставити у функцију пре почетка функционисања депоније (слика 1.10). Као основу за пројектовање система за контролу филтрата и површинског отицања (прелива), треба формирати тзв. равнотежу воде (waterbalance) на депонији узимајући у обзир могуће велике падавине, инфилтрацију, испаравање, итд.

Може се очекивати да процедурне воде са постојећих депонија комуналног и индустријског отпада садрже органске и неорганске хемијске карактеристике одложеног отпада. Стамбени опасни отпад може да садржи мале количине средстава за чишћење, боја и разређивача, уља, пестицида и лекова. Познавање карактера индустрије и њене производње обезбеђује добру полазну основу у избору параметара који се анализирају у процесу контроле и управљања филтратом са постојеће депоније.



Слика 1.10 Приказ типичног бунара за надзор

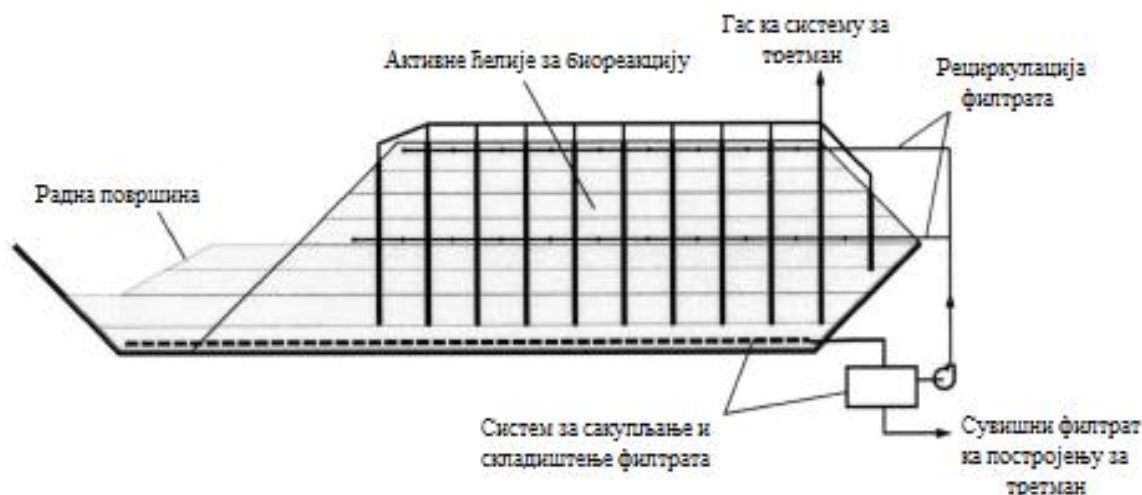
Стварање филтрата: Количину инфилтрације одређују атмосферске падавине умањене за отицање и испаравање. Дугорочно гледано, када се достигне капацитет депоније, инфилтрација и процеђивање ће одредити количину произведених процедних вода (ако постоје) подразумевајући да су искључени утицаји подземних вода и токова. Главни фактор у овом процесу је прекривни материјал који мора бити пажљиво нивелисан, а који, у идеалном случају, дозвољава ограничену инфилтрацију и процеђивање који поспешују вегетацију и разградњу чврстог отпада. Земљана прекривка би требало да има малу пропустљивост и мале промене у запремини приликом влажења и сушења. Отицање зависи од интензитета и дужине трајања падавина, пропустљивости земљане прекривке, нагиба (4 %, а не више од 30 % за бочне нагибе), садржаја воде и стања земљишта, количине и врсте вегетације, итд.

Контрола филтрата: Када би се искључила сва инфилтрација и чврсти отпад остао сув, биоразградња отпада бактеријама, гљивицама и другим организмима би престала и чврсти отпад би био сачуван у свом првобитном стању. Активности бактерија се обустављају када садржај воде падне испод 14- 16%. Одржавање оптималне количине воде у отпаду је, као и у случају компостирања, неопходно за биодеградацију (анаеробни процес у депонији), производњу метана, коначну стабилизацију, могућу рециклажу отпада у будућности, као и поновно коришћење локације депоније по њеном затварању. Ако је кретање процедних вода проблем на старим или постојећим депонијама, зависно од конкретне ситуације и инжењерских процена, може се размотрити неколико опција. То подразумева прекривање глине или лајнера слојем земље са засађеном травом како би се спречило процеђивање, баријерне зидове или бране постављене у непропусни слој да би се изоловао садржај депоније, дренажу површинских вода узводно и око простора депоније, дренажну завесу у циљу пресецања тока, одвођење подземних вода, итд.

Рециркулација филтрата: Биоразградња и стабилизација биоразградиве органске материје на депонији може се убрзати рециркулацијом филтрата (процедних вода). Контролисана рециркулација филтрата, уз додатак хранљивих састојака за

одржавање оптималне влажности и рН вредности, може побољшати анаеробну микробску активност, разлагање органских материја, претварање органског чврстог отпада у метан и угљен - диоксид и таложење тешких метала. Комплетна биолошка стабилизација се може постићи за четири до пет година. Санитарне депоније које су пројектоване за рецикулацију филтрата требало би да, уз минимум захтева, садрже пројектовани систем хидроизолације, ефикасан дистрибутивни систем за сакупљање, уклањање и рецикулацију процедних вода, као и систем за сакупљање и одвођење депонијског гаса (видети слику 1.11). Системи са вишеслојном подлогом која не пропушта воду и бунари за надзор и детекцију цурења омогућавају одговорној компанији и надзорном органу праћење експлоатације заштитног система депоније. Систем за прикупљање и уклањање процедних вода треба пројектовати тако да омогући несметано одржавање и чишћење у погледу наслага биолошке прљавштине. Сам процес рецикулације филтрата повећава концентрацију процедних вода и убрзава стабилизацију пуњења депоније.

Третман филтрата: Биолошки третман је врло ефикасан начин за пречишћавање загађених отпадних вода са средњом или високом концентрацијом биоразградивих органских материја. У процесу са активним муљем, пречишћавање филтрата обављају, највећим делом, аеробне бактерије садржане у њему. Овај процес се може сматрати контролисаним и интензивним обликом онога што се иначе догађа при природном самопречишћавању водотокова.



Слика 1.11 Шематски дијаграм санитарне депоније са рецикулацијом филтрата

2. ДЕПОНИЈСКИ ГАС КАО ОБНОВЉИВИ ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ И КОГЕНЕРАЦИЈА

Под појмом депоније подразумева се изоловани простор за одлагање чврстог отпада. Депонија може бити формирана на површини или у унутрашњости изолованог простора. Могу бити организоване као привремене или као сталне, у зависности од намене за коју су формиране. Привремене се користе за тренутно одлагање отпада, а сталне за његово континуирано одлагање. На оваквим депонијама, које су пре свега сталног карактера, долази до развоја микроорганизама и непрекидног увећавања њихових колонија. Њихова превасходна улога је усмерена на разлагање лако разградивих материја које се одлажу на депонијама.

Постоје различите врсте микроорганизама које према својим карактеристикама захтевају различите услове за преживљавање, опстанак и размножавање. Овде се мисли на различиту температуру земљишта, рН вредност истог, састав тла, а самим тим и влажност.

Због убрзаног развоја микроорганизама долази до неконтролисног нагомилавања отпада. Ово нагомилавање за последицу има скоро увек негативне ефекте, и то:

- ❖ преко земљине површине долази до нагомилавања микроорганизама, њиховог продирања у земљу, а који путем подземних вода доводе до подводног загађења земљишта,
- ❖ долази до испарења гасова који доводе до загађивања ваздуха,
- ❖ врло често жива бића, пре свега животиње које долазе у потрази за храном, ступају у контакт са микроорганизмима, што је веома штетно за њихов опстанак обзиром на то да су у том моменту подложни дејству различитих заразних болести,
- ❖ неконтролисано одлагање смећа доводи до угрожавања и опстанка биљних врста које се налазе у њеној непосредној близини.

У развијеним земљама, када се депонија потпуно испуни отпадом, она се затвара и рекултивише. Овај процес претпоставља враћање изгледа локалитета на онај пре почетка коришћења депоније. То се постиже озелењавањем и пошумљавањем површине депоније.

2.1. ДЕПОНИЈСКИ ГАС

Гас који настаје у телу депоније, познат као депонијски гас, представља „greenhouse” гас (GHG), односно гас који се ствара ефектом „стаклене баште” и његова неконтролисана емисија доприноси глобалном атмосферском загревању. У исто време, депонијски гас поседује енергетску вредност, што га чини потенцијалним горивом за погон гасних мотора и добијања електричне и топлотне енергије тим путем.

2.2. САСТАВ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

Најзаступљенија једињења у депонијском гасу су приближно једнаких делова метана и угљен-диоксида, са малим траговима неметанских органских једињења (NМОС). Метан је гас настао ефектом стаклене баште који има потенцијал глобалног загревања 21 - 25 пута већи од угљен-диоксида [6]. У присуству ваздуха је лако запаљив

што представља предност, јер се може користити као гориво, али и одговорност јер може доћи до опасности приликом нежељеног запаљивања.

Када се говори о саставу депонијског гаса, могу се утврдити одређене разлике у литератури, па је зато, у табели 2.1, приказан један од типичних састава.

Табела 2.1 - Састав депонијског гаса [4]

Компонента	%	Карактеристике
Метан	45 – 60	Метан је гас без боје и мириса. Депоније су највећи извори емисија метана које је проузроковао човек.
Угљен диоксид	40 – 60	CO ₂ се налази у атмосфери у малим концентрацијама (0,02%). Безбојан је, без мириса и мало кисео.
Азот	2 - 5	Азот репрезентује 79% атмосфере. Без мириса, боје и укуса.
Кисеоник	0,1 - 1	Кисеоник репрезентује 21% атмосфере. Без мириса, укуса и боје.
Амонијак	0,1 - 1	Амонијак је безбојан гас са оштрим мирисом.
Неметанска органска једињења (NМОС)	0,01 - 0,6	NМОС-и су органска једињења. Налазе се у природи или се могу вештачки синтетизовати. NМОС-и најчешће присутни на депонији су акрило-нитрити, етил-бензен, хексан, метил-етил-кетон, тетра-хлор-етилен, толуени, три-хлор-етилен, винил-хлориди и ксилен.
Сулфиди	0 - 1	Сулфиди (водоник сулфид, диметил сулфид, меркаптани) су гасови присутни у природи који дају депонији непријатан мирис покварених јаја.
Водоник	0 - 0,2	Водоник је гас без мириса и боје.
Угљен-моноксид	0 - 0,2	Угљен-моноксид је гас без мириса и боје. Изузетно токсичан.

Ниво кисеоника и азота у депонијском гасу морају бити смањени због економичног коришћења депонијског гаса. Миграција гаса може довести до експлозија и пожара, а емисија метана доводи до глобалног загревања [USEPA, 1991]. Депоније су велики извори метана, после пиринчаних поља и преживара [Thorneloe, 1992]. Други проблеми са емитовањем метана су допринос неметанских органских једињења (NМОС), који утичу на људско здравље и на вегетацију. NМОС садрже неколико једињења канцерогених за људе. Позитивна страна је да се депонијски гас може употребити као енергент, који надокнађује коришћење конвенционалних фосилних горива. Топлотна моћ је 4-6 kWh/m³, што је приближно половини топлотне моћи природног гаса. Приближни еквиваленти депонијског гаса са осталим уобичајеним горивима су дати у табели 2.2.

Табела 2.2 - Еквиваленти депонијског гаса (са садржајем метана од 50%)

Гориво	Еквиваленти (на 10.000l депонијског гаса)
Природни гас [l]	6.766
Пропан [l]	7,35
Бутан [l]	6,55
Бензин [l]	39
Лож уље [l]	36
Битуменозни угаљ[kg]	6
Средње суво дрво [kg]	13

Генерисање метана настаје у метанској анаеробној фази разградње комуналног отпада. Организми претварају органске супстанце присутне у одложеном комуналном отпаду у метан и угљен-диоксид. Разградња отпада, а самим тим и разградња метана, је сложен процес који зависи од:

- ❖ састава одложеног комуналног отпада
- ❖ предтретмана отпада
- ❖ коришћења материјала за прекривање отпада
- ❖ влажности тела депоније
- ❖ просечне годишње температуре
- ❖ атмосферског притиска

2.3. ПРОИЗВОДЊА И КАРАКТЕРИСТИКЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

У индустријским земљама настаје 300-400кг отпада годишње по особи. Ово смеће се скупља и одлаже на безбедним и санитарним депонијама, које подразумевају заштиту подземних вода, као и заштиту ваздуха од прљавог и опасног депонијског гаса. Депонијски гас настаје разградњом органских супстанци под утицајем микроорганизама у анаеробним условима. Депонијски гас прелази у околину због надпритиска који се јавља у средишту депоније. На основу наведеног састава депонијског гаса, може се видети да је он врло опасан по човекову околину, како за здравље живих организама, тако и по инфраструктурне објекте у близини депонија. Метан је више од 20 пута штетнији по климу и озонски омотач него угљен-диоксид, што практично значи да 1 тона метана оштећује озонски омотач (ефекат стаклене баште) као 21 тона угљен-диоксида.

Депонијски гас има следеће карактеристике:

- количина и састав деонијског гаса извученог из депоније је променљив и на краћи и дужи рок. Највећа је количина метана и угљен-диоксида, а мале су количине органских гасова и пара, од којих неки имају непријатан мирис, неки су штетни по здравље, а неки могу произвести корозивна једињења при сагоревању,
- метан је запаљив, образује потенцијално експлозивну смешу и одређеним условима, неконтролисане миграције и ослобађања,
- метан има високу калоричну вредност (око 18 MJ/m^3) и због тога је много већи интерес за сагоревање депонијског гаса ради добијања електричне или топлотне енергије. Циљ сагоревања је безбедно сагоревање запаљивих састојака, контрола непријатног мириса, контрола опасности по здравље и осталих околних утицаја.

Депонијски гас са просечним садржајем метана од 50% има доњу топлотну вредност $H_u=5\text{kWh/m}^3$, што га чини добрим горивом за погон гасних мотора специјално развијених за ову намену.

2.4. ОСНОВНЕ ФАЗЕ РАЗЛАГАЊА ОТПАДА НА ДЕПОНИЈИ

Процеси који утичу на формирање депонијског гаса су:

- ❖ бактеријско разграђивање,
- ❖ волатизација,
- ❖ хемијска реакција.

Највећи део депонијског гаса се формира помоћу бактеријског разлагања. Пошто депонијски отпад у већем делу чини отпад органског порекла, бактерије које су присутне на депонији разграђују органски отпад. Његова разградња се може вршити у четири основне фазе, тако да се састав депонијског гаса мења. [4].

Аеробна фаза - Аеробна разградња (компостирање) је процес разградње органских састојака отпада (хране) помоћу микро-организама у окружењу кисеоника. Нуспродукт овог процеса је угљен-диоксид. На почетку овог процеса је присутност азота у размери 20% кисеоника - 80% азота, али она опада како се депонија даље креће кроз фазе разградње отпада. Ова фаза се одвија све док се присутан кисеоник не потроши, а може да траје данима, па чак и месецима, у зависности од тога колики је ниво кисеоника, а он се мења у зависности од тога колико је сама депонија компактна.

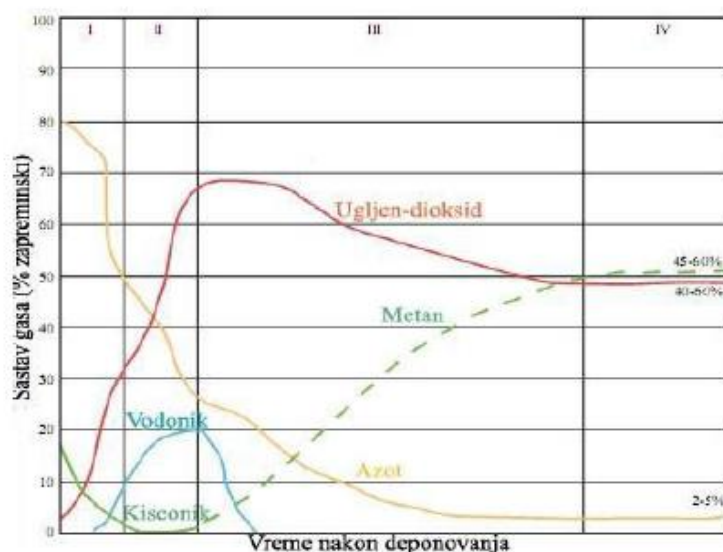
Анаеробна фаза (неметанска) - Анаеробна разградња је процес разградње органских састојака отпада помоћу анаеробних микро-организама без присутности кисеоника, уз присуство влаге. Користан нуспродукт је метан (CH_4) који се може користити као енергент. Ова фаза започиње када се искористи сав присутан кисеоник. Анаеробне бактерије претварају једињења формирана у првој фази у: сирћетну, млечну, мрављу и друге киселине и алкоhole, као што су пре свега метанол и етанол. Тада средина депоније постаје кисела, а како се киселине мешају са влагом, која је присутна у депонији, растварају се нутријенти, па су азот и фосфор доступни бактеријама. Производи који настају током овог процеса су угљен-диоксид и водоник. Следе примери претварања појединих материја у анаеробној фази:

целулоза → глукоза
протеин → аминокиселине
скроб → глукоза
масти → масне киселине

Анаеробна фаза (метанска, нестабилна фаза) - Пошто анаеробне бактерије користе киселине које су произведене у претходној фази, почињу да формирају ацетате. У овом процесу средина депоније постаје кисело неутрална, рН вредности око 7. Оваква средина одговара метану, односно производњи метана. Метанске и киселинске бактерије међусобно су повезане на одређен начин. Метанске бактерије се хране угљен-диоксиdom и ацетатом, што је за киселинске бактерије веома токсично. Ова фаза може трајати и до 180 дана.

Анаеробна фаза (метанска, стабилна фаза) - Састав и производња депонијског гаса су релативно константни. Садржај депонијског гаса је тада 45-60% метана, 40-60%

угљен-диоксидаи 2-9% осталих гасова. Гас се константно производи око 20 година, а емитовање гасова се може остварити и након 50 година. Продукција гаса може трајати и дуже ако су присутне велике количине органског отпада.

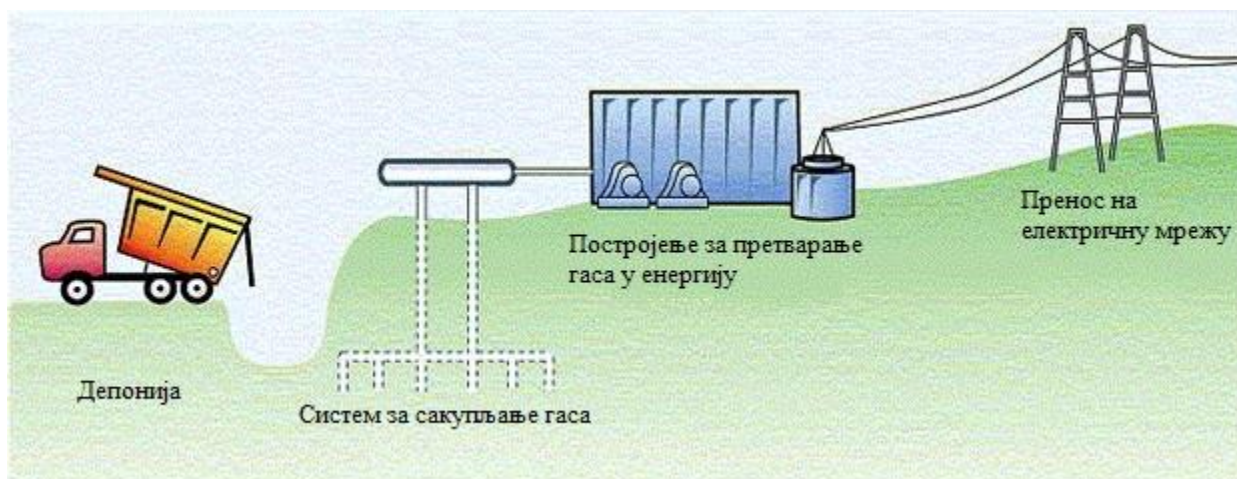


Слика 2.1 - Однос састава гаса и времена депоновања отпада

2.5. ТЕХНОЛОГИЈА САКУПЉАЊА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

Свако постројење за издвајање енергије из гаса састоји се од три основна система који су приказани на слици 2.2, и то су:

1. систем за сакупљање (екстракцију) гаса (непосредно на депонији)
2. систем за процесирање (третман) гаса
3. систем за конверзију гаса (генерисање енергије)



Слика 2.2 - Систем за прикупљање, третман и претварање гаса у енергију

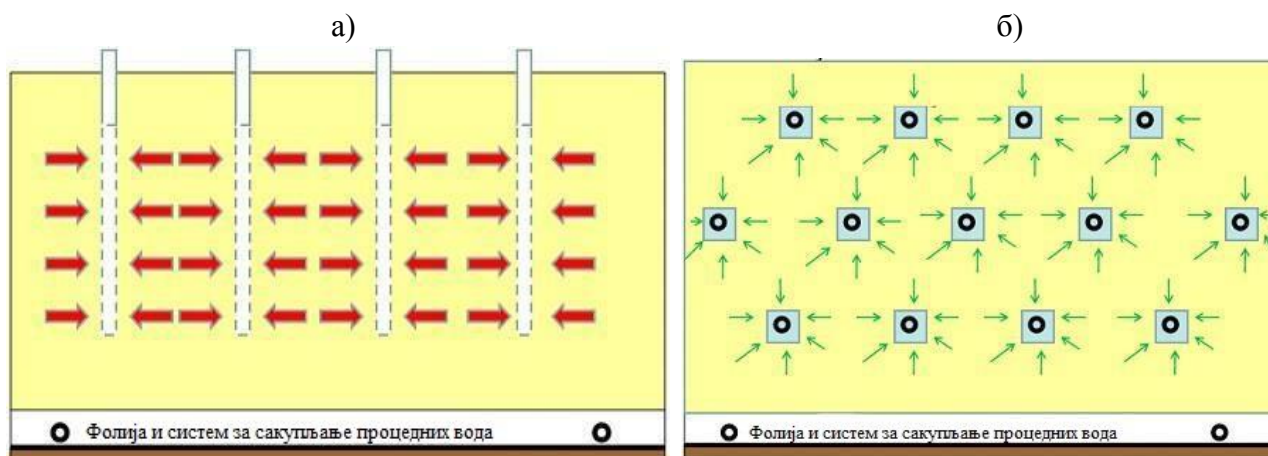
2.5.1. Екстракција депонијског гаса

Екстракциони систем је тзв. „сплит систем“, што значи да се метан може користити као енергент или се може спалити. Разлог за ово је потреба да се у одређеним ситуацијама вишак произведеног гаса спаљује.

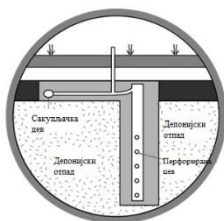
Системе за сакупљање депонијског гаса је могуће поделити на два основна типа:

- Вертикалне бушотине или бунаре,
- Хоризонталне канале или ровове.

Систем вертикалних бунара (слика 2.3 а) је најчешће коришћен систем. Састоји се од избушених бунара (слика 2.4) пречника (0,6-0,9) m. Понекад се користе и бунари мањих пречника (0,3-0,45) m. Цевоводи су пречика (0,05-0,2) m (обично од поливинил хлорида (PVC), или полиетилена (HDPE)). Смештени су у бушотине које су попуњене каменом пречника од 3 cm или више. Цеви су перфориране у нижим областима, где се скупља депонијски гас, док се цеви пуног профила користе близу површине, да би спречиле улазак ваздуха.



Слика 2.3 - а) Вертикални систем б) Хоризонтални систем

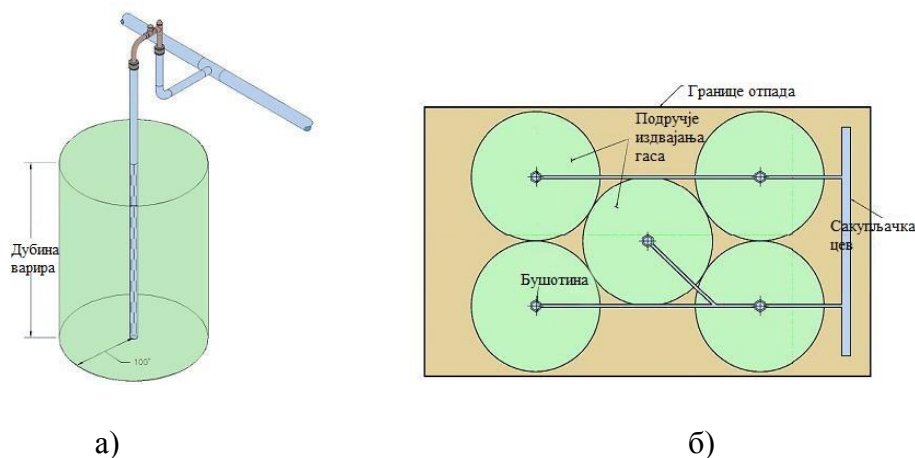


Слика 2.4 - Вертикални бунар

Обично је дубина бунара (7-22) m (слика 2.5 а), а могу бити и преко 30 m, зависно од дубине депоније. Буше се обично до дубине течне фазе у депонији или до приближно 75% дубине депоније. Бушење мора бити пажљиво, да би се избегао додир са дном депоније. Величина простора између бунара зависи од карактеристика депоније (нпр. дубине депоније, типа и компактности отпада, прекривног материјала итд) (слика 2.5 б). Обично је међусобни размак (15-90) m [EPA, 1991].

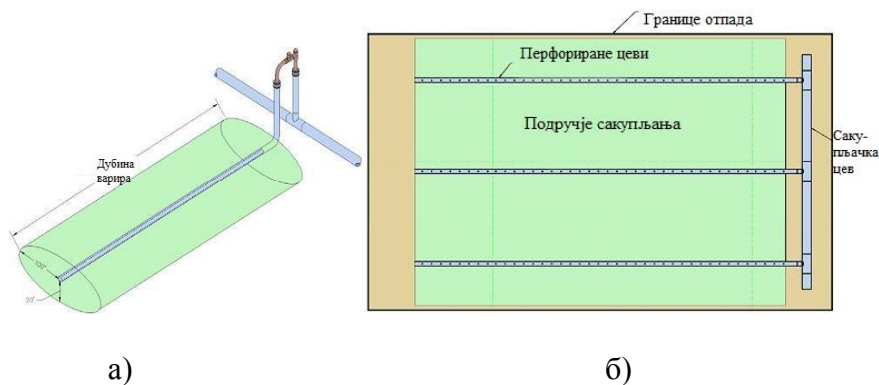
Бунари су повезани мрежом цевовода, који воде до цеви већег пречника, а оне до станица за обраду и конверзију гаса. Вертикални систем бунара користи вентилатор или

компресор и помоћу подпритиска извлачи депонијски гас из депоније кроз систем ценовода.



а) б)
Слика 2.5 - а) Бушотина б) Просторни распоред бушотина

Систем хоризонталних канала (слика 2.6 а) може се инсталирати уместо, или у комбинацији са бунарима за сакупљање депонијског гаса. Ископани канали су слични каналима за ценовод и испуњени су пропустљивим шљунком. Цеви са рупичастим прорезима или наизменичним рупицама су постављене у канале. На врху канала се поставља отпад (слика 2.6 б).



а) б)
Слика 2.6 - а) Канал (ров) б) Просторни распоред канала

Хоризонтални канали су јефтинији од вертикалних бунара и посебно су погодни за инсталирање у површине у којима је активно пуњење отпада. На овај начин је лакше обављати екстракцију одмах након почетка његове продукције, а гас се може извлачити пре затварања и покривања депоније.

Без обзира да ли се користе бунари или канали, све цеви из бушотина су ценоводом повезане са главном хоризонталном цеву у коју се гас доводи и која транспортује гас даље до система за процесирање гаса. Након одвајања кондензата (слика 2.7 б), депонијски гас може проћи кроз више различитих нивоа додатног пречишћавања, али то у сваком случају зависи од планиране употребе депонијског гаса.



а)

б)

Слика 2.7 - а) Вентилатор за извлачење гаса б) Сакупљач кондензата

Екстракција гаса из депоније обавља се уз помоћу компресора (слика 2.7 а), који помоћу притиска преко цевовода спроводе гас до постројења за третирање и коришћење. Гасни компресор је типа вентилатора и има максимални капацитет од $550 \text{ m}^3/\text{h}$, при притиску усисавања од 50 mbar.

Постоји неколико различитих начина за повезивање појединачних бушотина са пумпом и системом за коришћење. Најстарији, а вероватно и најзаступљенији начин је повезивање бушотина с главном сакупљачком цеви, која је најчешће постављена на средини депоније.

2.5.2. Систем за обраду гаса

После сакупљања гаса, а пре његове конверзије, он мора бити третиран ради уклањања кондензата, честица и осталих нечистоћа. Кондензат се формира хлађењем топлог депонијског гаса при проласку кроз систем цевовода за сакупљање. Ако се кондензат не отклони, може блокирати овај систем и онемогућити коришћење гаса. Третман зависи од касније употребе депонијског гаса. Минималан третман је потребан за директно коришћење гаса у гасним котловима, пећима и сушарама. Систем (слика 2.7) обично садржи низ филтера за уклањање састојака који могу оштетити делове мотора и турбине и смањити ефикасност система. Скупљи третмани су потребни за добијање квалитетнијег гаса који одлази у цевоводе природног гаса или производњу алтернативних горива.

Систем садржи процесну опрему за компресовање, филтрирање и анализирање гаса издвојеног из депоније, а направљен је као стандардни контејнер. Подељен је на два дела: контролну и компресорску просторију. У контролној просторији се врши контрола и надгледање инсталације, укључујући анализе, контроле квалитета и количине гаса из сваког појединачног бунара. Компресорска просторија садржи процесну опрему као контролне вентиле, филтере гаса и заустављач пламена, компресор гаса, хладњак гаса, детекторе гаса, панел са анализама гаса, мерач протока гаса, контролни компресор ваздуха.

Третман гаса се састоји из примарног и секундарног третмана гаса. Примарни третман се односи на филтрирање и исушивање гаса (због отклањања честица и влаге). Отклањање влаге се врши хлађењем и сабијањем гаса. Секундарним третманима се врши много боље пречишћавање него примарним. Најчешће коришћене технологије секундарне обраде су адсорпција и абсорпција.



Слика 2.8 - Систем за процесирање гаса

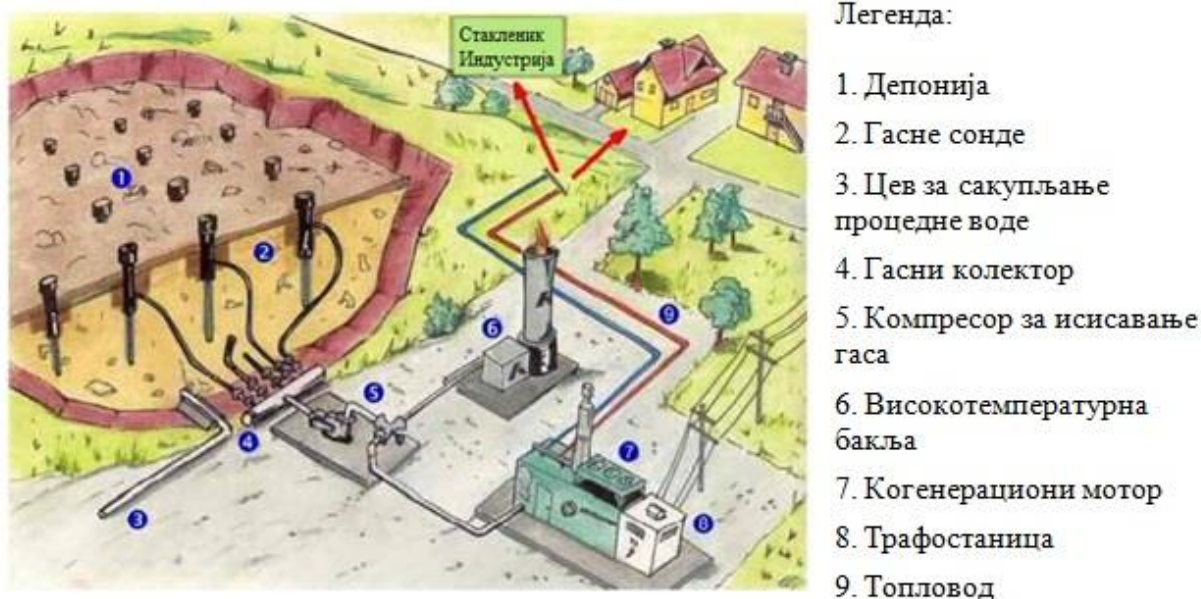
2.5.3. Систем за конверзију гаса

Неки пасивни системи вентилације једноставно испуштају сакупљени депонијски гас у атмосферу, без икаквог претходног третмана. Депонијски гас се чешће контролише и третира, из сигурносних и здравствених разлога. Уобичајене методе третирања депонијског гаса се могу поделити на технологије са сагоревањем, технологије без сагоревања депонијског гаса, као и технологије контроле непријатног мириса.

Најчешће коришћене технологије сагоревања су: сагоревање на бакљи, у инсинераторима, котловима, процесним грејачима, гасним турбинама и моторима с унутрашњим сагоревањем. Сагоревањем се постиже уништавање преко 98% органских састојака, метан прелази у угљен-диоксид, резултирајући великом редукцијом гасова стаклене баште. Сагоревање на бакљи је најјефикасније, када депонијски гас садржи најмање 20 запреминских % метана. При овој концентрацији метан лако образује запаљиву смешу са околним ваздухом, па је потребан само извор паљења. На депонијама са мање од 20 запреминских % метана, за рад је неопходно је додатно гориво (нпр. природан гас), што повећава трошкове. Постоје два типа бакљи: отворене и затворене.

Главна намена постројења на депонијски гас је производња електричне енергије, топлотне енергије, као и мешовите (когенерационе) производње. Врло је мала разлика између оваквог постројења и класичне електране која користи природни гас или дизел гориво. То значи да свако класично постројење за производњу енергије, уз мале преправке може да користи депонијски гас за генерисање енергије.

На слици 2.9, приказана је једна добро одржавана депонија са начином искоришћења депонијског гаса.



Слика 2.9 - Депонија са системом за издвајање и коришћење депонијског гаса

2.6. ПРОЦЕС ФОРМИРАЊА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

Разлагање комуналног отпада на месту депоновања може се посматрати кроз:

- ❖ физичку деградацију (трансформација комуналног отпада који са собом повлачи и промену физичких карактеристика самог отпада као и смањење запремине),
- ❖ хемијску деградацију (низ реакција различитих супстанци које сачињавају отпад, квалитет процедних вода, тј. рН вредности),
- ❖ биолошку деградацију (трансформација материја под дејством микроорганизама).

Највећи део депонијског гаса се формира под дејством биолошког разлагања помоћу бактерија које су саме по својој природи присутне на депонији, као и оних које су по својој природи присутне у земљишту на којем се налази депонија. Комунални отпад у већем делу чини отпад органског порекла. Бактерије врше разградњу тог отпада. Депонијски гас се може производити и када одређене врсте отпада промене стање из течног у гасовито или чврсто.

Фактори који утичу на процес формирања депонијског гаса

На процес депонијског гаса утиче доста фактора, а најважнији су карактер отпада, кисеоник, влажност и температура.

Карактер отпада

Дејством бактерија генерише се депонијски гас. Количина генерисаног депонијског гаса зависи од количине органског отпада на депонији. Када је већи проценат органског отпада већа је и количина генерисаног гаса. Одређене врсте органског отпада садрже велике количине хранљивих састојака: натријум, калијум,

калцијум, магнезијум. То омогућава већу активност бактерија, а самим тим и количину генерисаног гаса. Одређене врсте депонија садрже једињења која негативно утичу на активност бактерија, смањујући генерисање гаса.

Кисеоник

Производња метана започиње када сав кисеоник нестане. Што је више кисеоника, аеробне бактерије дуже разлажу отпад. Ако је отпад делимично покривен слојем земље, присутна је већа количина кисеоника, тако да аеробне бактерије дуже живе и дужи је период производње угљен-диоксида и воде. А ако је отпад компактан, производња метана почиње раније, чим анаеробне замене аеробне бактерије. Промена атмосферског притиска утиче на количину кисеоника на депонији. Ова могућност постоји на мањим дубинама.

Влажност

Присуство одређене количине воде на депонији повећава производњу гаса, а влага подстиче развој бактерија и транспорт хранљивих састојака на све делове депоније. Влага од 40%, доводи до максималне производње гаса. Већа количина падавина доводи до веће производње гаса.

Температура

Температура повећава бактеријску активност, а као последица тога је већа производња гаса. Ниске температуре до 10 степени доводе до смањења активности бактерија. Временске промене такође имају значајан утицај на активност бактерија. Бактерије немају способност да буду изоловане у односу на промене температуре када су у питању депоније плитких слојева, за разлику о депонија са дебелим слојем земљишта. Стабилна температура депоније је између 25 и 45 степени, а на неким депонијама је регистрована температура и до 70 степени.

2.7. УТИЦАЈ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ЖИВОТНУ СРЕДИНУ

Депонијски гас је веома опасан за човекову околину, како за здравље живих бића, тако и за инфраструктурне објекте који се налазе у непосредној близини депоније. Метан који се налази у саставу депонијског гаса је често врло запаљив. По свом дејству метан је око 20 пута опаснији за озонски омотач у односу на дејство угљен монооксида.



Слика 2.10 - Емитовање депонијског гаса и непријатног мириса

Неправилно депоновање отпада на нехигијенским депонијама доводи до загађивања земљишта и подземних вода. Падавине кроз депонијску отпадну масу растварају штетне материје које продиру у земљу и на тај начин загађују земљиште и продиру истовремено испод њене површине. Тако долази до загађења и подземних вода. Тада се загађење не задржава само на лоцираној територији, већ се путем подземних вода шири даље и на тај начин утиче на остатак флоре и фауне на ширем простору, који није у непосредној близини депоније. Загађење тла зависи и од дејства ветра који дува са депоније и разноси негативне материје по околини. Проблем јавних депонија није проблем само на локалном нивоу општине на чијој територији се налази депонија, већ је то проблем читаве земље, обзиром да постоји велики број дивљих депонија на територији Србије. Бука представља још један од негативних ефеката који долазе са депонија. Бука настаје од механизације за разношење, равњање и збијање отпада. Отпад подразумева губитак материје и енергије, али је са друге стране за његово прикупљање, депоновање и обраду потребна додатна енергија и радна снага.

Утицај депонија на људско здравље може се испољити на следеће начине:

- ❖ разношењем отпада у непосредну околину ветром, али и животињама које се на депонијама хране;
- ❖ неконтролисаним издвајањем гасовитих загађујућих материја у концентрацијама опасним по људско здравље;
- ❖ ширењем непријатних мириса;
- ❖ паљењем отпада и емисијом продуката сагоревања;
- ❖ неконтролисаним продирањем воде загађене на депонији и угрожавањем бунара и водотока у широј околини.

Да би елиминисали негативне последице дејства депонијског гаса у смислу његовог неконтролисаног ширења, неопходно је извршити његово планско сакупљање и усмеравање ка адекватном правцу његовог сагоревања. То се може постићи поштовањем начела законске регулативе. Да би се ова начела формирала, неопходно је прикупити све неопходне податке у упитнику о депонијама.

Упитник о депонијама обухвата:

1. Основне податке о општини и служби која управља депонијом;
2. Основне податке о депонији - локацији, геометрији, механизацији, удаљености депоније од различитих објеката;
3. Податке о опремљености депоније
4. Податке о облицима заштите животне средине који се примењују на депонији;
5. Податке о физичкој заштити депоније
6. Податке о облицима отпадног материјала и начинима прераде отпада на депонији;
7. Податке о врстама отпадног материјала који се одлаже на депонији;
8. Податке о присуству дима;
9. Податке о повезаности депоније са водотоковима;
10. Податке о статусу оперативности и дозвола;
11. Податке о мониторингу животне средине и
12. Податке о сакупљачу, превознику и обрађивачу отпада.

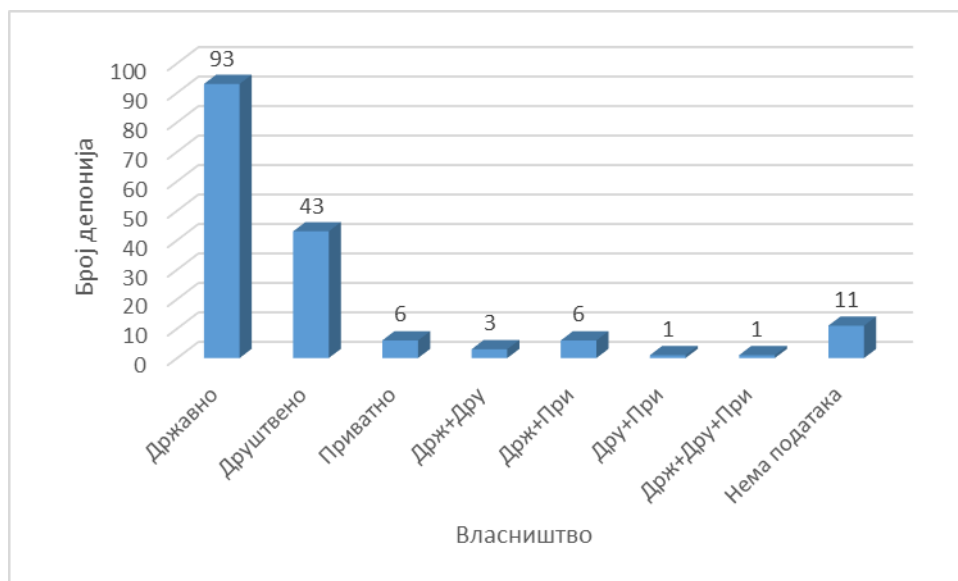
Упитник о старим и дивљим депонијама је нешто краћи и садржи следеће податке о:

1. Општини и служби која управља депонијом;
2. Депонији - локацији, геометрији, удаљености депоније од различитих Објеката, приступачности;
3. Врстама отпадног материјала који се одлаже на депонији;
4. Присуству дима;
5. Повезаности депоније са водотоковима.

Ови подаци треба да послуже као основа за одређивање утицаја депоније на животну средину, као и за утврђивање приоритета у решавању проблема загађивања животне средине.

2.8. ПОДАЦИ О ДЕПОНИЈАМА НА ТЕРИТОРИЈИ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Према добијеним подацима [12] , на простору Републике Србије лоциране су 164 депоније које користе општинска јавно-комунална предузећа за одлагање отпада. Земљиште на којем се депоније налазе је најчешће власништво државе или друштвено, односно, власништво је неког предузећа. Детаљнији подаци о власништву депонија приказани су на слици 2.11.

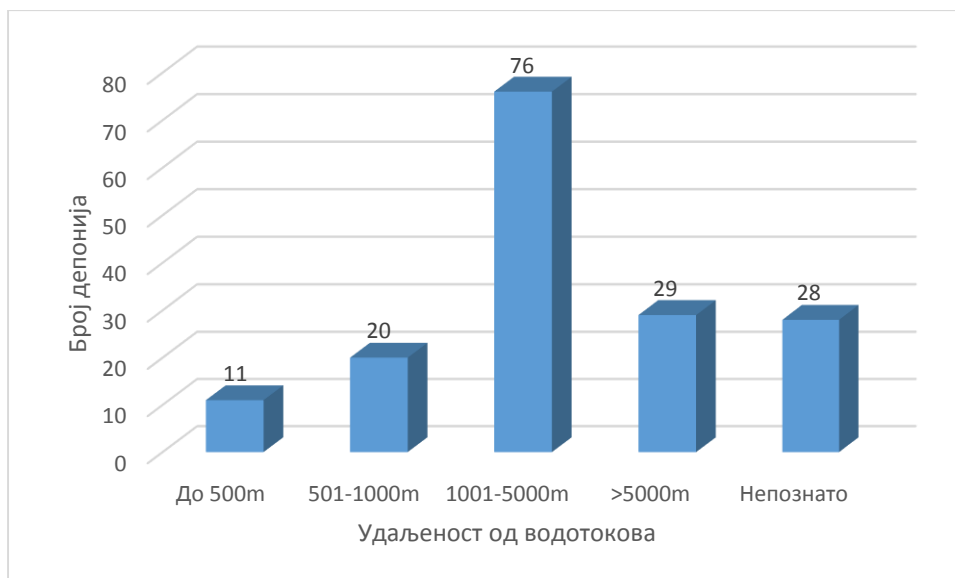


Слика 2.11 - Број депонија према власништву

Подаци о димензијама и запремини тела депонија нису поуздани, јер су тражене величине већином процењене, јер за многе од њих не постоји одговарајућа техничка документација. Прекривање отпада се врши на 117 депонија, односно 72% и то најчешће земљом или неким другим инертним материјалом. На 15 депонија се прекривање врши свакодневно, на једној месечно, а на 101 по потреби. Највећи број општина има механизацију и возила за прикупљање отпада, при чему се користе најразличитије врсте возила од специјалних рото преса утоваривача смећа и аутоподизача за велике контејнере, па све до обичних камиона и трактора са приколицом. Може се рећи да је недостатак одговарајуће опреме за прикупљање у великом броју општина значајан. Слична ситуација је и са механизацијом која се користи на самим депонијама. За разгртање, равнање и збијање отпада најчешће се користе булдожери, док се на 10 депонија за сабијање отпада користе компактори. На више депонија се механизација повремено услужно изнајмљује.

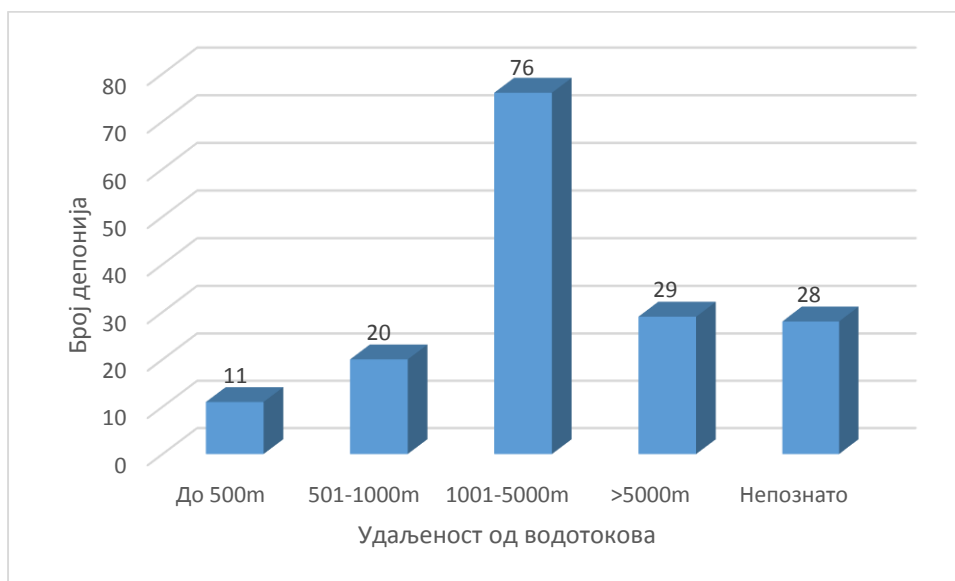


Слика 2.12 - Депонија делимично прекривена земљом



Слика 2.13 - Удаљеност депонија од изворишта водоснабдевања

Од укупног броја депонија, 12 депонија се налази на удаљености мањој од 100 m од насеља. Овакви подаци говоре о угрожености становништва од загађења која се емитују са депоније, али и о могућим појавама болести које преносе мишеви, пацови и друге животиње које су стални становници депонија.



Слика 2.14 - Удаљеност депонија од насеља

Податке о удаљености депонија од заштићених природних добара и споменика културе пријавиле су само 63 општине. Подаци о опремљености депонија обухватају податке о инфраструктурним системима, уређајима и објектима који су у функцији ефикаснијег управљања депонијом.

2.9. БИОГАС

Биогас представља мешавину гасова чију запремину чине: око две трећине метан (CH_4), једну трећину угљен-диоксид (CO_2). Осим наведених, запремину биогаса чине и други гасови, али у мањим количинама.

Табела 2.3 - Састав биогаса

Састојак	Хемијски симбол	Запремински удео, %
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	20 – 20000*

Биогас настаје микробиолошким процесом без присуства кисеоника. Услед недостатка кисеоника бактерије разграђују органске материје, а као производ од овог процеса настаје биогас. Поред биогаса настају још и топлота и остатак од процеса ферментације. Пошто метан представља највећи део запремине биогаса, а представља гориви, запаљиви гас, његова производња и коришћење у енергетске сврхе представља приоритет.

2.9.1. Процес производње биогаса

Процес производње биогаса одвија се у четири стандардне фазе и то:

1) Фаза 1- Хидролиза

У овој фази долази до разградње органских материја под дејством биохемијских процеса и ослобађају се ензими бактерија, при чему долази до разлагања сложенијих органских једињења, као што су: протеини, масти, угљенихидрати..., на једноставнија једињења, као што су: аминокиселине, прости шећер и др.

2) Фаза 2- Киселинска фаза

У другој, односно киселинској фази, долази до разградње резултата хидролизе и тада настају: ацетат, угљен-диоксид и водоник, у већој мери.

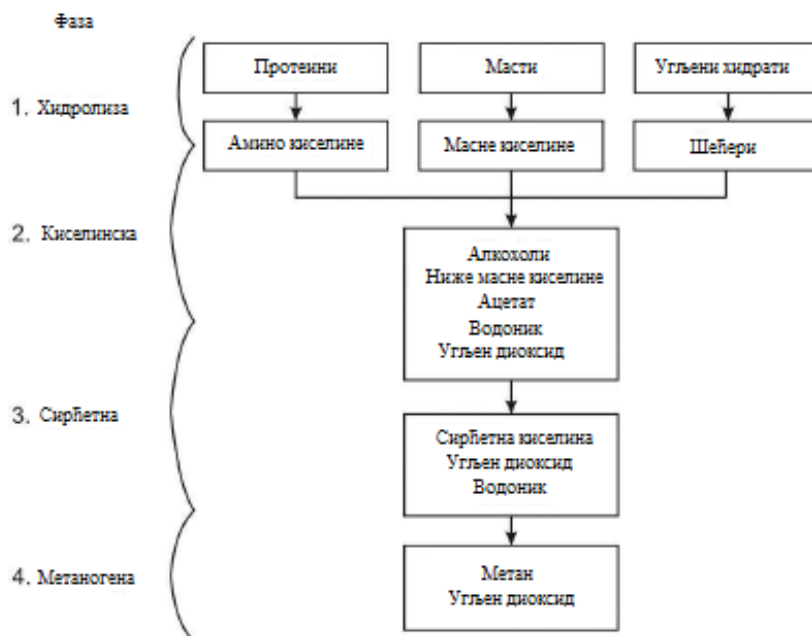
3) Фаза 3- Сирћетна фаза

У сирћетној фази долази до разлагања једноставних једињења: масних киселина и алкохола и на тај начин се стварају: сирћетна киселина, водоник, угљен-диоксид.

4) Фаза 4- Метаногена фаза

У четвртој, завршној фази, настаје метан и то из сирћетне киселине или водоника и угљен-диоксида.

Наведене четири фазе се могу и графички приказати на следећи начин:



Слика 2.15 - Фазе производње биогаза

Приликом процеса производње биогаза морају се поштовати технички и биохемијски аспекти.

- ❖ **Технички** аспект – биогаз мора бити увек приближно истог састава.
- ❖ **Биохемијски** аспект – подразумева приближно исти састав и количину продукта све четири наведене фазе. То може да буде кључни елемент у развоју постројења за производњу биогаза.

Опрема за производњу биогаза

Под овим се подразумева опрема за складиштење, припрему и манипулацију супстрата, опрема у којој се производи и складишти биогаз, и складиште за остатак ферментације. На савременим постројењима, ова опрема подразумева потпуну аутоматизацију погона. То подразумева и опрему за контролу и управљење процесом, осим оних за примену тј. за енергетско коришћење произведеног биогаза. Ова опрема је разноврсна, а варијанте њиховог комбиновања су велике. Биогаз постројења зависе од врсте и карактеристика коришћених супстрата.

Складиштење

Опрема која се користи за складиштење супстрата, припрему и манипулацију је различита за чврсте и течне супstrate. У чврсте супstrate спадају разне врсте силаже или отпади прехрабене индустрије, а који се складиште у транч силосима, након силирања.

Припрема силаже се састоји од сабијања и покривања фолијом како би се спречила оксидација, а самим тим и аеробно разлагање органске материје, јер се на тај начин смањује потенцијални принос биогаса из супстрата. Из ових силоса се бар једном дневно тракторима или телехендлерима силажа убацује у дозер за чврсте супstrate, која се системом са пужним транспортером убацује у ферментор.



Слика 2.16 - Ферментори чврстог супстрата

У течне супstrate убрајају се стајњаки отпадне воде са знатним садржајем органских материја, који се убацују у резервоар чија је запремина довољна да прими једнонедељну количину течног супстрата, који се касније убацује у ферментор. Резервоари се најчешће праве од бетона, и постављају се у земљу да не би заузимали много простора. Са удаљеног места до биогас постројења, супстрати се транспортују цистернама, а ако су релативно близу, онда се транспортују цевоводима и електромоторним пумпама.



Слика 2.17 - Резервоар за течни супстрат

2.9.2. Резервоари за биогас

Резервоар и за складиштење биогаса морају бити херметички затворени, отпорни на повишену температуру, притисак, UV зрачење и временске утицаје. На њима се уграђују и системи за осигурање од надпритиска и потпритиска. Они се димензионишу тако да имају капацитет довољан за складиштење минимум четвртине дневне производње биогаса. Циљ је да когенеративно постројење ради увек истом снагом и због тога је неопходно да се произведени биогас складишти у тим резервоарима.



Слика 2.18 - Гасна хауба изнад ферментора



Слика 2.19 - Ваздушни јастук са мембраном

Резервоари средњег и високог притиска израђују се од челика, а биогас је на притиску од 5 до 250 bar. Основни разлог што се овакви резервоари не користе на пољопривредним биогас постројењима су високи трошкови одржавања, а самим тим је и складиштење скуп. Потрошња електричне енергије за складиштење гаса притиска до 10bar је $0,22 \text{ kWh/m}^3$, а за високе притиске 200 – 300 bar је $0,31 \text{ kWh/m}^3$. Други начин складиштења вишка биогаса подразумева инсталирање две мање когенеративне јединице које замењују рад једне веће. У случају да је један мотор у квару, сагоревање биогаса се врши у другом.

2.9.3. Остаци ферментације и њихова примена

Најчешће се користе бетонски резервоари, а понекад и изоловане лагуне. У њима се остатак ферментације привремено складишти на временски период од пола године до годину дана, до тренутка када су повољне временске прилике за његово коришћење као

пољопривредног ђубрива. Стабилност процеса анаеробне ферментације постиже се редовним лабораторијским анализама и мерењем параметара процеса. Неки од параметара су: врста и количина убачених супстрата, просечна температура, рН вредност, количина и састав биогаза. Процес аутоматизације биогаз постројења се све више користи и развија. У ферменторима биогаз постројења део чврсте и течне масе супстрата трансформише се у биогаз, а остатак се мора збринути на одговарајући начин. Најбоље решење је да се овај нуспроизвод искористи и да се од њега остваре приходи или уштеди на фарми.

2.9.4. Неопходни елементи за производњу биогаза

За производњу биогаза битно је анализирати и карактеристике потенцијалних супстрата. Ово је веома значајно за инвеститора који треба да размотри величину потенцијалног постројења за производњу биогаза. Потенцијални принос биогаза приказује се у тонама свеже, суве или органски суве масе супстрата, па је зато веома значајно познавати његов садржај. Најповољнији супстрат је чврсти или течни стајњак, јер се користи са сопствене фарме и самим тим је бесплатан. А ако се доноси са друге фарме треба предвидети трошкове транспорта. Од осталих супстрата, најчешће се користи пољопривредна биомаса, силажа више биљних врста. Највећи потенцијал за производњу биогаза има силажа кукуруза. Нпр. од једне тоне силаже кукуруза добија се 350-400 kW/h. Ово се односи на когенеративна постројења са мотором СУС. Један хектар силаже кукуруза, за приносе 40 до 50 t/ha, обезбеђује сирову електричну снагу од 2 - 2,5 kW, тако да би за постројење номиналне снаге 500 kW, било потребно 200 до 250 ha за производњу силаже кукуруза.

2.10. КОГЕНЕРАЦИЈА

2.10.1. Појам когенерације

Когенерација представља производњу електричне енергије са истовременим коришћењем отпадне топлоте, која се иначе губи у индустријским процесима. Принципи когенерације познати су већ дуже време, а технологија се побољшава и развија већ годинама. Данас модерни когенерациони системи постижу ефикасност и до 90%. Когенерација нуди велику флексибилност; најчешће постоји комбинација постројења и горива која задовољава већину индивидуалних захтева. Когенерација није карактеристична само за велике системе, термоелектране, већ се може применити у малим и средњим предузећима и домаћинствима.

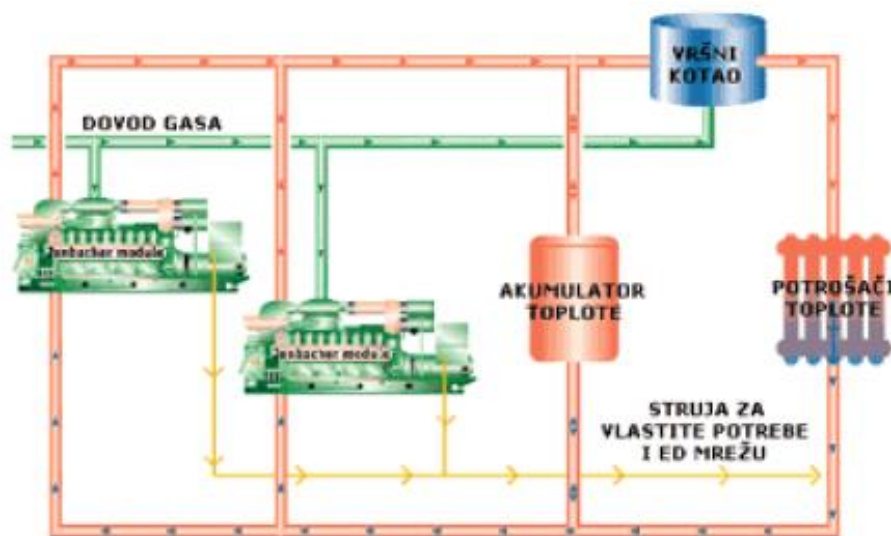
Микро-когенерацијски уређаји се базирају на гасном мотору са воденим хлађењем и производе 5kW електричне енергије. Прикључивањем на систем топле воде, укључујући и грејање, могуће је искористити још 13 kW топлотне енергије за загревање воде и простора. Уштеда енергије на овај начин је од 20-40 %, а самим тим се скраћује период отплате инвестиција. Когенерација користи отпадну топлоту која настаје приликом процеса добијања електричне енергије, чиме се спречава њено испуштање у атмосферу. Приликом конвенционалних начина добијања електричне енергије губи се око две трећине енергетског уноса, а когенерацијом се може искористити већина те одбачене енергије. [15]

2.10.2. Когенерациони модул

Под појмом когенерациони модул подразумева се енергетска јединица која истовремено производи електричну и топлотну енергију.

Когенерациони модул се састоји од следећих делова:

- ❖ Гасни мотор са унутрашњим сагоревањем,
- ❖ Генератор наизменичне струје,
- ❖ Размењивач топлоте за расхладну воду мотора, уља за подмазивање гасне смеше и издувних гасова,
- ❖ разводни, управљачки и енергетски ормани са аутоматиком за синхронизацију и паралелан рад са нисконапонском електричном мрежом.



Слика 2.20 - Шема постројења за когенерацију

За грејање пословних објеката користи се топлота која се добија хлађењем мотора, уља за подмазивање, гасне смеше и издувних гасова. Ова топлота се одводи секундарним кругом воде температуре 70-90 °С. Постоје и други температурни нивои према конкретним потребама, као што су: производња паре, топлог ваздуха или расхладне енергије преко апсорпционих расхладних машина. Ниско напонској мрежи (0,4 kW), предаје се произведена електрична енергија за напајање властитих потрошача, чиме се повећава инсталисана снага објекта уз постојећу трафостаницу. Когенерациони модули обезбеђују:

- ❖ сигуран напон и фреквенцију,
- ❖ напајање струјом у доба више тарифе,
- ❖ напајање у случају нестанка ЕД мреже.

Целокупна количина произведене струје може се продавати ЕД мрежи по повлашћеној цени и куповати потребне количине струје по стандардној цени.

2.10.3. Процеси пречишћавања гаса за потребе когенерације

Пречишћавање биогаза

Биогас је потребно пречистити и уклонити непожељне састојке који имају негативан утицај на животну средину, или штетне састојке који оштећују биогаз постројења. Пожељно је произвести биогаз са што већим уделом метана, јер је он једини гориви састојак значајног запреминског удела (50-70%). Са енергетског и економског аспекта, квалитет биогаза утиче на висину трошкова, а потребан квалитет зависи од технологије за енергетску примену.

Десумпоризација

Одлучујући параметри за поступак десумпоризације су састав и проток биогаза који се пречишћава. Поступци десумпоризације се деле на:

- ❖ биолошке (у ферментор се удувава одређена количина амбијенталног ваздуха, 3-5% запремине биогаза),
- ❖ хемијске (у ферментор се додаје супстанца хлорида гвожђа),
- ❖ физичке.

Од наведених поступака, најчешће се користе биолошка и хемијска десумпоризација.

Сушење

Најједноставнији начин уклањања водене паре из биогаза је његовим хлађењем или регулацијом притиска. Тиме се спречава оштећење делова постројења, јер је онемогућено замрзавање воде у инсталацијама и њихова корозија. Потребно је располагати довољно дугачком трасом гасовода како би било довољно времена да се биогаз охлади. Цев улази у земљу која је лети довољно хладна да осигура кондензацију, а зими је температура изнад нуле чиме се спречава замрзавање. Кондензација се одвија у најнижој тачки у којој се поставља и одвајач кондензата. Он се мора повремено празнити. Са кондензатом се одвајају и још неке непожељне супстанце као што су аеросоли и растворени гасови. У појединим постројењима сушење се обавља применом електричног хладњака на температурама испод 10°C, при чему се постиже значајнија ефикасност одвајања влаге.

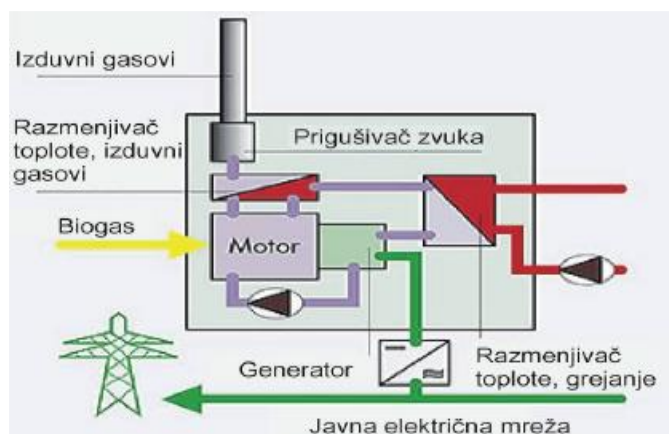
Уклањање CO₂

Овај третман се примењује код технологија код којих је битно да се повећа топлотна моћ биогаза. Угљен-диоксид је инертан приликом сагоревања биогаза и нема значајан утицај на околину. Из биогаза се уклања CO₂, и он се пречишћава све до нивоа када у њему преостаје скоро само метан, тј. гас који чини већину запремине природног гаса. То је важно јер ако се утискује у мрежу природног гаса, може тачно да се дефинише количина испоручене енергије коришћене у когенерацији.

Како се остварује когенерација?

Треба направити разлику између ранијих и савремених СУС мотора. У ранијим СУС моторима, једна трећина примарне енергије се трансформише у механичку, једна трећина у топлотну енергију расхладне течности, а једна трећина садржи продукте сагоревања. Савремени СУС мотори имају степен искоришћења преко 40%, али је и тада на располагању велика количина топлотне енергије. Когенерација се остварује искоришћењем топлотне енергије расхладне течности и продукта сагоревања. Топлотна енергија која се добија из расхладне течности је на ниском температурном нивоу и може да се искористи за загревање воде до око 90 °C, а може се употребити за грејање ферментора или оближњих радних и стамбених просторија. Температуре продукта сагоревања су 460-550 °C и може се искористити за производњу технолошке паре.

За искоришћавање топлотне енергије расхладне течности и продукта сагоревања неопходни су одговарајући размењивачи топлоте и контролно управљачки склопови који су саставни делови опреме.



Слика 2.21 - Постројење за когенерацију са прикључком на електричну мрежу

2.10.4 Гасни Otto мотори

Гасни Otto мотори су развијени специјално за коришћење биогаса. Да би се смањила емисија непожељних продуката, ови мотори раде са високим коефицијентом вишка ваздуха. Подешени су да раде са минималним запреминским уделом метана у биогасу од 45%, а ако метан падне испод ове вредности, аутоматски се искључују. Примена је могућа на свим, али исплатива за већа биогас постојења.

Предности:

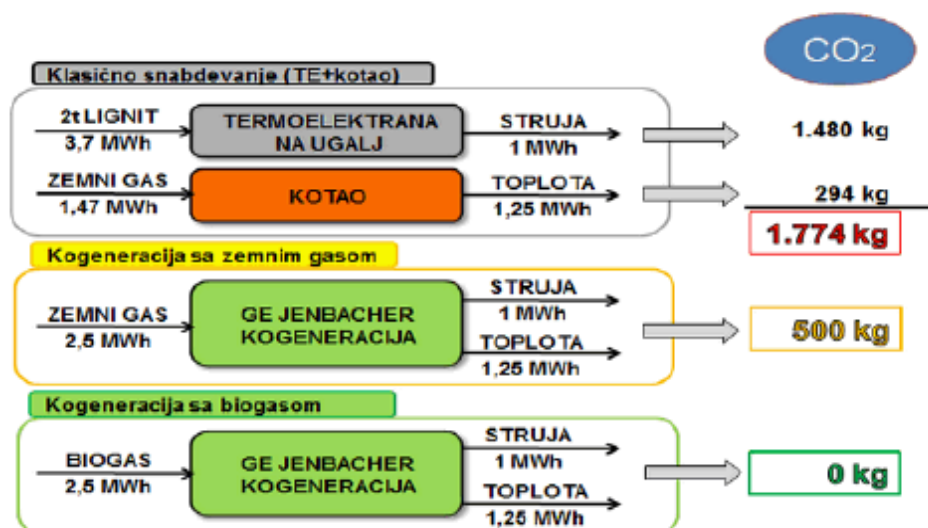
- ❖ специјално конструисани за коришћење биогаса,
- ❖ емисија испод граничне вредности,
- ❖ мања потреба за одржавањем,
- ❖ укупни степен корисности је већи него за дизел моторе са иницијалним паљењем.

Недостаци:

- ❖ виши инвестициони трошкови, него за дизел моторе са иницијалним паљењем,
- ❖ за мање снаге имају ниже електричне степене корисности, него за дизел моторе са иницијалним паљењем.

2.10.4. Поређење технологија

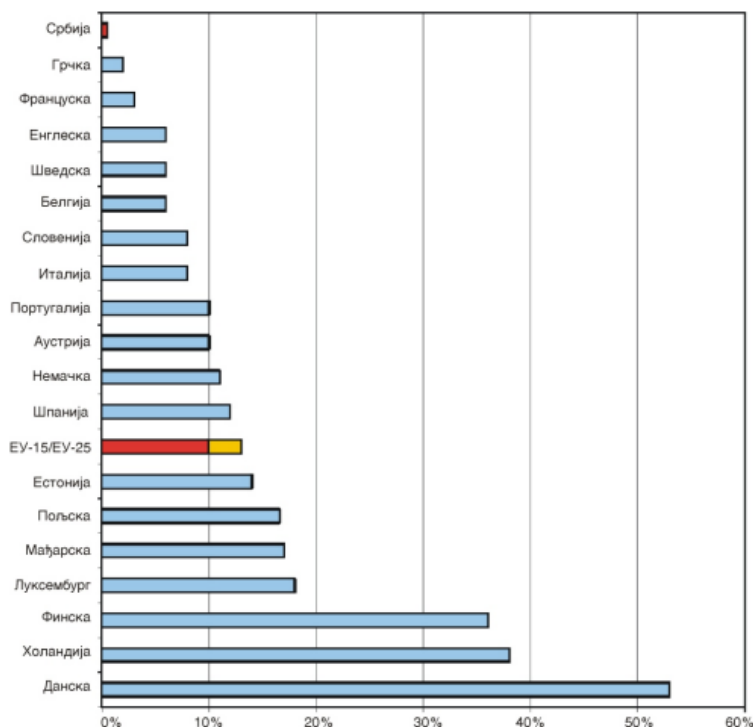
Системом за појединачну производњу електричне и топлотне енергије одређује се ефикасност когенерације. Референтни систем је постојећи систем одвојене производње електричне енергије у електрани на угљ и топлотне енергије из котлова на земни гас, а којим се умањује ефикасност производње за висину губитка у преносној и дистрибутивној мрежи до крајњег корисника.



Слика 2.25 - Поређење технологије

2.10.6 Процес когенерације у Европи и начин примене на националном ниво

Либерализација тржишта са становишта цене електричне енергије доводи процес когенерације у тежак положај. Когенерација има велики значај у повећању енергетске ефикасности, а самим тим се јавља потреба за посебним приступом када је у питању когенерацијска производња. Европска регулатива заговара став о повећању учешћа когенерације у укупном снабдевању електричном енергијом, али националним законодавствима даје могућност да сами одреде мере за њено регулисање. Процес когенерације у постојећим термоелектранама и топланама у укупној производњи енергије је у Србији у просеку 0,8%, а у Европској Унији 12,4%, где и даље остварује свој раст. Потенцијал когенерације у производњи топлотне и електричне енергије у Србији се у односу на земље Европе и Европску Унију могу посматрати на основу података из графика на слици 2.26, на којем је приказано стање у 2011. години



Слика 2.26 - Учешће когенерације у укупној производњи електричне енергије у Србији, у односу на Европу и Европску Унију

На нивоу Европске Уније је донета декларација за промовисање когенерације са становишта искоришћавања топлоте на интерном тржишту енергије. Тржиште разликује високу, ниску и микро когенерацију. Економска ефикасност процеса когенерације се може утврдити стављањем у однос укупне годишње производње топлотне и електричне енергије и енергије која је унета горивом. У Европској Унији постоје очекивања да ће процес когенерације у будућности утицати на смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште. Иако се когенерација дефише као процес производње топлотне и електричне енергије, постоји велики број препрека које стоје на путу њеног развоја. У земљама монополског карактера, ниска цена за куповину вишкова енергије одбија когенеративне произвођаче од учешћа у подмиривању мањкова који настају у производњи електропривредних предузећа. Са друге стране, електропривредна предузећа утврђују високе тарифе за испоруку енергије у ситуацијама када имају недостајуће количине у односу оне на потребне за испоруку, или када треба да формирају одређене резерве. Да би се остварио процес децентрализације производње електричне енергије, неопходно је смањити степен ризика који се односи на то да потрошачи у појединим ситуацијама нису у могућности да добију потребну количину топлотне и електричне енергије. Такође, потребно је смањити увоз електричне и топлотне енергије и привреде морају ићи у правцу смањења увозне зависности. То је карактеристично за привреде у којима постоји производња недовољне количине топлотне и електричне енергије, што значи да таква привреда на располагању има недовољну количину ресурса за искоришћавање. Пример овакве привреде је Србија, а оваква процедура се може сматрати великим изазовом код оваквих земаља. Ово је био разлог да се на нивоу Републике Србије донесе закон којим би се дефинисао статус произвођача електричне енергије процесом когенерације да на тржиште електричне енергије наступају под истим финансијским условима, да се мотивишу одређеним државним субвенцијама, пореским олакшицама, уз додељивање статуса повлашћеног произвођача природног гаса.

3. МЕТОДОЛОГИЈА ЗА ПРОРАЧУН ПРОДУКЦИЈЕ МЕТАНА НА ДЕПОНИЈАМА

У оквиру прорачуна емисије гасова са ефектом стаклене баште са депонија комуналног отпада, најчешће се реализује само прорачун емисије метана. Међу продуктима анаеробне декомпозиције отпада у значајној мери налази се CO_2 .

Поред квалитетних података о количинама и саставу отпада, од изузетне важности за добијање реалних резултата је избор адекватног модела стварања депонијског гаса. У великом броју теоријских и експерименталних истраживања утврђено је да се количина створеног депонијског гаса по јединици масе отпада може у великој мери разликовати, односно да се креће у опсегу од 40 m^3 до 250 m^3 по тони депонованог отпада.

3.1. ЛОКАЛНА ДЕПОНИЈА ГРАДА КРАГУЈЕВЦА И ЊЕНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

У Крагујевцу постоји депонија (слика 3.1), која се налази се у Јовановцу, 3 km североисточно од центра града, у близини реке Угљешнице. Депонија је основана 1963. године и отвореног је типа. Она прима сав сакупљен комунални чврсти отпад из општине Крагујевац, опслужујући популацију од око 185.000 становника. ЈКП наплаћује услуге коришћења депоније. Има површину од 15 ha земље, надморске висине 164 m и по географским карактеристикама може се дефинисати као равница. Количина чврстог комуналног отпада који се одлаже на депонију је процењена на 156 t/dan , са више од 50% биоразградивог отпада. До данас је око 2 милиона тона отпада депоновано, па је просечна дубина депоније 15 m [2]. Карактеристике локалне депоније Града Крагујевца су приказане у табели 3.

Табела 3.1 - Карактеристике локалне депоније

Јовановац	Карактеристике
Геометрија депоније (дужина плаца, ширина плаца, висина насута отпада)	800 m (на најдужем делу), 400 m (на најширем делу), на највећој дубини око 15m
Удаљеност од природних водотокова	Око 10 m од реке Угљешнице
Старост депоније	Око 50 година
Приступ депонији	Подигнута је на прашинасто-песковитој глини сивосмеђе боје, средње до лаке гњечивости
Инфраструктура	На депонији постоји рампа, чуварска кућица и довод електричне енергије, ПТТ прикључак и делимично су урађени бочни канали за сливање атмосферских и процедних вода

У циљу превенције настанка пожара и експлозија, планирано је постављање 89 вертикалних бушотина (лула) за вентилацију, а до сада је постављено 17. Свака бушотина покрива пречник од 30 m и гас излази из депоније на основу разлике притиска у телу депоније и атмосферског притиска.



Слика 3.1 Изглед градске депоније у Јовановцу

3.2. МОТИВИ ЗА ПРОРАЧУНАВАЊЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

Најбитнији мотив за прорачунавање депонијског гаса је глобално загревање Земље, у коме депонијски гас игра веома битну улогу. Такође, у време енергетске кризе, депонијски гас представља енергент који може бити од изузетног значаја како за Србију тако и за цео свет. Захваљујући гасовима који стварају ефекат стаклене баште, температура на Земљи је промењена и у просеку износи око 15 °C, што је за око 3,4 °C више него што би било без ефекта стаклене баште.

Основни гасови који стварају ефекат стаклене баште су угљен диоксид (CO_2), метан (CH_4), азот субоксид (N_2O), водена пара (H_2O) и озон (O_3). Поред побројаних гасова, по свом значају издвајају се још и једињења као што су хлоро-флуоро угљеници, хидро-хлоро-флуоро-угљоводоници, перфлуоругљеници и сумпор хексахлорид (SCl_6). Сви наведени гасови који доприносе стварању ефекта стаклене баште из године у годину бележе пораст своје концентрације у атмосфери чиме повећавају потенцијал глобалног загревања.

Утицај различитих гасова на ефекат стаклене баште исказује се потенцијалом глобалног загревања. Потенцијал глобалног загревања (ПГЗ) представља могућност различитих гасова који стварају ефекат стаклене баште да „заробе“ одређену количину топлоте. ПГЗ је бездимензиона величина која указује на могућност апсорпције одређене количине топлоте у односу на количину коју може да апсорбује иста маса CO_2 , којој је приписана јединична вредност.

Табела 3.2 - Вредност потенцијала глобалног загревања и пораст концентрације гасова

Гас стаклене баште	ПГЗ	Пораст концентрације (%/год.)	Допринос ефекту стаклене баште	Животни век у атмосфери (год.)
CO ₂	1	0.5	49	120
CH ₄	25	1	19	10.5
CFC	12000	5	17	55
N ₂ O	320	5	5	132
Остали	-	0.25	10	-

На основу приказаних резултата уочава се да метан има значајан допринос ефекту стаклене баште и да само CO₂ има већи допринос од метана.

Када се заједно сагледају горе поменути мотиви лако је закључити да је могуће, у исто време, депонијски гас делом користити као енергент (од њега добијати енергију) и управо на тај начин смањити глобално загревање Земље. Ова чињеница указује у којој мери је значајно познавати депоније (карактеристике депонија, количине генерисаног депонијског гаса итд.), и у њима препознавати потенцијалан извор енергије.

3.3. МЕРЕЊЕ САСТАВА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПОНИЈИ У КРАГУЈЕВЦУ

Како би се потврдила производња депонијског гаса, потребно је експериментално утврдити количину емитованог депонијског гаса на локалној депонији града Крагујевца. Депонија се налази у Јовановцу, 3 km северо-источно од центра града, у близини реке Угљешнице и ради од 1963. године, а отвореног је типа. На депонију отпад довозе и физичка и правна лица. Она прима сав сакупљен чврсти комунални отпад из општине Крагујевац, опслужујући популацију од око 200 000 становника. ЈКП наплаћује услуге коришћења депоније. Мерење отпада је почело да се врши од септембра 2008.године, а наплата се врши паушално. Највећи корисници ових услуга су ЈКП „Градско зеленило“, грађевинске фирме и појединци, постројење за пречишћавање отпадних вода (категорија опасног отпада) итд. Не постоје подаци о количинама и саставу отпада који не спада у категорију комуналног отпада, а одлаже се на депонију [7].

Депонија заузима 15ha земље, надморске висине 164 m и по географским карактеристикама може се дефинисати као равница. Количина чврстог комуналног отпада који се одлаже на депонији је процењена на 156 t/дан, са више од 50% биоразградивог отпада. Одвојено сакупљање папира и PET амбалаже је покренуто у току 2009. године.

На депонији се врши дневно прекривање и разастирање отпада. Депонија је скоро сасвим попуњена и нема карактеристике санитарне депоније. На депонији скоро да више нема слободне површине за даљу експлоатацију. Постоји могућност проширења депоније преко јужног обода и општинске власти су тренутно у процесу решавања имовинско-правних односа по питању земљишта које би требало да буде будућа проширена депонија.

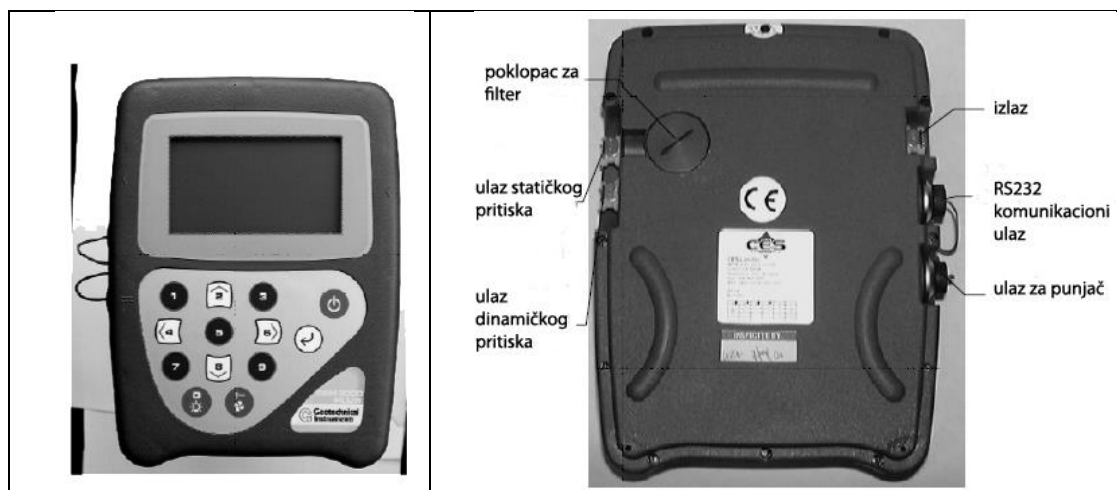
У циљу превенције настанка пожара и експлозија, планирано је постављање 89 вертикалних бушотина (лула) за вентилацију, а до сада је постављено 17. Свака бушотина

покрива пречник од 30m и гас излази из депоније на основу разлике притиска у телу депоније и атмосферског притиска. Депонија нема активни систем за сакупљање и контролу депонијског гаса, а има постављених 17 биотрнова, од којих су 8 приступачни (остали су затрпани). На њима су вршена мерења састава депонијског гаса помоћу приказане опреме и резултати мерења су дати у табели 3.2.

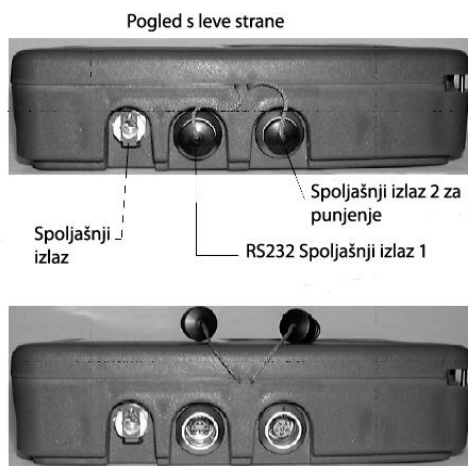


Слика 3.2 - Вентилациони отвор и опрема за мерење

Мерење је извршено помоћу уређаја за гасну анализу „GEM2000plus“ произвођача из Велике Британије – „Geotechnical Instruments“, специјализованог за производњу апаратуре за екстракцију и анализу депонијских гасова. „GEM2000plus“ је посебно дизајниран са циљем да се употребљава у сврху праћења стања депонијског гаса на биотрновима и другим системима за екстракцију депонијског гаса. Наведени уређај је пројектован за мерење концентрације следећих гасова (CH_4 , CO , CO_2 , H_2S , O_2), као и за мерење температуре и атмосферског притиска. Апарат за гасну анализу коришћен у мерењу је приказан на наредним сликама.



Слика 3.3 Предњи и задњи поглед на апарат „GEM2000plus“



Слика 3.4 - Поглед на апарат са леве стране

3.3.1. Резултати мерења састава депонијског гаса на депонији у Крагујевцу

Извршена су мерења састава депонијског гаса на свим расположивим биотрновима (дегазаторима) на депонији у Крагујевцу и у наредној табели су приказани резултати мерења.

Табела 3.3 - Резултати мерења

location	CH ₄	CO ₂	O ₂	balance	CH ₄ %lel	peak CH ₄	peak CO ₂	min O ₂	baro	CO	H ₂ S	H ₂	CH ₄ /C O ₂
	%	%	%	%	%	%	%	%	mb	ppm	ppm	ppm	%
1	15,8	8,3	15	60,9	200	15,8	8,3	15	1002	0	0	LOW	1,9
2	59,9	41,3	0,2	0	200	67,9	41,3	0,2	1002	1	0	LOW	1,45
3	57	44,4	0,1	0	200	59	44,7	0,1	1003	1	0	LOW	1,28
4	57,5	44,1	0	0	200	58,1	44,2	0	1003	0	0	LOW	1,3
5	60,7	40,7	0	0	200	60,8	44,2	0	1002	0	0	LOW	1,49
6	59,4	41,5	0	0	200	60,6	41,8	0	1002	0	0	LOW	1,43
7	0,4	5,5	17	77,1	8	59,3	41,7	0,3	1003	0	0	LOW	0,07
8	0,1	2	19,1	78,8	2	2,3	6,8	14,8	1001	0	0	LOW	0,05

Табела 3.4 - Атмосферски услови при вршењу мерења

Параметар	Вредност
Температура	26 °C
Релативна влажност ваздуха	70%
Интензитет ветра	(2–3) m/s
Притисак	998 mb

На појединим биотрновима концентрација метана је веома ниска, јер је вентилациона цев вероватно поломљена. На осталим биотрновима концентрација метана је око 59%, што је задовољавајуће обзиром да је за економску исплативост коришћења метана као енергента потребна најмања концентрација метана у депонијском гасу од 35%. Сви вентилациони отвори се налазе у области депоније са старијим отпадом, па концентрација метана у осталим деловима депоније са касније депонованим отпадом може да буде само већа. Такође, ове цеви вентилационих отвора нису перфориране по висини. У случају да су перфориране, увлачиле би и гас са различитих нивоа по висини, па можемо закључити да концентрација метана у депонији може бити још већа од измерене.

3.4. МЕТОДОЛОГИЈА ПРОРАЧУНА ПРОДУКЦИЈЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

У телу депоније, након депоновања отпада, одвија се читав низ различитих реакција које зависе од услова који владају у депонији као што су: присуство кисеоника, температура, садржај влаге, присуство нутрицијената и друго. Врста и интензитет реакција поред наведеног зависе и од састава отпада.

Најзаступљенија једињења у депонијском гасу су CH_4 и CO_2 , док се у много мањим концентрацијама може наћи и преко стотину других једињења. Метан и угљен диоксид (CH_4 и CO_2) спадају у групу гасова који стварају ефекат стаклене баште, с тим да је потенцијал глобалног загревања метана 25 пута већи у односу на CO_2 . Из тог разлога, допринос емисији гасова стаклене баште са депонија комуналног отпада првенствено се односи на допринос метана. До формирања метана на депонијама комуналног отпада гаса долази услед разлагања органске материје у анаеробним условима.

У састав депонијског гаса на депонијама комуналног отпада након успостављања и стабилизације анаеробних услова улазе метан (CH_4) са процентуалним уделом од 50 - 70 %, и угљен- диоксид (CO_2) са процентуалним уделом од 30 - 50 %. Осталих конституената, међу којима се налазе азот, водоник, угљен моноксид, водоник сулфид, амонијак и други, има много мање, свега неколико процената.

Са депоније у експлоатацији емитује се више CH_4 него са затворене депоније, јер се већина реакција деградације одвија у првих неколико година након депоновања, након чега постепено деградациона активност опада. Након затварања, депоније могу емитовати гасове са ефектом стаклене баште и неколико стотина година.

Табела 3.5 - Типичан састав депонијског гаса

Компонента депонијског гаса	%	Карактеристике
Метан	45-60	Метан је гас без боје и мириса. Депоније комуналног отпада су међу највећим антропогеним изворима емисија метана.
Угљен диоксид	40-60	CO ₂ се налази у атмосфери у малим концентрацијама (0,02 %). Безбојан је, без мириса и мало кисео.
Азот	2-5	N ₂ је инертан гас, репрезентује 79 % атмосфере. Без мириса, укуса и боје.
Кисеоник	0.1-1	Кисеоник репрезентује 21 % атмосфере. Без мириса, укуса и боје.
Амонијак	0.1-1	Амонијак је безбојан гас са оштрим мирисом.
Сулфиди	0-1	Сулфиди (водоник сулфид, диметил сулфид, меркаптани) су гасови присутни у природи који дају депонији непријатан мирис поковарених јаја.
Неметанска органска једињења (НМОЈ)	0.01-0.6	НМОЈ-и су органска једињења. Налазе се у природи или се могу вештачки синтетизовати. НМОЈ-а најчешће присутна на депонији су акрило-нитрити, етил-бензен, хексан, метил-етил-кетон, тетра-хлор-етилен, толуени, три-хлор-етилен, винил-хлориди и ксилен.
Водоник	0-0.2	Водоник је гас без мириса и боје.
Угљен-моноксид	0-0.2	Угљен-моноксид је гас без мириса и боје и гас који је изузетно токсичан, а у вишим концентрација може бити фаталан.
Једињења у траговима	0.01 – 0.6	У мањим концентрацијама у саставу депонијског гаса могу се детектовати: Толуен, Тетрахлоретан, Трихлоретан, Винил хлорид, Бензен, Хексан, угљеник тетрахлорид и Хлороформ

3.5. СОФТВЕРСКИ АЛАТИ ЗА ПРОРАЧУНАВАЊЕ ПРОДУКЦИЈЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА

Софтверски алати за прорачунавање продукције депонијског гаса порекло воде из САД-а, тачније из америчке агенције за заштиту животне средине (ЕРА). Математички модели за прорачун генерисања депонијског гаса могу се поделити на неколико основних група, односно на моделе: нултог реда, првог реда, другог реда, мултифазне моделе и моделе који се заснивају на комбинацији наведених.

У најпознатије софтверске алате убрајају се “IPCC модел”, “LandGEM модел”, и “Ukrain модел”. У наставку следи кратак осврт на “LandGEM модел”, и “Ukrain модел” уз детаљнију обраду “Ukrain модел”-а и уз напомену да “IPCC модел” није разматран из разлога што је експериментално и искуствено утврђено да “IPCC модел” и “Ukrain модел” дају приближно исте резултате. Оно што је важно истаћи за “IPCC модел” је то да у оквиру њега постоји верзија “IPCC 2006 модел” која је ревидирани “IPCC Модел” из 1996. године. “IPCC 2006 модел” омогућава процену генерисања депонијског гаса помоћу две методе. Први основни метод претпоставља да се сав депонијски гас генерише у години одлагања отпада, док се други, FOD - метод, (енг. FOD – First Order Decay), заснива на претпоставци да је продукција депонијског гаса временски зависна од тренутка депоновања отпада, што даје реалније резултате о продукцији током дужег временског периода.

3.5.1. Land-GEM модел

Назив LandGEM представља скраћеницу од Landfill Gas Emission Model. Управо овај модел за емисије гасова са депонија развијен је од стране америчке агенције за заштиту животне средине.

Помоћу LandGEM модела могу се добити подаци о укупним емисијама депонијског гаса, као и подаци о појединачним емисијама CH_4 , CO_2 и НМОЈ и других загађујућих материја. Овај модел поседује низ унапред утврђених вредности за параметре који утичу на одвијање процеса деградације у депонији, а који се заснивају на емпиријским подацима са депонија комуналног отпада у САД. Параметри ће бити детаљније обрађени у наставку (део - “Ukrain модел” чији су емпиријски подаци компатибилни са подацима који се могу очекивати на територији републике Србије).

Метод рада Land-GEM модела

“LandGEM” је модел у којем се прорачун разградње отпада, односно продукције депонијског гаса, врши помоћу једначина првог реда. Прорачун емисије депонијског гаса у LandGEM-у заснива се на следећој формули:

$$Q_{\text{CH}_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{f=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_i}$$

где су:

Q_{CH_4} = годишња количина генерисаног метана у години прорачуна ($\text{m}^3/\text{год}$)

i = повећање за 1 годину n = година прорачуна, у односу на годину депоновања

j = повећање за 0,1 годину

k = стопа генерисања метана (год^{-1})

L_0 = потенцијал продукције метана (m^3/t)

M_i = маса депонованог отпада у i -тој години (t)

$t_{i,j}$ = старост j -тог дела укупне масе отпада M_i , депонованог у i -тој години (децимални запис периода, нпр. 3,2 године.)

Улазни подаци за прорачун у овом програму су:

- ❖ Пројектовани капацитет депоније
- ❖ Количина депонованог отпада или годишња стопа пријема отпада
- ❖ Ниво генерисања метана **k**
- ❖ Потенцијал генерисања метана **L_0**
- ❖ Број година депоновања отпада

Прорачун емисије депонијског гаса реализује се на основу следеће формуле:

$$Q = 2 \sum_{i=1}^n k L_0 M_i e^{-k t_i}$$

где су:

Q = укупна количина емитованог депонијског гаса током једне године ($\text{t}/\text{год}$)

n = период (у годинама) од када је отпад депонован

k = ниво генерисања метана (год^{-1})

L_0 = потенцијал генерисања метана (m^3/t отпада)

M_n = маса дела отпада депонованог у i -тој години (t)

T_i = старост дела отпада депонованог у i -тој години (t)

Дефинисање параметара за прорачун емисије депонијског гаса

Ниво генерисања метана (k) дефинише којом брзином ће се генерисати метан деградацијом отпада на депонији. Већа вредност овог параметра указује на брже

разлагање отпада и генерисање метана. Параметар k у највећој мери зависи од следећа 4 фактора:

- ❖ Садржаја влаге у отпаду
- ❖ Доступности нутрицијената за метаногене микроорганизме
- ❖ Вредности рН у телу депоније
- ❖ Температуре у телу депоније
- ❖ Потенцијал генерисања метана (L_0)

Потенцијал генерисања дефинише колико метана под идеалним условима може да настане деградацијом отпада. Потенцијал генерисања зависи искључиво од састава депонованог отпада. Отпадни материјали са већим садржајем целулозе имају виши потенцијал генерисања метана.

Поред два поменута најважнија параметра за прорачун емисије депонијског гаса, програм омогућава дефинисање концентрације НМОЈ и садржаја (%) метана у депонијском гасу. Уколико се не наведе другачије, програм аутоматски дефинише да је присуство метана у саставу депонијског гаса 50 % и на основу тог удела одређује продукцију метана.

3.5.2. “Ukrain” модел

Основна намена „Ukrain“ модела развијеног од стране америчке агенције за заштиту животне средине – ЕРА, односно програма “GMI – Global Methane Initiative“, је процена исплативости, изводљивости и потенцијалне користи од енергетског искоришћења депонијског гаса. Иако је модел прављен за поменуте потребе у Украјини он се може применити и на друге земље сличних климатских карактеристика али и праксу управљања отпадом која се пре свега огледа у карактеристикама депонија. Овај модел, као и претходни, користи једначину реакције првог реда која је у овом програму модификована додатним параметрима и може да се прикаже помоћу следеће формуле:

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{i,j}} MCF \cdot F$$

Где је:

Q_{LFG} - максимална количина депонијског гаса годишње [$m^3/год$]

n – година у којој се реализује прорачун

k – стопа продукције метана [$год^{-1}$]

L_0 - потенцијал генерисања метана [m^3/t]

M_i - маса депонованог отпада током године i [t]

$t_{i,j}$ - старост j -тог дела масе отпада M_i прихваћеног током i -те године (децимални запис)

MCF - метански корекциони фактор

F - пожарни корекциони фактор

Овом једначином се добијају количине депонијског гаса за дату годину на основу депоноване количине отпада. Експоненцијална функција разградње показује да се максимална продукција гаса генерише након периода од око 6 месеци у зависности од специфичних карактеристика депоније, јер је то период потребан за почетак метанских реакција. Након шест месеци функција опада експоненцијално с обзиром на то да се смањује и количина отпада. Овај модел као резултате даје количине генерисаног гаса [m^3/t], енергетску вредност гаса [MJ/h], максимални капацитет постројења које користи гас за погон [MW], као и смањење емисије гасова изражених у CO_2 еквивалентима које се постиже сакупљањем и искоришћењем метана.

Овим моделом (представљеном формулом) прорачунавају се вредности параметара k и L_0 на основу података о саставу отпада, климатским и оперативним карактеристикама. У оквиру програма понуђене су четири дефинисане вредности које карактеришу различите количине падавина на годишњем нивоу (табела 3.4).

Прорачун продукције депонијског гаса посебно се реализује за различите врсте отпада које карактеришу различите брзине и степени деградације. У том смислу, програм разликује следеће врсте отпада:

- ❖ **Врло брзо разградив отпад** - отпад од хране
- ❖ **Средње брзо разградив отпад** - баштенски отпад
- ❖ **Средње споро разградив отпад** - папир и картон, текстил
- ❖ **Споро разградив отпад** - дрво, гума, кожа

Ниво продукције метана (k)

Стопа продукције метана је параметар који указује којим темпом ће се генерисати метан у депонији, односно којом брзином ће се реализовати деградација, па самим тим и продукција метана. Овај параметар зависи од периода полураспада отпада:

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad t_{1/2} - \text{време полураспада}$$

Већа вредност параметра k указује да ће продукција метана у одређеном временском периоду бити интензивнија услед бржег одвијања реакција декомпозиције

отпада. На основу експерименталних истраживања утврђено је да на вредности параметра k различитих врста отпада утицај имају и климатске карактеристике. У табели која следи дате су вредности k за различите категорије отпада у условима различитих количина падавина.

Табела 3.6 - Вредности параметра стопе продукције метана (k) за различите врсте отпада у зависности од количине падавина

Климатска зона	1	2	3	4
Просечна количина падавина (мм/год.)	360-429	430-499	500-599	600-699
Стопа продукције метана k у односу на категорију отпада и количину падавина				
Врло брзо разградив отпад	0,110	0,120	0,130	0,014
Средње брзо разградив отпад	0,055	0,060	0,070	0,075
Средње споро разградив отпад	0,022	0,024	0,028	0,030
Споро разградив отпад	0,011	0,012	0,014	0,015

Потенцијал генерисања метана (L_0)

Потенцијал продукције метана (L_0) је величина која описује која количина метана потенцијално, под идеалним условима, може да се генерише из јединице масе одређене врсте отпада. Искузује се у m^3CH_4/t отпада или у $t CH_4/t$ отпада. Категорије отпада са већим садржајем целулозе имаће већу вредност L_0 . Вредности потенцијала продукције метана крећу се у опсегу од 6,2 до 270 m^3/t .

У наредној табели дате су вредности L_0 добијене на основу неколико експерименталних анализа спроведених у Украјини, а које се могу користити и за територију Србије.

Табела 3.7 - Вредности потенцијала продукције метана за различите врсте отпада

Категорија отпада	$L_0 \text{ (m}^3/\text{t)}$
Веома брзо разградив отпад - остаци од хране	69
Средње брзо разградив отпад - баштенски отпад	126
Средње споро разградив отпад - папир, картон, текстил	214
Споро разградив отпад - дрво, гума, кожа	201

Метански корекциони фактор (MCF)

Метански корекциони фактор је параметар чији је циљ да коригује вредност продукције метана у складу са карактеристикама депоније. Овај параметар узима у обзир сва одступања од идеалних услова за продукцију метана и у зависности од те разлике умањује иницијално добијену вредност. Вредност MCF креће се у опсегу од 0,4 до 1, при чему вредност 1 значи да нема никакве корекције, док се за друге вредности иницијално добијени резултат умањује множењем са вредношћу фактора. У наредној табели дате су вредности MCF у зависности од врсте депоније и дубине отпада.

Табела 3.8 - Вредности MCF за депоније различитих карактеристика према "Ukrain" моделу

ВРСТА ДЕПОНИЈЕ	ДУБИНА <5м	ДУБИНА ≥5м
Неконтролисана депонија	0.4	0.8
Контролисана депонија	0.8	1
Полу-аеробна депонија	0.4	0.5
Некатегорисана	0.4	0.8

Пожарни корекциони фактор (F)

У случају пожара на депонијама део депонованог отпада сагорева, а продукт је инертни пепео. Депоније на којима је дошло до пожара могу имати значајне промене у продукцији депонијског гаса. Циљ овог параметра је да се утврди да ли је дошло до смањења количине отпада која ће се разградити у односу на депоновану количину. Овај модел разматра неколико нивоа могућности пожара и у односу на то врши калкулацију

сагорелог отпада. Фактор има следеће вредности ($1/3$ - мала могућност појаве пожара, $2/3$ - средња могућност појаве пожара, 1- озбиљна могућност појаве пожара).

Ефикасност система за сакупљање депонијског гаса

Ефикасност система за сакупљање депонијског гаса је параметар који је битан за прорачун могућности енергетског искоришћења, где се након прорачуна продукције депонијског гаса на појединачним депонијама врши и процена могућности за његово енергетско искоришћење. Услед чињенице да на депонијама у Србији не постоје постројења за искоришћење депонијског гаса, а да на само неколико постоји пасивни систем за дегазацију, овај параметар нема утицај, па није детаљније обрађен.

4. ПРОРАЧУН ПРОДУКЦИЈЕ И ПОТЕНЦИЈАЛА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПОНИЈИ У ЈОВАНОВЦУ

LFG Ukraine модел представља радни лист у програму Excel, стандардном алату програмског пакета Microsoft Office. Софтвер је конципиран у 5 радних листова (*Inputs, Disposal & LFG Recovery, WasteComposition, Output-Table, Output-Graph*), због једноставнијег уноса полазних података и прегледности добијених резултата. Поред табеле за унос података, програм садржи и инструкције за коришћење, односно објашњење за свако поље које треба попунити.

Улазни подаци (Inputs): У овом радном листу се налазе питања којима је потребно окарактерисати депонију. У зависности од одговора, модел ће изабрати већ одређене вредности за k , Lo , MFC , фактор подешавања пожара, као и ефикасност сакупљања. Модел ће такође извршити процену годишње стопе уклањања отпада.

Депонованье отпада и обнављање депонијског гаса (Disposal & LFG Recovery): У овом радном листу се јавља могућност за унос годишње количине депонованог отпада, реално обнављање депонијског гаса, оквирне количине обновљеног депонијског гаса, уколико је доступно. Ако су доступни подаци о стварној количини обновљеног депонијског гаса, корисник може подесити аутоматске процене ефикасности сакупљања модела, тако да се пројектована количина обновљеног гаса може поклопи са стварном.

Састав отпада (Waste Composition): Овај радни лист обезбеђује кориснику да унесе податке о карактеристикама отпада у зависности од локације, уколико је то могуће.

Излазна табела (Output Table): Овај радни лист представља табеларни приказ резултата прорачуна модела.

Излазни графикон (Output Graph): Овај радни лист представља резултат прорачуна модела у виду графика.

Сви радни листови су подељени у 2 дела:

Улазни део: Овај део има плаву позадину, и место је где се одговара на питања или обезбеђују информације. Поља са текстом беле боје представљају упутства или прорачуне, и не могу се мењати. Поља са текстом жуте боје захтевају улазне податке од стране корисника или промене у истим. У неким случајевима, направљени су опадајући менији да би се ограничили улазни подаци корисника на "ДА" или "НЕ" као одговори на питања, или на посебне листе одређених улазних података као што је назив провинције.

Део са инструкцијама: Овај део има светло плаву позадину и обезбеђује одређене инструкције о томе како треба одговорити на питања или унети улазну информацију.

У даљем току овог рада ће се појавити два сценарија који су разматрани као могућности за будућност депоније. **Сценарио 1** би представљао изградњу когенерационог постројења на депонији и њено затварање у току 2017-те године. Софтвер има задатак да покаже колико ће се гаса генерисати у периоду од првих десет година и показати за колико година се може очекивати отплата предвиђених инвестиција. **Сценарио 2** би представљао наставак депонованья отпада на депонију, међутим према

умањеним количинама за вредности дате у табели 4.1. Депонија би се према овом сценарију затворила 2031. године.

Табела 4.1 – Количине умањеног отпада према годинама за сценарио 2

Година	Умањење (%)	Количина умањеног отпада (t)
2017	5	2075
2018	10	4230
2019	15	6465
2020	20	8780
2021	25	11175
2022	30	13650
2023	40	18520
2024	50	23600
2025	52	25012
2026	54	26460
2027	56	27944
2028	58	29464
2029	60	31020
2030	62,5	32937,5
2031	65	34905

4.1. РАДНИ ЛИСТ СА УЛАЗНИМ ПОДАЦИМА

За рачунање енергетског потенцијала депонијског гаса коришћен је специјализовани софтвер “Ukraine LFG Model v1” (слика 4.1) који је развијен у “Microsoft EXCEL” окружењу. Полазни подаци су дати у табели 4.2.

Табела 4.2 - Полазни подаци

	Количина	Година
Година оснивања	/	1963
Годишња количина депонованог отпада [t/god]	57.000	2008
Укупна тренутна количина депонованог отпада [m ³]	2.096.400	2016
Густина отпада [t/m ³]	0,77	2016
Годишњи пораст [%]	1,9	/
Коефицијент искоришћења [%]	61	2016



Ukraine Landfill Gas Model

Release Date: September 2009

Developed by SCS Engineers for the U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program
with local support from SEC Biomass

PROJECTION OF LANDFILL GAS GENERATION AND RECOVERY INPUT WORKSHEET			
1	Landfill name:	Jovanovac	
2	City:	Kragujevac	
3	Province:	Kiev	3
4	Site-specific waste composition data?	Yes	
5	Year opened:	1970	
6	Annual disposal for latest year with data in tonnes per year (Mg/yr)	57,000 Mg	
7	Year of annual disposal estimate	2014	
8	Waste in place estimate available in tonnes (Mg)?	Yes	
9	Waste in place estimate for end of 2008 or most recent year:	2,096,400 Mg	
10	Estimated in-place waste density in Mg per m ³ (typical range: 0.5-1.0):	0,77 Mg/m ³	
11	If waste in place estimate is in volume (m3), convert to Mg:	2,096,400 Mg	
12	Year of waste in place estimate:	2016	
13	Projected or actual closure year:	2031	
14	Estimated growth in annual disposal:	1,9%	
15	Average landfill depth:	15 m	
16	Site design and management practices:	1	
17a	Has site been impacted by fires?	No	
17b	If 13a answer is Yes, indicate % of landfill area impacted:	0%	
17c	If 13a answer is Yes, indicate the severity of fire impacts:	1	
18	Year of initial collection system start-up:	2017	
19	Percent of waste area with wells:	100%	
20	Percent of waste area with final cover:	100%	
21	Percent of waste area with intermediate cover:	0%	
22	Percent of waste area with daily cover:	0%	
23	Percent of waste area with no soil cover:	0%	
24	Percent of waste area with clay or synthetic liner:	100%	
25	Is waste compacted on a regular basis?	No	
26	Is waste delivered to a focused tipping area?	No	
27a	Does the landfill experience leachate surface seeps or surface ponding?	Yes	
27b	If 23a answer is yes, does this occur only after rainstorms?	Yes	
28	Collection efficiency estimate:	61%	

Слика 4.1 – Пример радног листа „Улазни подаци“

У оквиру радног листа *Inputs* (слика 4.1), уносе се подаци о депонији: име, локација, година оснивања, капацитет депоније, дубина, количина годишњег одложеног отпада, годишњи пораст у процентима депонијског отпада и други потребни подаци. То

су основни подаци потребни за прорачун количине депонијског гаса, након чега се приступа следећем радном листу.

4.2. РАДНИ ЛИСТ – КОЛИЧИНА ДЕПОНОВАНОГ ОТПАДА ПО ГОДИНАМА

DISPOSAL AND LFG RECOVERY WORKSHEET						
Year	Waste Disposal Estimates (Metric Tonnes)	Cumulative Metric Tonnes	Collection System Efficiency	Actual LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)	Projected LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)	Baseline LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)
2003	53,100	1,352,400	0%		0	0
2004	54,100	1,406,500	0%		0	0
2005	55,100	1,461,600	0%		0	0
2006	56,100	1,517,700	0%		0	0
2007	57,100	1,574,800	0%		0	0
2008	58,200	1,633,000	0%		0	0
2009	59,300	1,692,300	0%		0	0
2010	60,400	1,752,700	0%		0	0
2011	61,500	1,814,200	0%		0	0
2012	62,600	1,876,800	0%		0	0
2013	63,800	1,940,600	0%		0	0
2014	57,000	1,997,600	0%		0	0
2015	58,100	2,055,700	0%		0	0
2016	40,700	2,096,400	0%		0	0
2017	39,425	2,135,825	61%		414	0
2018	38,070	2,173,895	61%		410	0
2019	36,635	2,210,530	61%		405	0
2020	35,120	2,245,650	61%		401	0
2021	33,525	2,279,175	61%		396	0
2022	31,850	2,311,025	61%		391	0
2023	27,780	2,338,805	61%		385	0
2024	23,600	2,362,405	61%		378	0
2025	23,088	2,385,493	61%		369	0
2026	22,540	2,408,033	61%		361	0
2027	21,956	2,429,989	61%		354	0
2028	21,336	2,451,325	61%		346	0
2029	20,680	2,472,005	61%		339	0
2030	19,763	2,491,768	61%		333	0

Слика 4.2 – Количина депонованог отпада

4.3. РАДНИ ЛИСТ – САСТАВ ДЕПЕНИЈСКОГ ОТПАДА

Радни лист *WasteComposition* представља табелу морфолошког састава отпада. Овај радни лист се користи за унос података о саставу отпада, а уносе се процентуални удели појединих врста отпада. На депонији у Јовановцу, анализа састава отпада извршена је на платоу испред депоније у три наврата 18.09.2008.године и 10.03. односно 12.05.2009. године и ти подаци су коришћени при прорачуну [8]. Након унетих вредности, добијају се подаци о количини депонијског гаса.

Табела 4.3 – Морфолошки састав отпада у општини Крагујевац

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	11,29
2. Остали биоразградиви отпад	27,34
3. Папир	8,07
4. Стакло	5,04
5. Картон	11,13
6. Картон-восак	0,80
7. Картон алуминијум	1,24
8. Метал-амбалажни и остали	1,09
9. Метал - Al конзерве	0,68
10. Пластични амбалажни отпад	4,78
11. Пластичне кесе	8,45
12. Тврда пластика	3,68
13. Текстил	3,68
14. Кожа	0,41
15. Пелене	3,72
16. Фини елементи	8,61

SITE-SPECIFIC AND DEFAULT WASTE COMPOSITION TABLE FOR MODEL INPUTS			
Waste Category	Enter Site Specific Data	UKRAINE	USA
Food Waste	0,0%	36,1%	13,4%
Paper and Cardboard	21,2%	14,3%	23,8%
Garden Waste (Green Waste)	11,3%	9,8%	4,8%
Wood Waste	0,0%	1,9%	10,1%
Rubber, Leather, Bones, Straw	4,1%	2,2%	2,8%
Textiles	3,7%	3,4%	4,4%
Other Organics	27,3%	0,4%	0,9%
Metals	1,8%	2,3%	6,3%
Construction and Demolition Waste	0,0%	3,6%	12,8%
Glass and Ceramics	5,0%	6,2%	5,4%
Plastics	16,9%	5,8%	12,7%
Other Inorganic Waste	8,6%	14,1%	2,7%
Percent very fast decay organic waste (1)	27,3%	36,5%	14,3%
Percent medium-fast decay organic waste (2)	11,3%	9,8%	4,8%
Percent medium-slow decay organic waste (3)	24,9%	17,7%	28,2%
Percent slow decay organic waste (4)	4,1%	4,1%	12,9%
Total Organic Waste	67,6%	68,1%	60,2%
Total Inorganic Waste	32,4%	31,9%	39,8%
Average very fast decay organic waste moisture (1)	70%	70%	
Average medium-fast decay organic waste moisture (2)	45%	45%	
Average medium-slow decay organic waste moisture (3)	7%	7%	
Average slow decay organic waste moisture (4)	12%	12%	
U.S. Waste - % dry organics			44%
Calculated Fast-decay Organic Waste Lo	69	69	
Calculated medium fast decay Organic Waste Lo	126	126	
Calculated medium slow decay Organic Waste Lo	214	214	
Calculated Slow-decay Organic Waste Lo	201	201	

Слика 4.3 – Састав депонијског отпада

4.4. РАДНИ ЛИСТ – ИЗЛАЗНИ ПОДАЦИ (Output-Table)

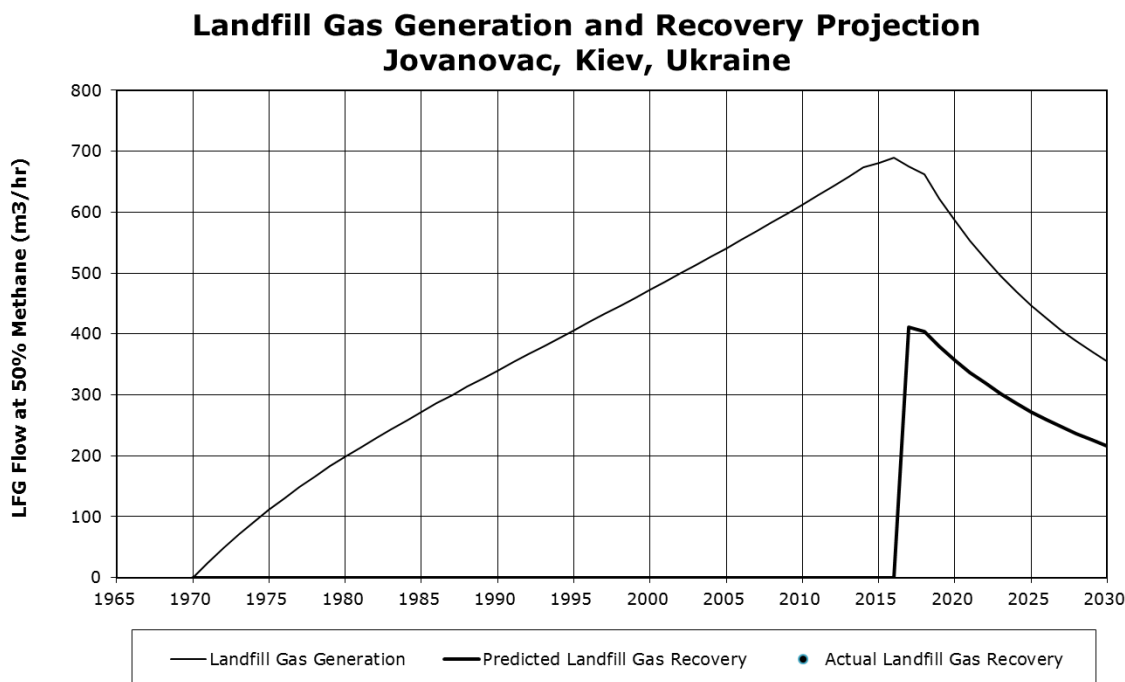
На овом радном листу приказани су излазни подаци, односно резултати о количини депонијског гаса и снага одговарајућег мотора за искоришћење депонијског гаса.

Ukraine Landfill Gas Model													
Release Date: September 2009													
Methane to Markets Developed by SCS Engineers for the U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program, with local support from SEC Biomass													
PROJECTION OF LANDFILL GAS GENERATION AND RECOVERY													
Jovanovac													
Kragujevac, Kiev, Ukraine													
Year	Disposal (Mg/yr)	Refuse In-Place (Mg)	LFG Generation			Collection System Efficiency (%)	Predicted LFG Recovery			Maximum Power Plant Capacity* (MW)	Baseline LFG Flow (m ³ /hr)	Methane Emissions Reduction Estimates**	
			(m ³ /hr)	(cfm)	(MJ/hr)		(m ³ /hr)	(cfm)	(MJ/hr)			(tonnes CH ₄ /yr)	(tonnes CO ₂ eq/yr)
2015	58.100	2.055.700	676	398	12.758	0%	0	0	0	0,0	0	0	0
2016	40.700	2.096.400	685	403	12.927	0%	0	0	0	0,0	0	0	0
2017	39.425	2.135.825	678	399	12.799	61%	414	244	7.807	0,7	0	1.298	27.248
2018	38.070	2.173.895	671	395	12.669	61%	410	241	7.728	0,7	0	1.284	26.971
2019	36.635	2.210.530	664	391	12.533	61%	405	238	7.645	0,7	0	1.271	26.683
2020	35.120	2.245.650	657	387	12.392	61%	401	236	7.559	0,7	0	1.256	26.381
2021	33.525	2.279.175	649	382	12.242	61%	396	233	7.468	0,7	0	1.241	26.063
2022	31.850	2.311.025	640	377	12.084	61%	391	230	7.371	0,6	0	1.225	25.726
2023	27.780	2.338.805	631	372	11.915	61%	385	227	7.268	0,6	0	1.208	25.366
2024	23.600	2.362.405	620	365	11.696	61%	378	223	7.134	0,6	0	1.186	24.900
2025	23.088	2.385.493	606	356	11.429	61%	369	217	6.972	0,6	0	1.159	24.331
2026	22.540	2.408.033	592	349	11.178	61%	361	213	6.819	0,6	0	1.133	23.797
2027	21.956	2.429.989	580	341	10.941	61%	354	208	6.674	0,6	0	1.109	23.292
2028	21.336	2.451.325	568	334	10.715	61%	346	204	6.536	0,6	0	1.086	22.812
2029	20.680	2.472.005	556	327	10.498	61%	339	200	6.404	0,6	0	1.064	22.350
2030	19.763	2.491.768	545	321	10.289	61%	333	196	6.276	0,6	0	1.043	21.904
2031	18.795	2.510.563	534	314	10.081	61%	326	192	6.150	0,5	0	1.022	21.463

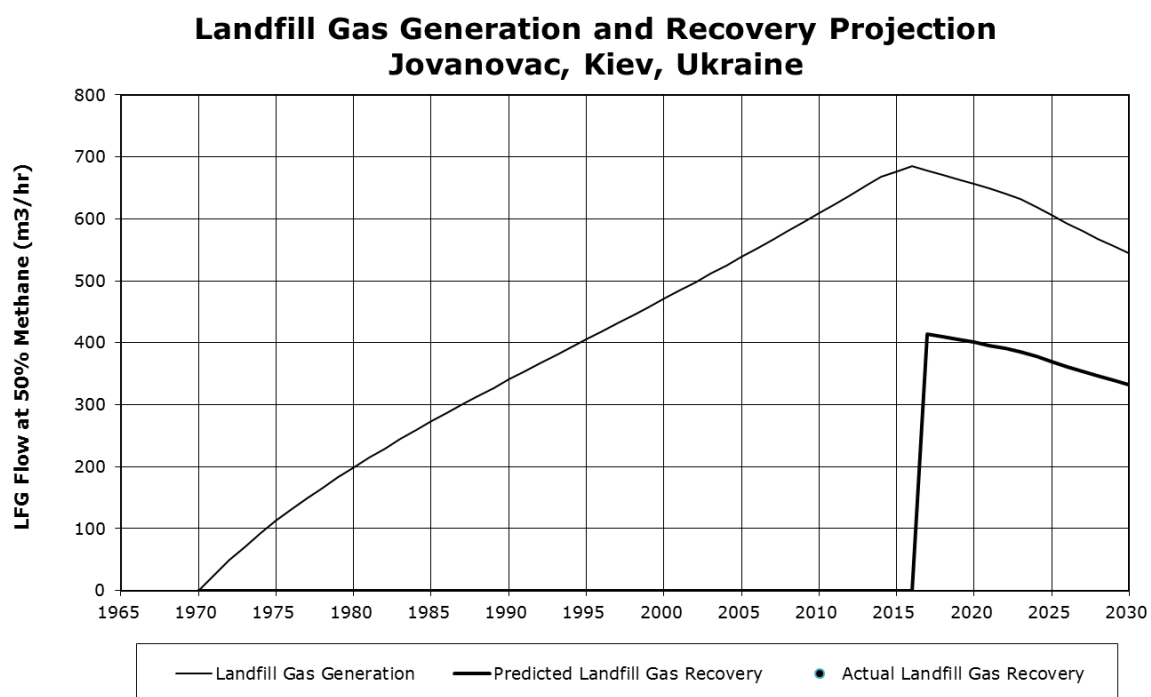
Слика 4.4 – Излазни подаци

4.5. РАДНИ ЛИСТ – ГРАФИК ИЗЛАЗНИХ ПОДАТАКА

На овом радном листу се очитавају подаци са графика који представљају излазне податке.



Слика 4.5 – Дијаграм генерисања депонијског гаса према првом сценарију



Слика 4.6 – Дијаграм генерисања депонијског гаса према другом сценарију

5. ПРОЦЕНА ТЕХНО-ЕКОНОМСКИХ И ЕКОЛОШКИХ ПЕРФОРМАНСИ ПОСТРОЈЕЊА ЗА КОГЕНЕРАЦИЈУ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ДЕПОНИЈИ У ЈОВАНОВЦУ

Град Крагујевац поседује депонију у Јовановцу на којој се налази велика количина неискоришћеног депонијског гаса. Депонија нема систем за сакупљање гаса, као ни бакље за спаљивање, па се метан који се налази у депонијском гасу емитује у атмосферу. Оваква депонија представља еколошку опасност по град и становништво, због емисија гасова и експлозивности метана и гледајући са еколошке стране, требало би је затворити. Са друге стране, технички гледано, овај гас има енергетски потенцијал, јер се може искористити и процесом когенерације произвести одређену количину електричне и топлотне енергије. Део енергије произведене на овај начин могао би да се користи у самом когенерационом постројењу, а остатак енергије би се продавао оближњим домаћинствима, по унапред утврђеним ценама.



Слика 5.1 - Изглед депоније у Крагујевцу

На депонији у Јовановцу генерише се $674,81 \text{ m}^3/\text{h}$ те усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.1 - Генерисање гаса и врсте мотора

Генерисање гаса (m^3/hr)	674,81
Потребна снага мотора (MWh)	0,7
Модел мотора MANLC 0836(ком.)	3
Модел мотора TEDOMCento T200(ком.)	2

5.1. ТРОШКОВИ ИНВЕСТИЦИЈЕ И ОДРЖАВАЊА

На основу одабраних модела снаге 200 kW (TEDOMCento T200), односно 100 kW (MANLC0836), добијају се трошкови инвестиције куповине мотора и одржавања мотора.

Цена мотора модел MANLC0836 износи 100.000 € по комаду, а мотора модел TEDOMCento T200 је 159.000 € по комаду. Инвестиција куповине поменутих мотора су дате у табели 5.2.

Табела 5.2 - Трошкови мотора

Мотор	Количина	Цена по комаду (€)	Укупно (€)
MANLC 0836	3	100.000	618.000
TEDOMCento T200	2	159.000	

Тако да укупна сума коју је потребно инвестирати у моторе износи 618.000€. Трошкови одржавања мотора MANLC 0836 износе 5.340 €, док за мотор TEDOMCento T200 исти трошкови износе 6.100 €, па укупни трошкови одржавања ових мотора износе 11.440 €. Трошкови одржавања мотора представљени су у табели 5.3.

Табела 5.3 - Трошкови одржавања мотора

Мотор	Количина	Цена одржавања по комаду (€)	Укупно (€)
MANLC 0836	3	1.780	11.440
TEDOMCento T200	2	3.050	

5.2. ТРОШКОВИ СИСТЕМА ЗА ПРИКУПЉАЊЕ И ПРОЦЕСИРАЊЕ ГАСА

Према претходним истраживањима [7], спроведеним на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, на депонији Јовановац, потребно је избушити 40 вертикалних бунара пречника 800 mm. У бунарима ће бити смештене перфориране цеви, односно, сонде. Спољашњи пречник сонди је 100 mm. Сонде нису перфориране целом дужином, већ само доњи део. Горњи део није перфориран како би се спречио улаз ваздуха у систем. Сонде ће бити постављене на дубини од 10 m, а на растојању од 60 m. Након

постављања сонди у претходно избушене бунаре, око њих ће бити положен камен пречника око 30 mm. Камен се полаже како се бунар не би урушио, али и да би спречио ширење крупнијих нечистоћа из тела депоније у систем.



Слика 5.2 - Распоред сонди за прикупљање гаса [8]

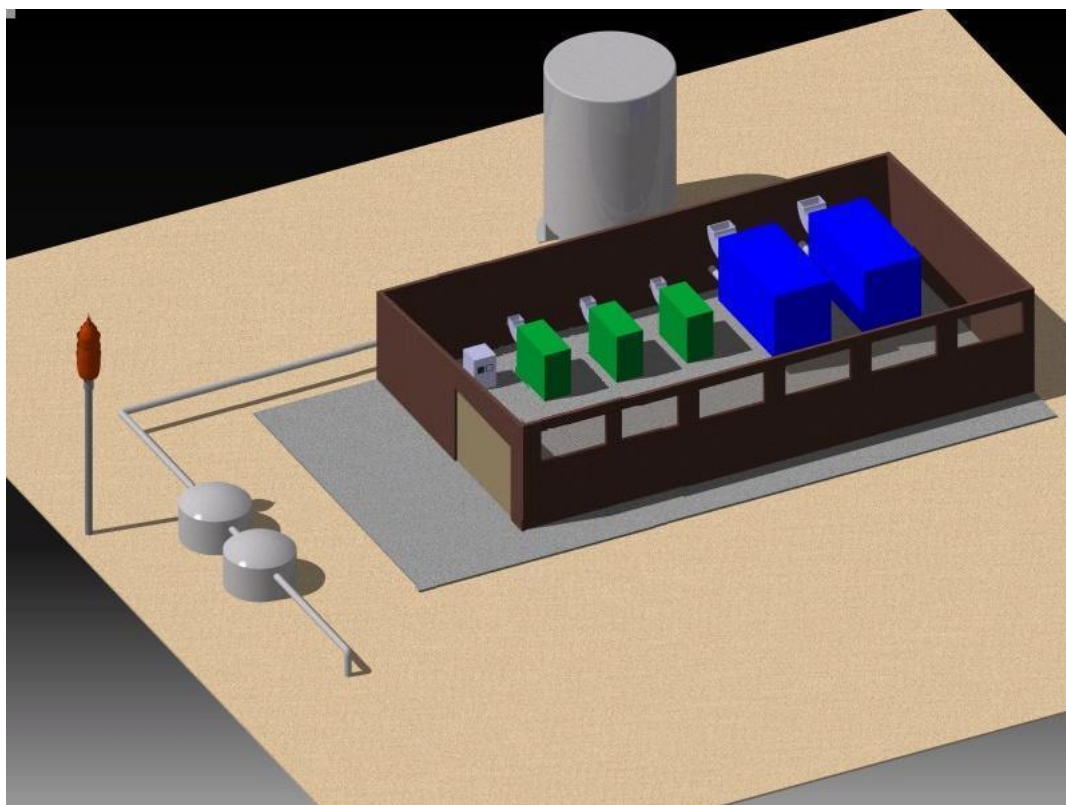
Према [7], цена система за сакупљање, процесирање и конверзију гаса ја на нивоу од око 450.000 €. Тошкови одржавања система, према [9], износе 37.700 € годишње и то 1.655 € за бунаре, 3.310 € за бакљу и 32.740 за бловер. Ови трошкови представљени су у табели 5.4.

Табела 5.4 - Трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса

Материјал	Цена [€]
Транспортне цеви ф150, Сонде ф100, вентили, рачве, колена	450.000
Центрифугални вентилатори, бловер, бакља, резервоар	
Одржавање	37.700
Укупно	487.700

5.3. ТРОШКОВИ ОБЈЕКТА

Димензије објекта (слика 6.1) у коме ће бити смештене когенерационе јединице су одређене у односу на димензије тих когенерационих јединица. Димензије објекта су 25m x 13m x 5m. За изградњу оваквог објекта потребна су средства приказана у табели



Слика 5.3 - Изглед објекта за когенерацију са потребним моторима

Табела 5.5 - Трошкови темеља

Материјал	Количина	Трошкови РСД
Цемент	120 ком	82.800
Песак	20 m ³	40.000
Арматурна мрежа V	20 ком	54.000
Φ12 ČBR	528 m	44.252
Φ6 узенгије	1760 m	33.150
Укупно		254.202

Табела 5.6 - Трошкови зидова

Материјал	Количина	Трошкови РСД
“YTONG” (Sirogex блокови)	1853 ком	472.464
Лепак	70 ком	39.200
Горња греда		
Песак	2.64 m ³	5.280
Цемент	18 ком	12.420
Ф12 ČBR	224 m	18.768
Ф6 узенгије	187 m	3.570
Укупно		551.702

Табела 5.7 - Трошкови кровне конструкције

Материјал	Количина	Трошкови РСД
Рогови	240 m	168.000
Преносне греде	193,2 m	145.860
Венчаница	56 m	42.280
Роловани лим	352 m ²	204.160
Кровна изолација Тервол “5”	336 m ²	30.240
Укупно		590.540

Табела 5.8 - Трошкови бетонског платоа

Материјал	Количина	Трошкови РСД
Цемент	400 ком	276.000
Песак	100 m ³	200.000
Укупно		476.000

Табела 5.9 - Трошкови прозора и врата

Материјал	Количина	Трошкови РСД
Поцинковани лим	18 m ²	30.240
Профилне цеви 40x30	63 m	4.000
Стиродур 3cm	18 m ²	5.616
Прозори	5x4,5 m ²	67.500
Укупно		107.356

Из приложених табела, укупни трошкови машинске зграде износе 1.979.800 РСД-а и када се узму у обзир и неки непредвиђени додатни трошкови, укупни трошкови ће

износити око 2.800.000 РСД-а. Уз тренутни средњи курс евра према НБС, укупни трошкови износе око 24.000 €. Треба узети у обзир да у ову анализу изградње објекта нису урачунати трошкови грађевинских радова.

5.4. ПРОЦЕНА ВРЕМЕНА ПОВРАЋАЈА ИНВЕСТИЦИЈЕ

Време повраћаја инвестиције представља оцену економске оправданости инвестиције. С обзиром да когенерационе јединице троше гас који се производи на самој депонији и није суштински трошак, постројење ће увек радити са добитком. Процена времена повраћаја инвестиције биће одређена као однос инсталационих трошкова когенерационе јединице, трошкова одржавања мотора, трошкова изградње система за сакупљање, процесирање и конверзију гаса, трошкова изградње машинске зграде и добити од генерисања електричне енергије при важећим подстицајним мерама (табела 6.9), по следећој релацији:

$$\frac{I + C + I_s + I_o}{\frac{C_1 \times x \times 24 \times 365}{100}} = T_{pi}$$

где је:

I – трошкови мотора,

C – трошкови одржавања мотора,

I_s – трошкови система за прикупљање и процесирање гаса,

I_o – трошкови објекта

C₁ – подстицајна откупна цена,

x – количина електричне енергије.

Табела 5.10 - Трошкови инвестиција и откупна цена енергије

Инвестиција	
Трошкови мотора [€]	618.000
Трошкови одржавања мотора [€]	11.440
Трошкови система за прикупљање и процесирање гаса [€]	450.000
Трошкови одржавања система за прикупљање и процесирање гаса [€]	37.700
Трошкови изградње објекта [€]	24,000
Откупна цена [€/kWh]	6,91

Електрична ефикасност мотора са унутрашњим сагоревањем снаге 100 kW износи 38,4 %, док електрична ефикасност мотора снаге 200 kW износи 39,2 %. Количина електричне енергије коју производе мотори израчуната је по релацији:

Број мотора x снага (kW) x електрична ефикасност

$$3 \times 100 \text{ kW} \times 0.384 = 115.2$$

$$2 \times 200 \text{ kW} \times 0.392 = 156.8$$

$$272 \times 6.91 \times 24 \times 365 / 100 = 164.646$$

$$2 \times 100 \text{ kW} \times 0.384 = 76,8$$

$$2 \times 200 \text{ kW} \times 0.392 = 156.8$$

$$233,6 \times 6.91 \times 24 \times 365 / 100 = 141.402$$

Топлотна ефикасност мотора са унутрашњим сагоревањем снаге 100 kW износи 46,9 %, док топлотна ефикасност мотора снаге 200 kW износи 48,1 %.

Количина топлотне енергије коју производе мотори израчуната је по релацији:

Број мотора x снага (kW) x топлотна ефикасност

$$3 \times 100 \text{ kW} \times 0.469 = 140,7$$

$$2 \times 200 \text{ kW} \times 0.481 = 192,4$$

$$333,1 \times 5 \times 24 \times 365 / 123 = 118.616$$

$$2 \times 100 \text{ kW} \times 0.469 = 93,8$$

$$2 \times 200 \text{ kW} \times 0.481 = 192,4$$

$$286,2 \times 5 \times 24 \times 365 / 123 = 101.91$$

Табела 5.11 - Економски ток пројекта по сценарију 1

Опис	I година	II година	III година	IV година	V година	VI година	VII година	VIII година	IX година	X година
ПРИЛИВ [€]	260.018	260.018	220.073	220.073	220.073	203.372	203.372	203.372	203.372	163.427
Топлотна енергија	118.616	118.616	101.915	101.915	101.915	85.214	85.214	85.214	85.214	68.513
Електрична енергија	141.402	141.402	118.158	118.158	118.158	118.158	118.158	118.158	118.158	94.914
ОДЛИВ [€]	1.161.474	69.474	58.034	67.694	58.034	65.914	58.034	65.914	58.034	64.134
Инвестиције	1.103.440	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	11.440	0	9.660	0	7.880	0	7.880	0	6.100
Плате	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000
Порез на добит	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-901.456	190.544	162.039	152.379	162.039	137.458	145.338	137.458	145.338	99.293
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-901.456	-710.913	-548.874	-396.495	-234.456	-96.998	48.340	185.797	331.135	430.428
Дисконтна стопа 10 %										
Дисконтни фактор	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,55	0,49	0,47	0,42	0,39
Садашња вредност	-819.506	157.475	121.742	104.077	100.613	75.341	71.694	64.125	61.637	38.282

Табела 5.12 - Економски ток пројекта по сценарију 2

Опис	I година	II година	III година	IV година	V година	VI година	VII година	VIII година	IX година	X година
ПРИЛИВ [€]	283.262	283.262	283.262	283.262	283.262	243.317	243.317	243.317	243.317	243.317
Топлотна енергија	118.616	118.616	118.616	118.616	118.616	101.915	101.915	101.915	101.915	101.915
Електрична енергија	164.646	164.646	164.646	164.646	164.646	141.402	141.402	141.402	141.402	141.402
ОДЛИВ [€]	1.161.474	69.474	58.034	69.474	58.034	67.694	58.034	67.694	58.034	67.694
Инвестиције	1.103.440	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	11.440	0	11.440	0	9.660	0	9.660	0	9.660
Плате	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000
Порез на добит	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034	11.034
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-878.212	213.788	225.228	213.788	225.228	175.623	185.283	175.623	185.283	175.623
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-878.212	-664.424	-439.196	-225.408	-180	175.443	360.726	536.349	721.632	897.255
Дисконтна стопа 10 %										
Дисконтни фактор	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,55	0,49	0,47	0,42	0,39
Садашња вредност	-798.375	176.685	169.217	146.020	139.849	96.259	91.398	81.929	78.578	67.710

У табели 5.11 и 5.12 су приказани економски токови пројекта у периоду од 10 година као и кумулатив нето прилива за оба сценарија. Прилив новца долази од продаје електричне и топлотне енергије, по већ утврђеним ценама. Одлив новца у првој години представљају сви трошкови изградње постројења, плате радника и порез на добит. У првој години пројекта нема трошкова одржавања, а након тога постројење ће се одржавати сваке друге године. За једно овакво постројење потребно је 10 радника, са просечним месечним примањима од 47.000 РСД-а. Порез на добит, за инвестиције мање од 1.500.000 € износи 10%. Порез на добит у овом случају 10 %.

Табела 5.13 - Период повратка инвестиције према оба сценарија

Године века пројекта	Сценарио 1		Сценарио 2	
	Нето прилив[€]	Кумулатив нето прилива[€]	Нето прилив[€]	Кумулатив нето прилива[€]
I	-901456	-901456	-878212	-878212
II	190544	-710913	213788	-664424
III	162039	-548874	225228	-439196
IV	152379	-396495	213788	-225408
V	162039	-234456	225228	-180
VI	137458	-96998	213788	213608
VII	145338	48340	225228	438836
VIII	137458	185797	213788	652624
IX	145338	331135	225228	877852
X	99293	430428	213788	1091640
Период повратка инвестиције	6 година и 9 месеци		5 година и 2 месеца	

У табели 5.13 је приказан период повраћаја инвестиционих улагања у пројекат. Овај пројекат је задовољавајући, јер је период повратка инвестиционих улагања краћи од животног века пројекта. Према сценарију 1, период повраћаја инвестиција је 6,75 година (6 година и 9 месеци), док према сценарију 2 је 5,16 година (5 година и 2 месеца).

6. ЗАКЉУЧАК

Сваки дан представља нови сусрет са терминима „зелене технологије“, „управљање отпадом“, „когенерација“. У протеклих десетак година се могао видети пораст интересовања о томе шта су зелене технологије и са каквим ефектима оне стижу. Управљање отпадом, као велика непознаница је ушла у наш свет са неким новим изазовима.

До пре само десетак година, отпад је третиран као последњи производ у дугом ланцу којим се људи свакодневно служе. Сада се на отпад гледа са друге тачке гледиште. Људи сад отпад гледају као шансу за послом, зарадом, као шансу да свет учине бољим местом. Отпад више не представља само отпадке које ће људи бацити, већ сад прича има попуно нови смисао. Сада, када се зна да се из отпада може процесирати материја и користити као енергент или као главна сировина за рециклажу, отвара се пут ка новим радним местима која су преко потребна

Републици Србији. Почевши од селекције отпада на извору (индивидуална класификација отпада) преко трансфер станица и класификације огромних количина отпада, до његовог даљег спровођења ка местима где ће се тај, сад већ употребљив, отпад користити. Посао делује „прљав“ и „нехигијенски“, али је стварност другачија. Радници су заштићени, користе заштитне рукавице и маске и такорећи нема проблема приликом завршних селекција отпада.

Када отпад стигне на депонију, где га чека неколико година завршавања свог циклуса као корисна материја и враћање у природу, тад опет човек треба да наступи и искористи енергију претварања у сопствене сврхе. Поставља се питање: Зашто наставити загађивање животне средине кад је могуће, уз мало залагања, смањити загађивање, а притом добити енергију?

Проблем није само у томе да ли ће се нешто искористити или не, да ли ће постојати зарада итд. Проблем се огледа и са аспекта заштитне животне средине. У последњих неколико година, када се улази у град, депонија у Јовановцу представља једну лошу знаменитост по којој град постаје познат. Страни улагачи сигурно ће окренути леђа граду који на свом улазу држи огромни простор пун отпада. Проблем са леглима заразе и загађењем је и решен препокривањем горњих слојева депоније, али отпад и даље „лежи“ и никоме није од користи.

Сада постоји нова улога за депонију Јовановац. Затварањем ове депоније и отварањем „зеленог“ центра за прикупљање депонованог гаса и његово спровођење у гасне моторе који би тај исти гас користили као гориво за производњу електричне и топлотне енергије би заокружили један педесетогодишњи циклус, тим пре што би се отворила нова радна места и почело са једне озбиљније стране да се сагледава простор око нас.

Циљ овог рада је процена когенерационог потенцијала на депонији Јовановац у Крагујевцу, као и процена економске исплативости когенерационих постројења на депонијски гас.

У самој техно-економској анализи се виде два могућа сценарија; један у којем би био направљен систем за отплинавање гаса и когенерационо постројење и након кратког временског периода депонија би се затворила. Према овом сценарију, повраћај уложених средстава би био 6 година и 9 месеци. Према другом сценарију, такође би било направљено когенерационо постројење, међутим, депонија не би била затворена одмах, већ би се годишњи прилив отпада смањивао из године у годину све до 2031. године, када би депонија била коначно затворена. На овај начин би се пројекат исплатио након 5 година и 2 месеца.

Уз мало помоћи, или пак задуживања или подизања кредита, направљена би била станица која би могла да греје део града, а струјом би се повезало у систем електродистрибуције и растеретило огромно загађење које се сваким даном ствара у термоелектранама. Проблем загађености животне средине не би био решен одмах, али би ово представљао први корак за неком светлијом будућношћу и отворио би се пут да неке нове генерације са неки новим идејама учине и корак даље.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Небојша Јовичић: Студија: Истраживање енергетских потенцијала комуналних депонија за изградњу когенерационих постројења, Крагујевац 2012
- [2] Локални план управљања отпадом града Крагујевца, Крагујевац 2012
- [3] Приручник за развој и финансирање капиталних инвестиционих пројеката, Београд 2009
- [4] Горан Вујић, Милан Мартинов, Дејан Убавин, „Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе (Waste to energy) на територији АП Војводине и РС“, Департман за инжењерство заштите животне средине, 2008.
- [5] Г. Вујин, М. Мартинов, Н. Станисављевић, Д. Убавин: Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе на територији АП Војводине и Републике Србије
- [6] Д. Убавин: Докторска дисертација: Модел емисије и редукције метана – гаса стаклене баште генерисаног на депонијама комуналног отпада у Србији, Нови Сад 2011
- [7] Марко Р. Јевтовић, „Идејно решење постројења за когенерацију депонијског гаса из комуналног отпада града Крагујевца“, Мастер рад, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, 2012
- [8] Горан Вујић, Дејан Убавин, „Утврђивање састава отпада и процене количине у циљу дефинисања стратегије управљања секундарним сировинама у склопу одрживог развоја Републике Србије“, Департман за инжењерство заштите животне средине, 2009.
- [9] US Environmental Protection Agency, „LFG Energy Project Development Handbook“, USA, 2009.
- [10] Одлука о повећању цена топлотне енергије, бр 9/17, „Енергетика“ Д.О.О, Крагујевац, 2013.
- [11] М.М.Месаровић и др.: Потенцијал когенерације топлотне и електричне енергије, Термотехника 2011
- [12] Републички завод за статистику, „Статистика отпада и управљања отпадом у Републици србији“, Београд 2012
- [13] <http://www.telekomunikacije.rs/> приступ дана 01.09.2016.
- [14] <http://zelenainicijativa.rs/>
- [15] <http://www.skgo.org/>
- [16] <http://kogeneracija.rs>