

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: 384/2013

Светозар М. Недељковић

**Техно-економска анализа когенерационих
постројења на депонијама комуналног
отпада**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада студент треба да истражи могућности коришћења биогаса као обновљивог извора енергије, са посебним освртом на процес когенерације. За потребе овог рада, неопходно је ажурирати базу података о комуналним депонијама на територији Републике Србије насталу као резултат ранијих истраживања на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Модели за прорачун приноса биогаса, имплементирани у поменућу базу, послужиће да се дође до података о енергетским потенцијалима на локалном, регионалном и републичком нивоу. Такође, студент треба да спроведе анализу могућих инвестиционих улагања у когенерациона постројења с обзиром на расположиви енергетски ресурс. На примеру неколико највећих градова у Србији, неопходно је показати каква је енергетско-економска одрживост инсталираног когенерационог постројења за искоришћење депонијског гаса.

Препоручена литература:

[1] Небојша Јовичић (2004), *Управљање чврстим отпадом*, скрипта са предавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу

[2] Дејан Убавин (2011), *Модел емисије и редукције метана – гаса стаклене баште генерисаног на депонијама комуналног отпада у Србији*, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

[3] Драгољуб Живковић (2015), *Когенерација*, Машински факултет у Нишу, Универзитет у Нишу

Ментор:

Др Горан Бошковић

Резиме

Управљање отпадом у Републици Србији засновано је на депоновању. Као резултат такве дугогодишње праксе, настао је велики број депонија на којима се генерише депонијски гас. Његови главни чиниоци, метан (50-55%) и угљен диоксид (40-45%), стварају велики притисак на животну средину чиме директно утичу на здравље људи. Негативан утицај се може смањити енергетским искоришћењем депонијског гаса у когенерационим постројењима.

Циљ овог дипломског рада је процена економских и еколошких бенефита од сагоревања депонијског гаса у когенерационим постројењима која би се изградила на комуналним депонијама у Републици Србији. Као полазна основа у техно-економској анализи постројења коришћена је база података о когенерационим потенцијалима Републике Србије која је настала у оквиру претходних истраживања на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. У поменућу базу података имплементиран је математички модел за прорачун количине генерисаног депонијског гаса који се заснива на једначини првог реда разградње отпада. Модел узима у обзир количину и морфолошки састав отпада, као и локалне карактеристике сваке депоније за коју се одређује количина генерисаног гаса.

За све депоније у Републици Србији са запремином депонованог отпада већом од 100.000 m³, извршена је детаљна техно-економска анализа изградње когенерационих постројења. Резултати прорачуна указују да би укупна инвестиција за изградњу 13 когенерационих постројења износила 11.682.790 €, док период отплате варира између две и седам година, у зависности од локације изградње постројења. Инвестирањем у постројења за искоришћење депонијског гаса, поред очигледне економске добити, коришћењем депонијског гаса као извора енергије, смањила би се емисија метана за 22.265.362 m³ на годишњем нивоу.

Кључне речи: Депонијски гас, енергија из отпада, когенерација

Abstract

In Republic of Serbia, waste management is based on disposal. As a result of continuing that practice, a large number of landfills which generates landfill gas have appeared. The main elements of landfill gas, methane (50-55%) and carbon dioxide (40-45%), are making huge pressure on natural environment which directly affects the health of all people. The negative impact can be reduced by using landfill gas as a fuel for combined heat and power plants.

The main objective of this work is to estimate economic and environmental benefits from combusting landfill gas in CHP plants which would be built on solid waste landfills in Republic of Serbia. A starting point for the techno-economic analysis was database of cogeneration potentials of the Republic of Serbia, which was created by previous research of the Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac. In mentioned database was implemented mathematic model for estimating amount of generated landfill gas, which is based on the first order decay method. This model consider amount of waste and composition, as well as local characteristics of chosen landfill.

Detailed techno-economic analysis was performed for every landfill in Republic of Serbia that has more than 100.000 m³ of waste. According to results of calculations, the total investment for the construction of 13 CHP plants would be 11.682.790 €, while the repayment period varies between two and seven years, depending on construction of the plant and location. By investing in CHP plants on landfills, besides the obvious economic benefits, the use of landfill gas as an energy source would reduce methane emissions by 22.265.362 m³ annually.

Key words: Landfill gas, energy from waste, cogeneration

Садржај:

1. Управљање отпадом у урбаним срединама	7
1.1. Дефиниција отпада и класификација	7
1.2. Принципи управљања отпадом	8
1.3. Интегрално управљање отпадом.....	10
1.4. Депоније комуналног отпада	14
1.4.1. Класификација депонија.....	14
1.4.2. Санитарна депонија.....	15
1.4.3. Методе одлагања отпада на депонију	16
2. Депонијски гас као обновљиви извор енергије.....	19
2.1. Састав депонијског гаса.....	19
2.2. Процес формирања и продукција депонијског гаса	19
2.3. Фактори који утичу на формирање депонијског гаса.....	22
2.4. Софтверски алати за прорачун количине генерисаног депонијског гаса.....	24
2.4.1. LandGEM модел	24
2.4.2. IPCC2006 модел.....	25
2.4.3. „Ukraine“ модел	25
2.5. Експлоатација депонијског гаса	26
2.5.1. Екстракција	26
2.5.2. Процесирање	28
2.5.3. Конверзија	29
2.6. Когенерација	30
2.6.1. Класификација когенерационих система	31
2.6.2. Мотори са унутрашњим сагоревањем	31
3. База података когенерационих потенцијала у Републици Србији.....	33
4. Анализа когенерационих потенцијала на локалном, регионалном и републичком нивоу .	40
4.1. Подстицајне мере за коришћење обновљивих извора енергије.....	41
4.2. Избор мотора	42
4.3. Инвестициони трошкови.....	42
4.4. Период повраћаја инвестиционих улагања	43
5. Техно-економска анализа когенерационих постројења за искоришћење депонијског гаса	44
5.1. Суботица	44
5.2. Нови Сад	47
5.3. Београд	50

5.4.	Аранђеловац	53
5.5.	Ужице.....	56
5.6.	Крагујевац.....	59
5.7.	Краљево.....	62
5.8.	Јагодина.....	65
5.9.	Крушевац	68
5.10.	Александровац.....	71
5.11.	Нови Пазар	74
5.12.	Прокупље.....	77
5.13.	Ниш	79
5.14.	Техно-економска анализа пројекта на републичком нивоу	82
6.	Закључак.....	84
	Литература:	85

1. Управљање отпадом у урбаним срединама

Пораст броја становника и урбанизација главни су узрочници генерисања све веће количине отпада. Генерисани отпад представља велики еколошки проблем, нарочито у неразвијеним и земљама у развоју, у којима управљање отпадом није на завидном нивоу. Отпад, који се најчешће одлаже на неуређене депоније директно загађује земљиште, ваздух и подземне воде и на тај начин угрожава животну средину и здравље људи.

1.1. Дефиниција отпада и класификација

Под отпадом се подразумева сваки материјал или предмет који настаје у току обављања неке производне или друге делатности, предмети искључени из употребе, као и отпадне материје које настају у потрошњи које нису за даље коришћење.

Отпад је врло субјективна ствар, јер оно што би неко одбацио, неко други би могао да користи. Међу отпадним материјама могу се наћи вредни ресурси који имају своју вредност и могу се искористити на најбољи начин, тако да по овом критеријуму постоји отпад који се може користити поново и отпад који се мора одложити. Користан отпад је отпад из кога се добијају секундарне сировине, материјали који се могу поново употребити или рециклирати (метал, стакло, пластика, папир).

Са друге стране, постоји отпад који се не може искористити поново већ мора да се третира на неки други начин. Често се у саставу отпада могу наћи и опасни материјали који могу загадити животну средину и угрозити здравље живих бића на планети, тако да ову врсту отпада треба третирати на посебан начин како не би дошло до нежељених ефеката. Из тог разлога управљање отпадом има велики значај али и велику одговорност. Ефикасним управљањем отпадом се може сачувати животна средина, побољшати квалитет живота али и остварити економска добит.

У складу са законом о управљању отпадом [1] разликује се:

- комунални отпад,
- комерцијални отпад,
- индустријски отпад.

Комунални отпад је отпад који настаје у домаћинствима (кућни отпад), као и други отпад који је по саставу сличан отпаду из домаћинства, односно отпад који се сакупља са одређене територијалне целине, најчешће општине, у складу са прописима и плановима општине, укључујући крупни отпад, опасан кућни отпад и одвојено сакупљен баштенски отпад и отпад сакупљен чишћењем улица.

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

Индустријски отпад је онај отпад који настаје у процесу производње и није више погодан за враћање у производни процес. Састоји се од разноврсних стабилних и нестабилних елемената органског и неорганског порекла. Индустријски отпад који настаје у једном процесу

некад се може искористити као сировина у неком другом процесу. Поред користи која је присутна у таквим условима, индустријски отпад може бити врло штетан са јаким отровним карактеристикама и неугодним мирисом, нарочито ако су настали у процесима хемијске индустрије. Такви случајеви захтевају посебан третман који се најчешће обавља у оквиру саме индустрије.

Према токсичности отпад се може класификовати на:

- опасан отпад,
- неопасан отпад,
- инертан отпад.

Опасан отпад представља отпад који садржи бар једну од четири карактеристике опасног отпада (токсичност, запаљивост, реактивност, корозивност), док неопасан отпад не садржи ниједну од ових карактеристика. Инертан отпад не сагорева, не може се растворити нити променити агрегатно стање под утицајем физичких или хемијских процеса. Није биолошки разградив и не утиче неповољно на друге материје са којима долази у контакт на начин који може да доведе до загађења животне средине или да угрози здравље људи.

У зависности од места настанка и особине, отпад можемо разврстати на:

- стамбени отпад,
- комерцијални отпад,
- институционални отпад,
- грађевински отпад,
- индустријски отпад,
- пољопривредни отпад.

1.2. Принципи управљања отпадом

Један од основних докумената који на републичком нивоу обезбеђује дугорочне услове за рационално и одрживо управљање отпадом је национална стратегија управљања отпадом [2]. Кораци ка остварењу стратегије су јачање постојећих и развој нових мера за успостављање интегралног система управљања отпадом, даља интеграција политике животне средине у остале секторске политике, прихватање веће појединачне одговорности за животну средину и активније учешће јавности у процесима доношења одлука.

Постоји неколико кључних принципа који се морају узети у обзир приликом успостављања и примене националне стратегије управљања отпадом, и то: принцип одрживог развоја, принцип близине и регионални приступ управљању отпадом, принцип предострожности, принцип загађивач плаћа, принцип хијерархије у управљању отпадом, принцип примене најпрактичнијих опција за животну средину и принцип одговорности произвођача.

Принцип одрживог развоја - Одрживи развој је усклађени систем техничко-технолошких, економских и друштвених активности у укупном развоју у коме се на принципима економичности, разумности и рационалности користе природне и створене вредности, са циљем да се сачува и унапреди квалитет животне средине за садашње и будуће

генерације. Принцип одрживог развоја подразумева равномерно и рационално коришћење три врсте ресурса: ресурси из животне средине, економски потенцијали и ниво друштвеног развоја.

Принцип близине и регионални приступ управљању отпадом - Принцип близине подразумева да отпад треба третирати или одложити што је могуће ближе месту његовог настајања. Приликом избора локације постројења за третман и локације за трајно одлагање отпада треба поштовати принцип близине, како би се избегао нежељени утицај транспорта отпада на животну средину, као и додатни економски трошкови. Регионално управљање отпадом подразумева да одређене регије треба да развију своје стратешке планове за управљање отпадом, на бази политике и принципа управљања отпадом на националном нивоу уважавајући друге регионалне стратегије и планове.

Принцип предострожности - Принцип предострожности представља одговорно планирање управљања отпадом тако да утицај по животну средину буде што мањи. У случају настанка већег утицаја по животну средину потребно је што пре предузети превентивне мере.

Принцип избора најоптималније опције за животну средину - Овај принцип првенствено има за циљ очување животне средине. Његовом применом усвајају се опције које стварају највећу корист или најмању штету по животну средину, уз трошкове и профитабилност у прихватљивим границама.

Принцип загађивач плаћа - Принцип загађивач плаћа представља економску меру по којој се произвођачи отпада и загађивачи животне средине опорезују како би се подстакли да смање загађење.

Принцип одговорности – По овом принципу, произвођачи, увозници, дистрибутери и продавци који утичу на повећање количине отпада сnose одговорност за исти. Произвођачи због највећег утицаја сnose и највећу одговорност и у обавези су да стално раде на побољшању својих производа како би се генерисала мања количина отпада.

Принцип хијерархије у управљању отпадом - Хијерархија представља редослед приоритета у управљању отпадом:

1. редукција отпада на извору - минимизација коришћења ресурса и смањење количина опасног отпада,
2. поновна употреба - поновно коришћење производа за исту или другу намену,
3. рециклажа - поновни третман отпада ради коришћења као сировине у производњи истог или различитог производа,
4. искоришћење - искоришћење вредности отпада применом различитих технологија третмана,
5. одлагање отпада - уколико не постоји друго одговарајуће решење, одлагање отпада на депоније.



Слика 1.1 Хијерархија у управљању отпадом

Остали принципи: принцип најпрактичнијих опција решења за животну средину, одговорност произвођача, постизање и одржавање равнотеже између економског развоја и заштите животне средине, стварање отвореног и флексибилног тржишта за услуге управљања отпадом и увек кад је могуће користити економске мере пре него правне, у циљу иницирања и подстицања промена које су у складу са стратешким циљевима.

1.3. Интегрално управљање отпадом

Интегрално управљање отпадом обухвата анализу отпада од његовог настанка па до третмана, односно одлагања. Потребно је претходно размотрити све могућности третмана отпада како би се одабрала најпогоднија опција.

Најважнији фактори који утичу на одлуку о одабиру третмана отпада су: повећани захтеви за еколошки безбедним уклањањем отпада, примена принципа наплате стварних трошкова одлагања отпада произвођачу отпада, развој нових производних технологија и поступака коришћења отпада и испитивање тржишта за пласман рециклабилних производа.

Редукција генерисања отпада представља најважнију ставку у хијерархији управљања отпадом. Спречити стварање отпада је далеко боља опција од третмана отпада након његовог стварања, јер осим економске користи смањује се и количина токсичних материја које се генеришу приликом израде производа. Редукција мора бити осмишљена кроз целокупни животни циклус производа од фазе пројектовања, преко израде, паковања, па до транспорта и пласмана производа. Неки од примера једноставних начина за редукцију настанка отпада су:

- израда амбалажа производа ефикаснијим коришћењем материјала,
- избегавање коришћења производа за једнократну употребу,
- коришћење електронских података уместо штампаних,
- куповина квалитетнијих и ефикаснијих уређаја.

Поновна употреба је такође важна јер се и на овај начин смањује количина отпада. Неки производи су специјално дизајнирани да би се користили више пута а њихова употреба се може подстаћи разним економским и правним мерама. Поновним коришћењем се осим уштеде енергије за израду производа, смањују трошкови одлагања отпада као и уштеда за произвођаче и потрошаче. Најбољи пример поновне употребе су повратне амбалаже стаклених боца.

Рециклирање је процес издвајања материјала из отпада и његово поновно коришћење као сировине или готовог производа. Састоји се из неколико фаза, па тако прво треба прикупити и издвојити материјале који се могу рециклирати. Затим следи сабијање издвојене врсте материјала како би се смањила запремина. Након тога се материјал транспортује и користи као сировина. На овај начин се остварују разне бенефиције као што су уштеда енергије за добијање сировине, уштеда материјала, смањење количине отпада на депонијама, смањење штетног утицаја на животну средину. Разни материјали се могу рециклирати као што су папир, картон, пластика, стакло, алуминијум, бакар, гвожђе, керамика, електронски отпад.

Компостирање представља делимично разлагање органског отпада у аеробним условима при чему се као производ добија компост, користан материјал сличан хумусу који нема непријатан мирис и који се може користити као средство за кондиционирање земљишта или као ђубриво.

Предности компостирања су следеће: смањење запремине отпада и растеређивање депонија, смањење трошкова одлагања отпада, смањење загађења земљишта, воде и ваздуха, повећање квалитета земљишта, продајом готовог производа може се повратити инвестиција уложених средстава. Са друге стране, оваква постројења могу захтевати велика капитална улагања. Тржиште за добијени производ није увек осигурано, док складиштење крајњег производа такође може бити проблем.

Пасивна гомила представља најједноставнији метод компостирања. Материјал у гомили се ретко меша а сам процес може трајати и до годину дана. Компостирање у врсти представља најчешћи метод компостирања на фармама. Гомиле у врсти су обично широке од 2 до 4 метра и високе 2 до 3 метра. У зависности од начина проветравања гомиле у врсти могу бити:

- са превртањем,
- са пасивном аерацијом,
- са активном аерацијом,
- затворени систем,
- компостирање помоћу глиста.

Анаеробна дигестија је процес разлагања органског дела чврстог отпада у анаеробним условима, при чему се добијају гасови са високим садржајем метана. Може се остварити анаеробним разлагањем или анаеробном ферментацијом у реактору. После ферментације органског отпада издвојеног на почетку процеса, остатак ферментације се може извести у аеробним условима па се као коначан продукт добијају биогаз, вода и компост. Отпадна вода, настала у овом процесу се пречишћава и један део се може вратити у процес.

Инсинерација представља процес сагоревања запаљивих материја садржаних у отпаду. Спаљивањем отпада постиже се знатно смањење запремине отпада и уклањање опасних материја из отпада, а енергија добијена овим путем се може искористити за добијање електричне и топлотне енергије. Међутим, економска оправданост искоришћења енергије није увек прихватљива јер су инвестициони и оперативни трошкови постројења за спаљивање много виши од трошкова одлагања отпада на санитарне депоније, некад и до 6 пута виши. Без

обзира на исплативост, овај процес је најпогодније примењивати за спаљивање опасног отпада како би се уклонило његово штетно дејство по околину.

Пиролиза је термички процес разлагања органског отпада у анаеробним условима. При повишеној температури долази до термичког разлагања органских материја у отпаду при чему настају пиролитички гас, уље и чврста фаза богата угљеником. Према распону температура могу се разликовати три варијанте пиролизе: нискотемпературна до 500°C, средњетемпературна од 500°C до 800°C и високотемпературна преко 800°C. Квалитет и количина појединих производа зависи од примењене технологије и услова пиролизе. При повећању температуре реакције повећава се и удео гаса у продуктима реакције, а смањује се удео чврсте и течне фазе. Добијени гас се обично спаљује а отпадна топлота из димних гасова се може користити за грејање или производњу електричне енергије.

Гасификација је термички процес конверзије отпада са високим садржајем угљеника у гориве гасове уз присуство ваздуха и водене паре. Продукти овог процеса су водоник, угљен-моноксид и угљен-диоксид. Водоник добијен на овај начин се може спаљивати или искористити у постројењима за когенерацију. Највећи недостатак гасификације је то што је неопходно да гориво има висок садржај угљеника па би у случају комуналног отпада био потребан предтретман.

Плазма процес представља релативно нову технологију у управљању отпадом. Овим процесом постижу се температуре од 5.000°C до 15.000°C. Услед високе температуре долази до разлагања органских материја из отпада и топљења неорганских материја. У гасовитој фази долази до интензивног разлагања органских молекула, што готово у потпуности елиминише штетне емисије, што представља највећу предност у односу на остале поступке третмана отпада. Неорганске материје након топљења очвршћавају, тако да се могу употребити као додатак грађевинском материјалу или се могу безбедно одложити. Највећи недостатак плазма процеса су изузетно високи капитални и оперативни трошкови постројења, па се због тога примењује само у неким развијеним земљама.

Одлагање отпада на депоније представља најнепожељнији али и најједноставнији начин третирања чврстог отпада, због чега и има широку употребу. Депоније су неопходне у свакој изабраној опцији третмана јер увек постоји један део отпада који се мора одложити на депонију.

Којим поступком ће се третирати отпад зависи и од економског стања у држави па су тако јефтинији процеси карактеристични за мање развијене земље а скупљи (али и ефикаснији) процеси заступљенији у развијенијим земљама [3].

Табела 1.1 Поређење основних елемената система управљања отпадом у зависности од економске развијености земаља

Сегменти система управљања отпадом	Степен развијености земаља		
	Слабо развијене	Средње развијене	Високо развијене
Сакупљање отпада	Недовољно, углавном само у градским подручјима. Недовољан број и квалитет механизације за сакупљање. Удео становника обухваћених организованим сакупљањем је углавном испод 50%.	Релативно развијен систем сакупљања уз велики проценат обухвата градског становништва. Отпад из руралних области се сакупља у мањој мери. Солидан број и функционалност возила за сакупљање. Проценат сакупљања се креће од 50% до 80%.	Висок проценат сакупљања, углавном преко 90%. Организовано сакупљање и у руралним срединама. Користи се савремена механизација за сакупљање.
Примарно и секундарно издвајање отпада	Не постоји примарна сепарација, док је секундарна веома слабо развијена. Тржиште секундарним сировинама је слабо развијено, највећи утицај на тржиште имају неформални сакупљачи отпада.	Примарна селекција је слабо развијена, углавном на принципу постављања контејнера на јавним местима, док на нивоу домаћинства нема примарног издвајања. Секундарна сепарација је делимично заступљена.	Веома развијена примарна сепарација. Домаћинства поседују више канти/контејнера за разврставање компоненти из отпада. Развијен адекватан систем постројења за секундарну сепарацију.
Депонованье	Практично једини облик третмана отпада. Депоније не испуњавају минимум техничко-технолошких стандарда. Постојање великог броја неконтролисаних сметлишта.	Најдоминантнији начин третмана отпада. Постојање санитарних депонија, уз још увек значајан број депонија које не испуњавају минимум критеријума заштите животне средине. Постојање и одређеног броја неконтролисаних сметлишта.	Тежи се смањењу депоновања као најмање пожељног третмана отпада. Депоније испуњавају све критеријуме и тенденција је да се користе само као опција одлагања отпада који остају након других третмана отпада.
Рециклажа	Једини облик рециклаже је практично заснован на раду неформалног сектора. Тржиште је слабо развијено и законски неуређено. Велика разлика у ценама рециклабилних материјала.	Неформални сектор и даље присутан. Постојање одређеног броја постројења за сортирање рециклабилних компоненти из отпада. Због непостојања довољног броја постројења за обраду материјала, рециклабилне сировине се често извозе на даљи третман. Цене рециклажних сировина су углавном уједначене.	Организовано сакупљање рециклабилних компоненти из отпада уз постојање адекватних постројења за сортирање и обраду. Тржиште је јасно дефинисано и законски уређено. Увођење принципа продужене одговорности произвођача.
Компостирање	Изузетно мало заступљено, иако је удео органске фракције у отпаду највећи. Једини облик компостирања представља неформално кућно компостирање. Непостојање тржишта за компост.	Постоји одређен број постројења за компостирање, при чему је компост као производ углавном контаминанан и слабог квалитета због недовољне примарне сепарације. Све већа примена анаеробне дигестије.	Заступљено је на нивоу домаћинства, као и на нивоу централних, великих постројења. Компост је углавном доброг квалитета због развијене примарне сепарације и постоји могућност за пласман на тржиште. Анаеробна дигестија је веома заступљена.
Инсинерација	Практично не постоји због великих капиталних и оперативних трошкова, дефицита у стручном кадру, али и због великог удела влаге у отпаду и ниско калоричних компоненти.	Одређен број инсинератора постоји, али уз велике финансијске потешкоће при функционисању. Постојећи системи за контролу загађења ваздуха су углавном превазиђени. Слаб мониторинг емисије на излазу.	Велика заступљеност инсинерације, уз коришћење енергије и софистициране технологије за редукцију концентрације загађујућих материја. Развијен систем мониторинга односно контроле квалитета излазних емисија у складу са дефинисаним стандардима.

1.4. Депоније комуналног отпада

Под појмом депонија подразумева се технолошки уређен технички објект који служи за привремено или трајно одлагање отпада. Добро пројектована депонија треба да испуњава следеће услове:

- у односу на масе - треба да има довољну запремину за смештај свих издвојених количина отпада у предвиђеном периоду експлоатације,
- у односу на карактеристике отпада - треба да има довољно велику површину за потпуно избистравање воде, ако се индустријски отпад депонује хидраулички,
- у односу на систем за снабдевање повратном водом - треба да има довољно слободног простора за акумулисање потребне количине повратне воде,
- у односу на власника - изградња и експлоатација треба да буде у економски подношљивим границама,
- у односу на објекте у окружењу - не сме да угрожава њихов рад и развој,
- у односу на околину - треба да је потпуно стабилна, у геотехничком и еколошком погледу.

1.4.1. Класификација депонија

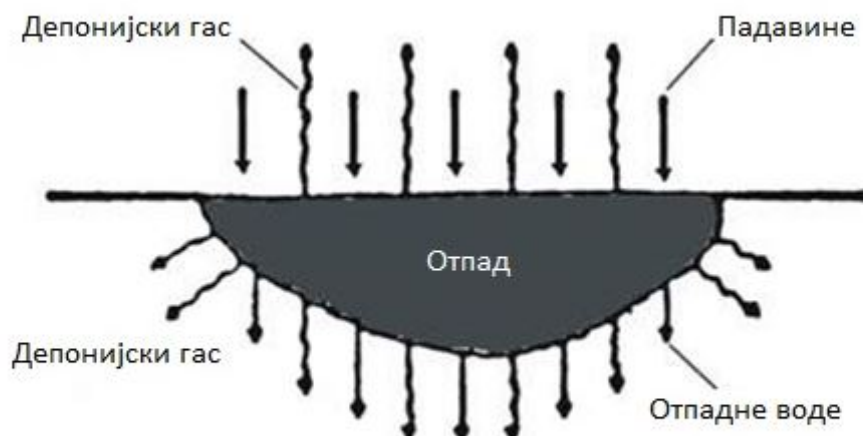
Подела депонија се може извршити на више начина, па тако према намени депоније могу бити:

- привремене,
- трајне.

У погледу уређености депоније могу бити:

- неуређене,
- уређене.

Неуређене депоније обично представљају привремене депоније код којих се отпад временски кратко депонује на неуређени простор. Често су то нелегална одлагалишта која заузимају мали простор и садрже ограничене количине отпада. Уређене депоније имају јасно дефинисан и довољан простор, имају дефинисану технологију изградње, имају одговарајући дренажни систем, односно систем за евакуацију слободне воде из депоније и њен прихват. Одлагање отпада на неуређене депоније може имати вишеструко штетне последице што се може видети на слици 1.2.



Слика 1.2 Утицај неуређених депонија на земљиште, воду и ваздух

У зависности од стања у којем се индустријски отпад депонује депоније могу бити:

- суве,
- хидрауличке.

Суве депоније обично служе за депоновање крупног материјала који се до депоније транспортује камионима, тракама и сл. Хидрауличке депоније служе за депоновање фино уситњеног отпада који се у облику хидромешавине и суспензије хидраулички транспортују од места издвајања до места депоновања.

1.4.2. Санитарна депонија

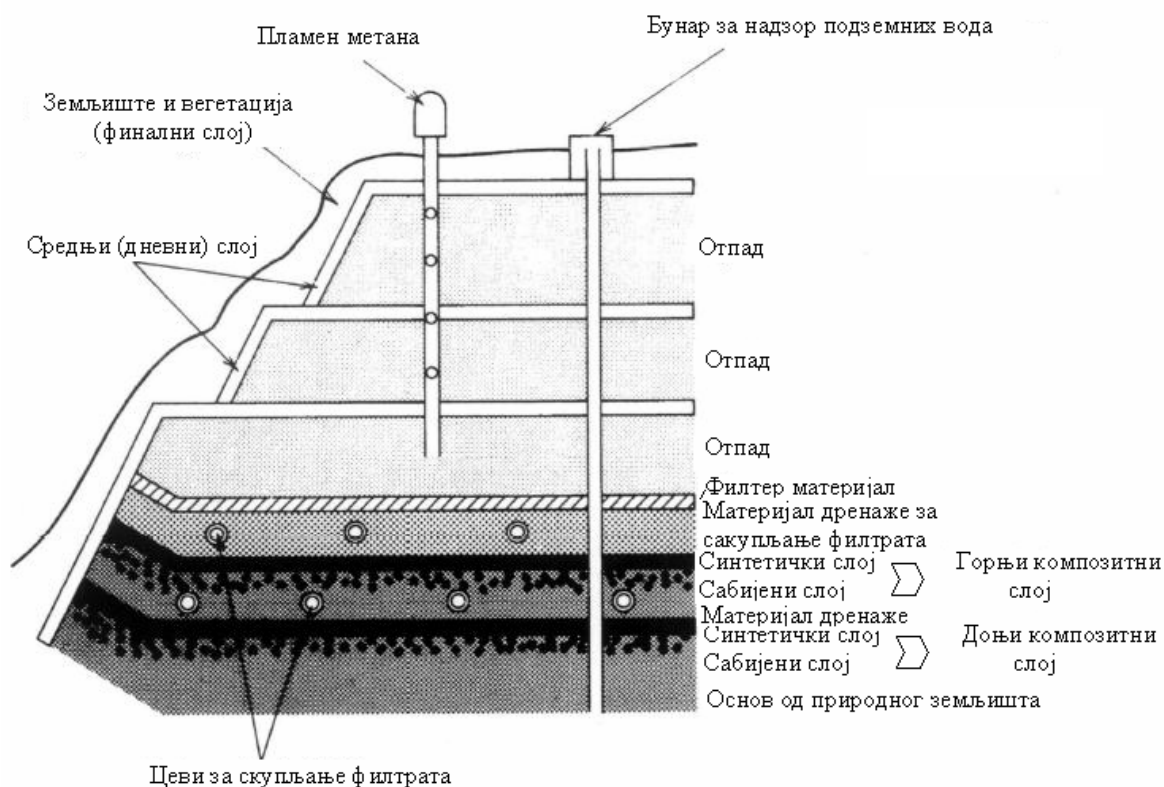
Савремене санитарне депоније су еколошки, економски и технолошки пројектоване и обезбеђују потпуну заштиту од загађивања и уместо деградације земљишта доприносе његовој рекултивацији.

Одлагање отпада на санитарне депоније је форма контролисаног уклањања чврстог отпада. Локација за депонију мора бити пажљиво одабрана, тако да буде прихватљива геолошки, хидролошки, а нарочито еколошки. Под појмом санитарне депоније се не подразумева појам отворена депонија или сметлиште. Еколошки неприхватљиви услови повезани са отвореним депонијама и сметлиштима нису присутни у добро пројектованим, управљаним и одржаваним местима за санитарно одлагање чврстог отпада. Добро пројектована и управљана санитарна депонија не загађује подземне воде, има развијен систем прикупљања депонијског гаса, има систем за сакупљање и третман процедних вода и има развијен систем за мониторинг и контролу депонијског гаса и процедних вода.

Санитарна депонија чврстог отпада има своје:

- тело – сабијени чврсти отпад,
- подлогу – водонепропусно тло,
- систем за третман отпадних вода,
- систем за издвајање депонијског гаса,

- површину – која је уређена прекривним слојем земљишта.



Слика 1.3 Пресек санитарне депоније

Депонија се планира за дужи временски период. Системи за сакупљање процедних вода и издвајање депонијског гаса се морају поставити пре пуштања депоније у рад. Унутар композитних слојева се налазе цеви за сакупљање и одвод процедних вода. Изнад композитних слојева поставља се отпад у слојевима. Санитарна депонија обавезно мора имати бунар за надзор подземних вода. Гас добијен из система за издвајање депонијског гаса се може искористити за складиштење или за добијање топлотне и/или електричне енергије. Уколико се гас не користи, неопходно је његово спаљивање, како не би доспео у атмосферу. Спаљивањем гаса који је врло штетан за атмосферу, настаје угљен-диоксид који је далеко мање штетан по околину у односу на метан. По попуњавању и затварању депоније, врши се рекултивација, тј. покривање земљаним слојем и заснивање вегетативног слоја.

1.4.3. Методе одлагања отпада на депонију

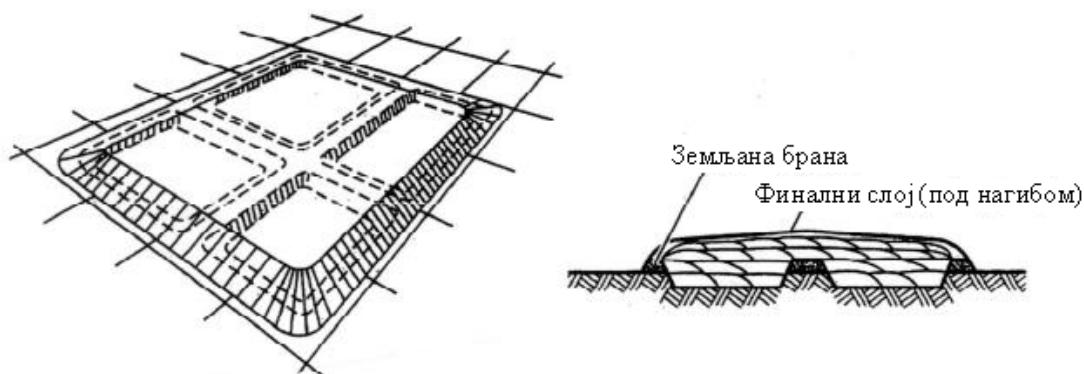
Постоји неколико метода за депоновање мешаног чврстог отпада:

- метода јарка,
- метода одлагања отпада у увалу,
- површински метод.

1.4.3.1. Метода јарка

Ова метода се првенствено користи на равном земљишту, али се може примењивати и у случајевима делимично нагнутог земљишта. Прво се формирају канали ископавањем плитких рупа, а ископани материјал се користи за израду косина изнад земљишта. Чврсти отпад се

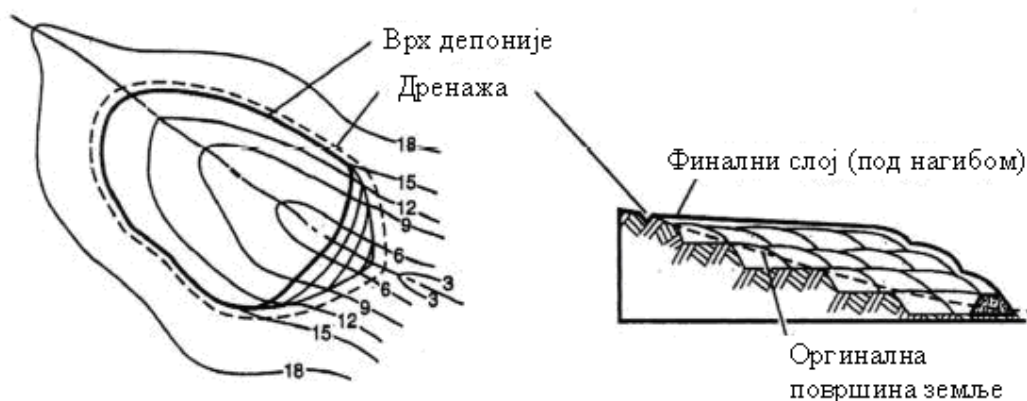
смешта у ископане канале, сабија и прекрива на крају сваког дана са претходно ископаним материјалом. Због потребе за постављањем водонепропустљиве подлоге депоније – лајнера, сви канали за депоновање отпада се обично копају истовремено. Канали се праве ширине од 6 до 7,5 m и најмање двоструко веће ширине од опреме која се користи за сабијање отпада. 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. Дневна прекривка се састоји од слоја природног земљишта дебљине од 15 до 25 cm или алтернативног материјала као што је компост.



Слика 1.4 Метода јарка (канала)

1.4.3.2. Метода одлагања отпада у увалу

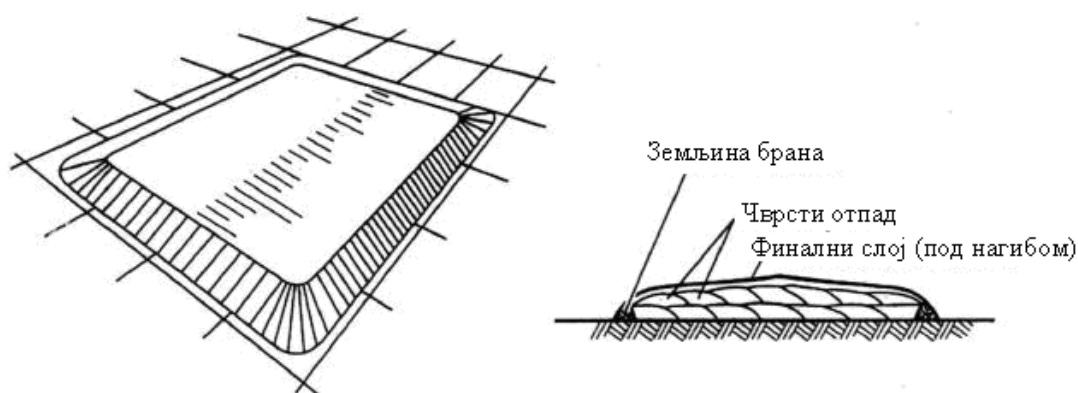
Одлагање отпада у увалу је метод који се може примењивати у пределима где постоје долине и клисуре. Овај метод варира са геометријом места, карактеристикама прекривног материјала, хидрологијом и геологијом места, типом процедних вода и системом за контролу гасова, као и могућим приступом локацији. У оним областима где је увала дубока, чврсти отпад треба да се одлаже у слојевима дебљине од 2,5 до 3 m. Покривни материјал се копа на обронцима клисуре или са дна пре него што се постави водонепропустљива подлога. Такође се као прекривни материјал може користити компост, на пример добијен из дворишног отпада. Из практичних разлога није увек пожељно да се први слој отпада распростире целом дужином увале. Први слој се обично формира на релативно мањем простору ближе дну клисуре. Следећи слојеви се формирају депоновањем отпада преко почетног слоја, све до врха клисуре. Када се достигне максимални ниво, доњи слој се може проширити и процес се може поновити. Водонепропустљива подлога и систем за сакупљање и уклањање филтрата се морају пројектовати пажљиво узимајући у обзир конфигурацију терена.



Слика 1.5 Метода одлагања отпада у увалу

1.4.3.3. Површински метод одлагања отпада

У случају високог нивоа подземних вода, једини начин депоновања отпада је површински метод. На равном терену овај метод се може примењивати коришћењем природних косина и нагиба земљишта. Припрема места за депоновање подразумева израду подлоге и система за контролу подземних вода. Ширина и дужина нагиба пуњења зависе од природе терена, количине чврстог отпада који се свакодневно довози и приближног броја камиона који ће се истовремено истоварити. Бочни нагиб је 20 до 30 %, а ширина и висински ниво површине за одлагање отпада се контролишу за време депоновања. Радна површина треба да буде што мања да би се искористила предност сабијања камионима, да се ограничи избацивање отпада на дефинисаном простору и да се избегне растурање. Сама основа депоније је формирана када се дефинише висина темеља, ниво подземних вода, када се постави водонепропустљива подлога и систем за сакупљање и уклањање процедурних вода. Прекривни материјал се довози са одговарајуће локације. Може се користити компост произведен од отпада, а често се користе технике које укључују употребу привремене прекривке као што је земљиште или геомембрана [4].



Слика 1.6 Површински метод

2. Депонијски гас као обновљиви извор енергије

На депонијама чврстог отпада, након депоновања, долази до биолошке разградње органског дела отпада уз помоћ микроорганизама. На овај начин настаје депонијски гас који има веома штетно дејство по животну средину. Депонијски гас поседује и енергетску вредност па се може користити као гориво за погон гасних мотора за добијање топлотне и електричне енергије, а као продукт сагоревања се добијају гасови који имају знатно мање штетно дејство по атмосферу.

2.1. Састав депонијског гаса

Најзаступљенија једињења у депонијском гасу су метан и угљен-диоксид, док се у много мањим концентрацијама може наћи и стотину других једињења. Метан је гас стаклене баште који има потенцијал глобалног загревања 21 - 25 пута већи од угљен-диоксида [5]. 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.

Табела 2.1 Састав депонијског гаса [6]

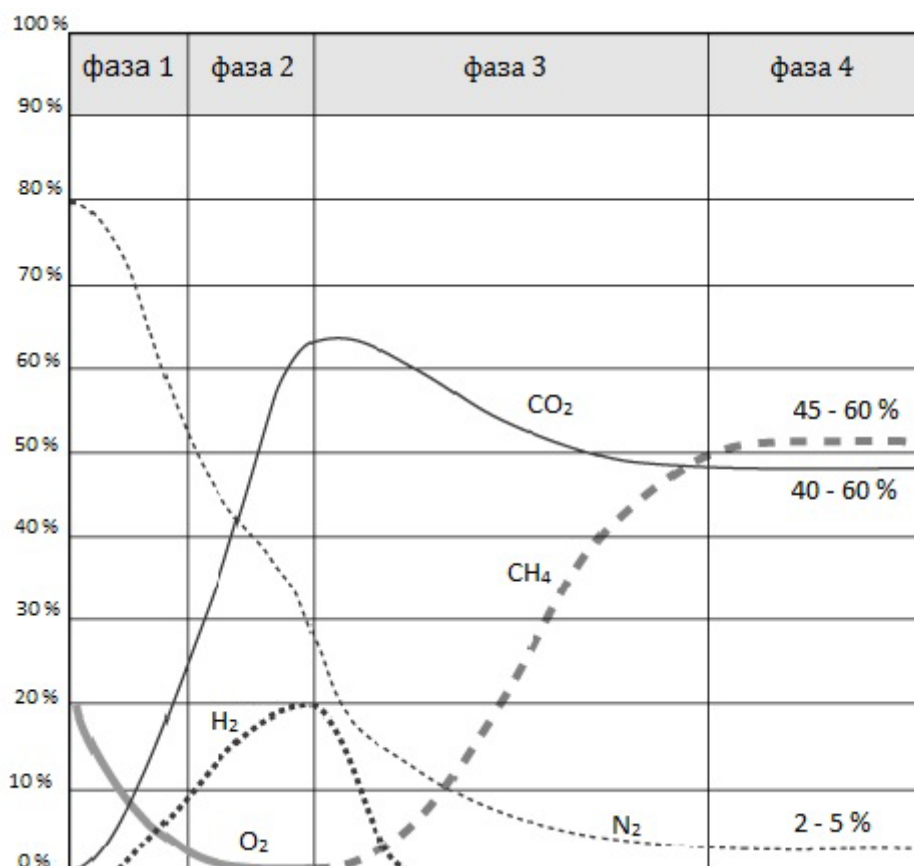
Компонента	%	Карактеристике
Метан	45 - 60	Гас без боје и мириса. У смеси са ваздухом експлозиван. Депоније су највећи извори метана које је проузроковао човек.
Угљен-диоксид	40 - 60	Гас без боје и мириса, помало кисео. Налази се у атмосфери у мањим концентрацијама(0,03%).
Азот	2 - 5	Гас без боје, мириса и укуса. Чини 78% атмосфере.
Кисеоник	0,1 - 1	Гас без боје, мириса и укуса. Чини 21% атмосфере.
Амонијак	0,1 - 1	Безбојан гас са оштрим мирисом.
НМОС	0,01 - 0,6	НМОС (неметанска органска једињења) су једињења која могу бити природна или синтетичка. На депонији се најчешће могу наћи 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) садрже сумпор и дају депонији непријатан мирис покварених јаја чак и у мањим концентрацијама.
Водоник	0 - 0,2	Гас без мириса, боје и укуса.
Угљен-моноксид	0 - 0,2	Гас без боје мириса. Веома опасан по човека.

2.2. Процес формирања и продукција депонијског гаса

Разградња отпада на депонији је сложен процес који обухвата бактеријску разградњу, волатизацију и хемијске реакције. Највећи део гаса настаје биолошком разградњом помоћу бактерија присутних у самом отпаду. Процес се састоји из четири фазе:

- фаза 1 - аеробна фаза,
- фаза 2 - анаеробна неметанска фаза,
- фаза 3 - анаеробна метанска нестабилна,
- фаза 4 - анаеробна метанска стабилна.

Пошто се на депонијама отпад одлаже константно током времена, тако се на одређеним деловима депоније могу јавити различите фазе разлагања. Депонијски гас се може формирати и волатизацијом, процесом у коме једињења настала у депонији прелазе из чврстог или течног стања у гасовито.



Слика 2.1 Фазе разлагања отпада на депонији

У првој фази разградње, аеробне бактерије, које при исхрани користе кисеоник, разлажу комплексна једињења која чине полисахариди, протеини и масти. У том процесу настају моносахариди, аминокиселине, комплексне карбоксилне киселине и глицерол. На почетку ове фазе концентрација азота износи око 80 % а кисеоника 20 % а током одвијања процеса разградње њихова концентрација опада. Фаза 1 се одвија док се расположиви кисеоник не истроши и може трајати данима или месецима, зависно од тога колико је кисеоника присутно у тренутку када је отпад одложен на депонију, а ниво кисеоника ће варирати у зависности од тога колика је густина отпада на депонији. У процесима прве фазе разградње, као нуспроизвод добија се угљен-диоксид.

Аеробна разградња глукозе се одвија на следећи начин:



Друга фаза разградње почиње кад се искористи сав кисеоник. Анаеробним процесима, бактерије претварају једињења формирана процесима аеробних бактерија у сирћетну, млечну, мрављу и друге киселине и алкоhole као што су метанол и етанол. Због ових процеса, рН вредност у телу депоније опада, односно средина постаје кисела. Како се киселине мешају са влагом присутном у депонији, долази до растварања нутријената за бактерије, тако да азот и фосфор постају доступни различитим врстама бактерија. Гасовити нуспроизводи овог процеса су угљен-диоксид и водоник. У овој фази, као процес, прво се јавља хидролиза при чему се органске материје трансформишу на компоненте које су растворљиве у води. Овај процес захтева значајно присуство влаге као и физички контакт између микроорганизама и отпада. Међутим, ако кисеоник доспе у тело депоније, микробиолошки процеси ће се вратити у прву фазу, фазу аеробне разградње.

У трећој фази долази до повећања бактеријске активности започете током друге фазе при чему се продукују значајне количине органских киселина и мање количине водоника. Први од три процеса ове фазе је хидролиза једињења веће молекуларне масе као што су масти, органски полимери и протеини, у једињења која представљају извор енергије и угљеника за микроорганлизме. Други процес је ацидогенеза током које долази до бактеријске конверзије једињења насталих у првом делу фазе 3, односно једињења веће молекуларне масе у једињења мање молекуларне масе као што су сирћетна киселина и ниже концентрације хуминске и других органских киселина. У трећем процесу се једињења мање молекуларне масе разлажу при чему се у мањим количинама добијају угљен-диоксид и метан, чије концентрације се знатно повећавају у четвртој фази. Током фазе 3, као последица активности неметаногених микроорганизама, настају значајне количине угљен-диоксида и мање количине водоника. Услед продукције киселина током фазе 3 долази до пада рН вредности течности које се налазе у телу депоније. Истовремено биолошка потрошња кисеоника ($ВРК_5$), хемијска потрошња кисеоника (НРК) и проводљивост процедурних вода знатно расту током ове фазе. Због ниске рН вредности процедурних вода долази до растварања многих неорганских материја међу којима се налазе и тешки метали. Фаза 3 може наступити након 180 дана од тренутка депоновања отпада и трајати до 500 дана након депоновања.

У четвртој фази метаногене бактерије конвертују сирћетну киселину и водоник, настале у фази 3, у метан и угљен-диоксид. У појединим случајевима оваква активност која за последицу има продукцију метана и угљен диоксида може почети и пред крај фазе 3. Током фазе 4 одвијају се и метанска и киселинска ензимска реакција, при чему је ниво киселинске ферментације знатно нижи. Услед конверзије киселина и водоника у метан и угљен-диоксид долази до раста рН вредности и до стварања неутралнијих услова у депонији у опсегу од 6,8 до 8, који доводе до мање растворљивости неорганских компоненти што доводи до смањења концентрације тешких метала. Такође долази и до пада $ВРК_5$, НРК и смањења проводљивости процедурних вода.

Концентрација метана у саставу депонијског гаса у фази 4 може да достигне вредности од 45 - 60 %, угљен-диоксида 40 - 60 % и осталих једињења 2 - 9 %. Продукција депонијског гаса постаје константна у фази 4 и интензивна је обично 20 година, након чега мањим интензитетом може трајати и више од 50 година.

2.3. Фактори који утичу на формирање депонијског гаса

На количину продукovanог депонијског гаса утичу многи фактори као што су: састав отпада, присуство кисеоника, садржај влаге, температура, и присуство нутрицијената.

Правилним управљањем отпадом на депонијама поспешују се анаеробни услови обезбеђивањем боље изолованости и веће густине отпада како би се добила што већа количина метана. Продукција метана на депонијама комуналног отпада, поред наведених фактора зависи и од врсте и стања прекривног материјала као и мера које се спроводе на депонији.

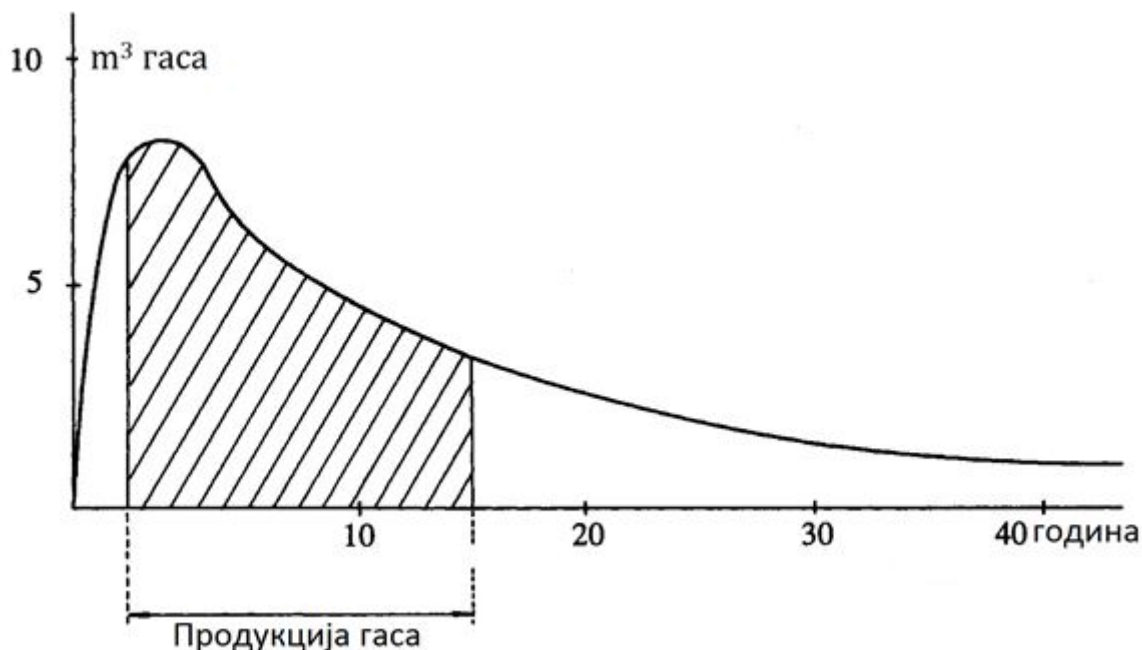
Састав отпада. Депонијски гас настаје као резултат разлагања органског дела отпада тако да количина органског отпада директно утиче на количину депонијског гаса који се може продукovati. Неке врсте органског отпада садрже велике количине хранљивих састојака за микроорганизме, као што су натријум, калијум, калцијум и магнезијум, што проузрокује већу активност микроорганизама а самим тим и већу количину генерисаног гаса. Са друге стране, неке материје у саставу отпада могу имати и негативне последице на активност микроорганизама, узрокујући смањење генерисања гаса. На пример, присуство соли у већим количинама негативно утиче на метаногене бактерије.

Кисеоник у депонији. Продукција метана почиње када се сав кисеоник утроши. Што је више кисеоника у депонији то аеробне бактерије дуже разлажу отпад. Ако је отпад само делимично прекривен слојем земље или се повремено меша, биће присутно више кисеоника, тако да ће аеробне бактерије живети дуже и дужи период ће производити угљен диоксид и воду. Ако је отпад компактан производња метана ће почети раније, односно чим анаеробне бактерије замене аеробне бактерије. Анаеробне бактерије почињу производњу само када аеробне бактерије потроше кисеоник, тако да би било какво присуство кисеоника у депонији довело до успорења или престанка продукције метана. Промене атмосферског притиска могу такође да утичу да се кисеоник из околине нађе у телу депоније. Таква могућност посебно постоји код слојева на мањим дубинама у којима би тада дошло до аеробне фазе разградње отпада.

Влажност. Низак садржај влаге у телу депоније негативно утиче на разлагање отпада јер смањује доступност нутрицијената неопходних за микробиолошку активност, што као последицу има и смањење продукције депонијског гаса. Удео метана у саставу депонијског гаса и количина продукovanог метана увећавају се повећањем влажности у телу депоније, што се може постићи убризгавањем сакупљене атмосферске воде или рецикулацијом процедурне воде. Међутим, превелик садржај влаге такође негативно делује на микробиолошку активност. Оптимална вредност влаге износи око 40 %.

Температура. На вишим температурама повећава се бактеријска активност а самим тим се повећава количина генерисаног метана. На температури нижој од 10 степени долази до наглог пада бактеријске активности. Временске прилике такође имају значајан утицај на активност бактерија јер нагле промене температуре такође негативно утичу на активност бактерија. Стабина температура депоније је између 25 и 45 степени, а на неким депонијама је регистрована температура и до 70 степени.

Старост отпада. Отпад који је касније депонован ће генерисати више гаса од оног који је на депонији дуже време. Депоније обично генеришу значајне количине гаса између једне и три године. Максимуми генерисања гаса су у периоду од пет до седам година након што је отпад одложен на депонију. Након двадесет година од тренутка депоновања постепено се смањује интензитет генерисања депонијског гаса, док се мање количине гаса могу генерисати и после сто година. Различити делови у депоније истовремено могу бити у различитим фазама декомпозиције отпада, што зависи од старости отпада.



Слика 2.2 Утицај старости отпада на продукцију депонијског гаса

pH вредност процедурне воде. Оптимални услови за метаногене бактерије су pH неутрални или благо базни услови, односно у опсегу од 7 до 7,2. Поред оптималног опсега продукција метана може се одвијати и у опсегу од 6,5 до 8. Продукција метана опада у колико је pH вредност испод 6,3 или изнад 7,8.

Компактност и величина делова отпада. Уситњавање отпада повећава продукцију депонијског гаса док повећање компактности отпада смањује ниво продукције. Делови отпада мањих димензија услед веће доступне површине брже ће се разлагати. Међутим, ако се такав отпад дуже време нађе у аеробним условима, доћи ће до повећане активности аеробних бактерија па ће се већа количина отпада распасти пре почетка генерисања депонијског гаса.

Нутрицијенти. На продукцију депонијског гаса утиче и доступност азота, фосора, и калијума. За одржање микробиолошке популације потребан је однос угљеника и азота од 16:1 до 19:1. Концентрација нутрицијената може бити смањена услед спирања процедурним водама, па се у таквим ситуацијама препоручује рецикулација процедурне воде [5].

2.4. Софтверски алати за прорачун количине генерисаног депонијског гаса

Како би се проценила количина генерисаног депонијског гаса развијени су многи софтверски алати. Код ових програма улазни подаци су количина депонованог отпада по годинама, састав отпада, као и карактеристике депоније, а излазни просечна количина генерисаног депонијског гаса изражена у метрима кубним по часу.

2.4.1. LandGEM модел

LandGEM (Landfill Gas Emission Model) је један од модела за одређивање количине депонијског гаса. Конструисан је од стране америчке агенције за заштиту животне средине „ЕРА“. Овим моделом се могу добити подаци о укупној количини депонијског гаса као и појединачни подаци за метан, угљен-диоксид и друге гасове који улазе у састав депонијског гаса.

Прорачун емисије депонијског гаса се врши помоћу једначине првог реда која има следећи облик:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_i} \quad (2.2)$$

Где су:

Q_{CH_4} – годишња количина генерисаног метана у години прорачуна (m^3/god),

i – повећање за 1 годину,

n – година прорачуна у односу на годину депоновања,

j – повећање за 0,1 годину,

k – стопа генерисања метана (god^{-1}),

L_0 – потенцијал продукције метана (m^3/t),

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

t_{ij} – старост j -тог дела укупне масе отпада M_i депонованог у i -тој години.

Улазни подаци за прорачун су:

- пројектовани капацитет депоније,
- година отварања и година затварања депоније,
- количина депонованог отпада по години,
- ниво генерисања метана k ,
- потенцијал генерисања метана L_0 .

Укупна количина депонијског гаса се може добити следећом формулом:

$$Q = \sum_{i=1}^n k L_0 M_i e^{-kt_i} \quad (2.3)$$

Где су:

Q – укупна количина генерисаног депонијског гаса током једне године (t/god),

n – старост отпада изражена у годинама,

k – ниво генерисања метана (god^{-1}),
 L_0 – потенцијал продукције метана (m^3/t),
 M_i – маса депонованог отпада у i -тој години (t),
 t_i – старост дела отпада депонованог у i -тој години [7].

2.4.2. IPCC2006 модел

„The intergovernmental Panel on Climate Change“ (IPCC) модел је направљен 2006. године и првенствена намена му је израчунавање емисије метана за веће области (државе, региони) коришћењем броја становника и просечне количине отпада по глави становника. Једноставним преправкама на програму могу се прорачунавати и појединачне депоније уз минимално смањење прецизности добијених резултата.

IPCC омогућава процену генерисања депонијског гаса помоћу две методе. Прва метода се заснива на претпоставци да се сав депонијски гас ствара у години одлагања отпада, док други метод претпоставља да продукција гаса зависи од времена одлагања отпада. Први метод је доста једноставнији и захтева мање улазних података. Међутим, добијају се мање прецизни резултати тако да се овај метод користи само у случајевима недостатка података о депонији. Други метод је прецизнији али захтева више улазних података о чему ће бити више речи у наредном тексту.

Укупна количина метана која се генерише током једне године може се представити следећом формулом:

$$CH_4/\text{god} = \sum_x [(A k MSW_T(x) MSW_F(x) L_0(x)) e^{-k(t-x)}] \quad (2.4)$$

Где су:

t – година за коју се ради прорачун,
 x – године за које се уносе подаци,
 $A = (1 - e^{-k})/k$ – корекциони фактор,
 k – константа нивоа генерисања метана (god^{-1}),
 $MSW_T(x)$ – укупна количина генерисаног отпада у години x ,
 $MSW_F(x)$ – део укупне количине отпада генерисане у години x ,
 $L_0(x)$ – потенцијал генерисања метана ($t_{CH_4}/t_{\text{отпада}}$).

$$L_0(x) = (MCF(x) \cdot DOC(x) \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12) \quad (2.5)$$

MCF – метански корекциони фактор,
 DOC – деградабилни органски угљеник,
 DOC_F – фракција деградабилног органског угљеника која ће се разградити,
 F – удео метана у депонијском гасу [5].

2.4.3. „Ukraine“ модел

Првенствена намена овог модела је процена изводљивости и исплативости од енергетског искоришћења депонијског гаса. Направљен је од стране америчке агенције „ЕРА“ како би се користио у Украјини али се може применити и код земаља са сличним климатским

условима. За прорачун емисије депонијског гаса користи се једначина првог реда која је измењена додавањем нових параметара:

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 2kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{i,j}} \cdot MCF \cdot F \quad (2.6)$$

Где су:

Q_{LFG} – максимална годишња количина депонијског гаса [m^3/god],

n – година за коју се врши прорачун,

k – стопа продукције метана [god^{-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,

MCF – метански корекциони фактор,

F – пожарни корекциони фактор.

У улазне податке се подразумева и састав отпада који је у зависности од брзине распада подељен на 4 категорије [8]:

- веома брзо разградиви отпад (остаци од хране),
- средње брзо разградиви отпад (баштенски отпад),
- средње споро разградиви отпад (папир, картон, текстил),
- споро разградиви отпад (дрво, гума, кожа, слама, кости).

2.5. Експлоатација депонијског гаса

Метан, који чини приближно половину састава депонијског гаса, након настанка у телу депоније, тежи да попуни простор са нижим притиском и тако започиње миграцију линијом мањег отпора. У случају дубљих депонија кретање у вертикалном правцу је онемогућено па се креће хоризонтално. Ово може бити јако опасно јер на овај начин метан може да доспе далеко ван депоније и изазове експлозију. Са друге стране, метан поседује топлотну моћ од 4-6 kWh/m^3 и његовим коришћењем као гориво за когенерационе системе може се остварити и еколошка и економска добит. Сама експлоатација гаса се може поделити у три фазе:

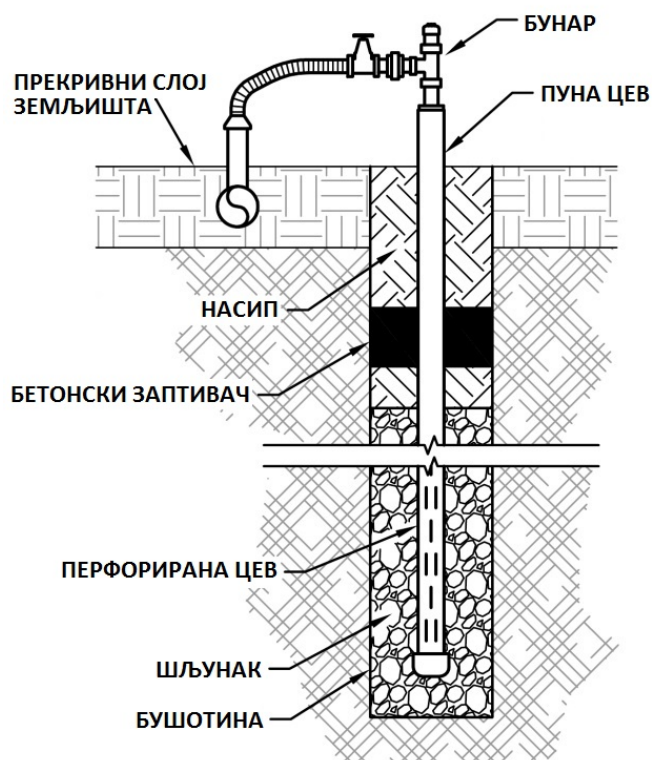
- екстракција гаса (прикупљање),
- процесирање (обрада) гаса,
- конверзија гаса (добивање енергије).

2.5.1. Екстракција

Систем за екстракцију депонијског гаса се састоји од перфорираних цеви које се утискују у тело депоније а транспорт гаса се може остварити природним путем (услед разлике у притисцима) или принудно, коришћењем компресора. У зависности од технике постављања цеви разликују се вертикални и хоризонтални метод.

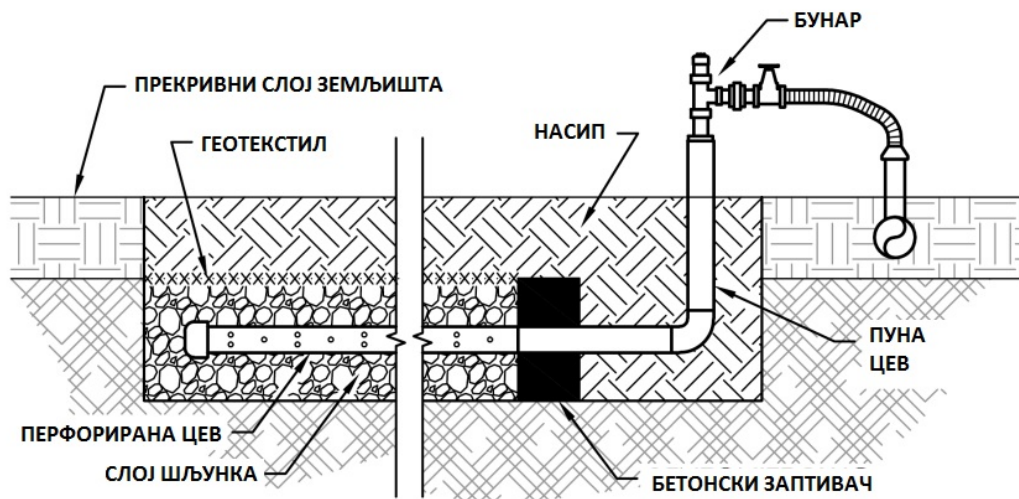
Вертикални метод, који представља и најчешће коришћени метод, огледа се у бушењу вертикалних бунара у тело депоније. Пречник бунара се креће у границама од 0,6 – 0,9 метара

а понекад се користе и до дупло мањи. Дубина постављања цеви зависи од дубине депоније и износи највише 75 % дубине депоније. Цеви се најчешће израђују од поливинил хлорида. У нижим деловима имају отворе кроз које пролази депонијски гас а на површини су међусобно спојене са цевоводом до компресора (или вентилатора) помоћу којег се постиже подпритисак за извлачење гаса.



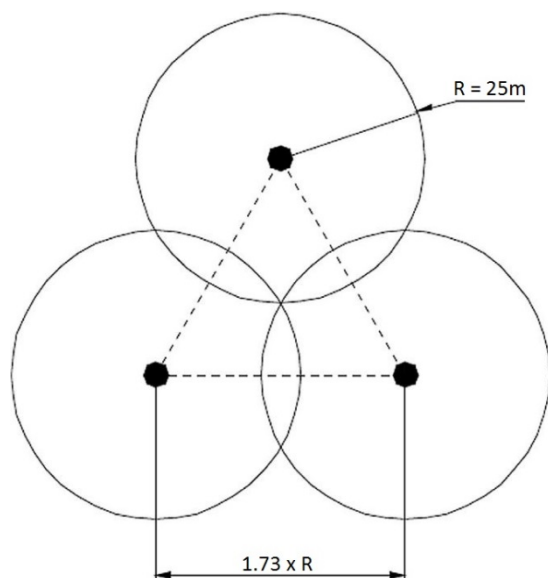
Слика 2.3 Вертикални метод екстракције депонијског гаса

Хоризонтални метод представља јефтинију варијанту и омогућује прикупљање депонијског гаса чак и за време активног одлагања отпада, што није могуће вертикалном методом. Цеви за прикупљање гаса се постављају у вертикалној равни и спојене су са главном вертикалном цевљу на коју се надовезује компресор. Могуће је коришћење и комбинације вертикалне и хоризонталне методе.



Слика 2.4 Хоризонтални метод екстракције депонијског гаса

Приликом постављања перфорираних цеви неопходно је одредити њихово међусобно растојање, јер у случају превеликог размака долази до неефикасног прикупљања гаса док је при мањим размацима потребно више цеви што повећава цену инсталације. Према [9] најефикасније прикупљање се врши на радијусу од 25 метара, па је цеви најбоље постављати као на слици 2.5.

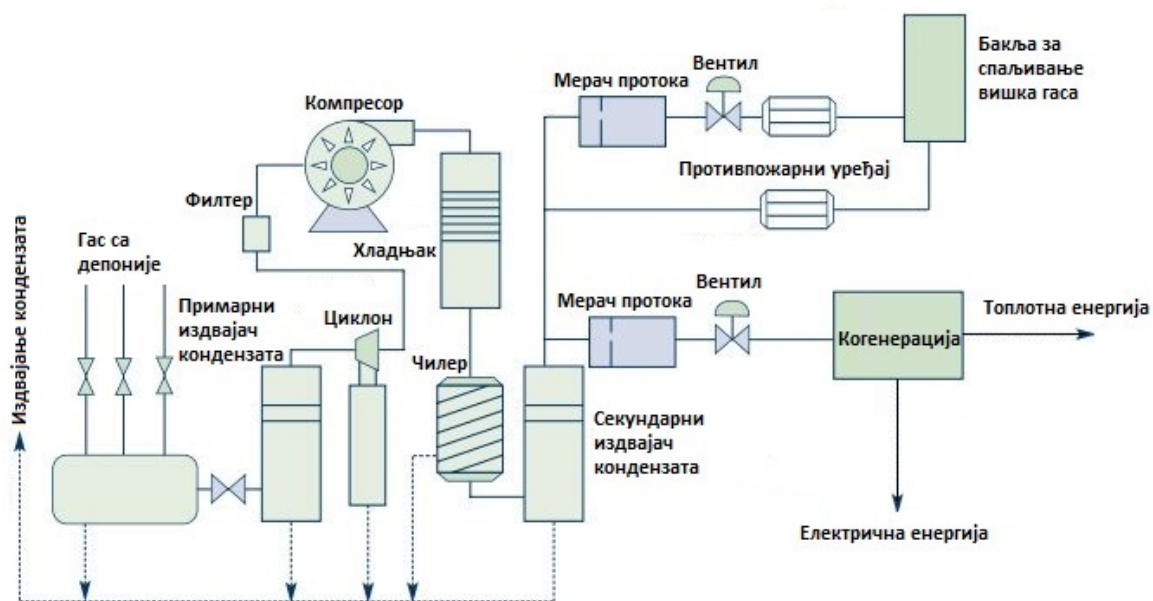


Слика 2.5 Начин постављања цеви

2.5.2. Процесирање

Сиров депонијски гас представља комплексну мешавину чије се компоненте налазе у сва три агрегатна стања. Осим стандардних састојака као што су метан, угљен диоксид и остали гасови, у депонијском гасу се могу наћи влага, као и честице прашине и друге нечистоће. Ако се не уклоне, нечистоће у депонијском гасу могу смањити ефикасност процеса експлоатације или чак потпуно онемогућити коришћење гаса. Из овог разлога гас треба пречистити пре даље

експлоатације. Третман пречишћавања гаса се може поделити на примарни и секундарни третман а од даље намене гаса зависи да ли ће третман бити једноставнији или комплекснији.



Слика 2.6 Примарно пречишћавање

Примарни третман се примењује како би се из гаса uklonили влага и прашина. Након екстракције, гас прво пролази кроз примарни издвајач влаге а затим кроз филтер где се издваја већи део честица. У компресору се под притиском гас загрева а затим хлади у хладњаку и чилеру где долази до додатног издвајања кондензата. Мерачем протока и вентилима се контролише количина гаса која иде ка мотору а вишак гаса се спаљује на бакљи. Систем за спаљивање гаса садржи и противпожарни уређај чија је улога да спречи паљење гаса дуж цевовода.

У секундарном третману, депонијски гас се још финије пречишћава, а користе се технологије као што су апсорпција и адсорпција. Уклањањем угљен диоксида из депонијског гаса добијају се синтетичка горива која могу садржати и до 90% метана. Ипак, секундарни третман захтева додатне финансијске трошкове па није често применљив осим ако се захтева већи квалитет горива.

2.5.3. Конверзија

Након пречишћавања депонијског гаса следи његова експлоатација. Најчешће се користи за добијање електричне енергије, топлотне, као и за комбинацију ова два процеса при чему се добија већи укупни степен корисности. На овај начин добијена електрична енергија се шаље у електродистрибутивну мрежу и наплаћује по повлашћеној цени, док се топлотна енергија може користити за грејање домаћинстава у зимском периоду, за стакленике, сушаре и друге термичке процесе.

Вишак депонијског гаса који се не може искористити не сме се испустити у атмосферу већ се треба спалити. Генерално, постоје два типа бакљи, са отвореним и затвореним пламеном. Први тип је једноставнији и јефтинији за уградњу и остварује ефикасност

сагоревања приближно 98%. Уградња бакље са затвореним пламеном представља скупљу варијанту али се остварује ефикасност од 99% и више.

2.6. Когенерација

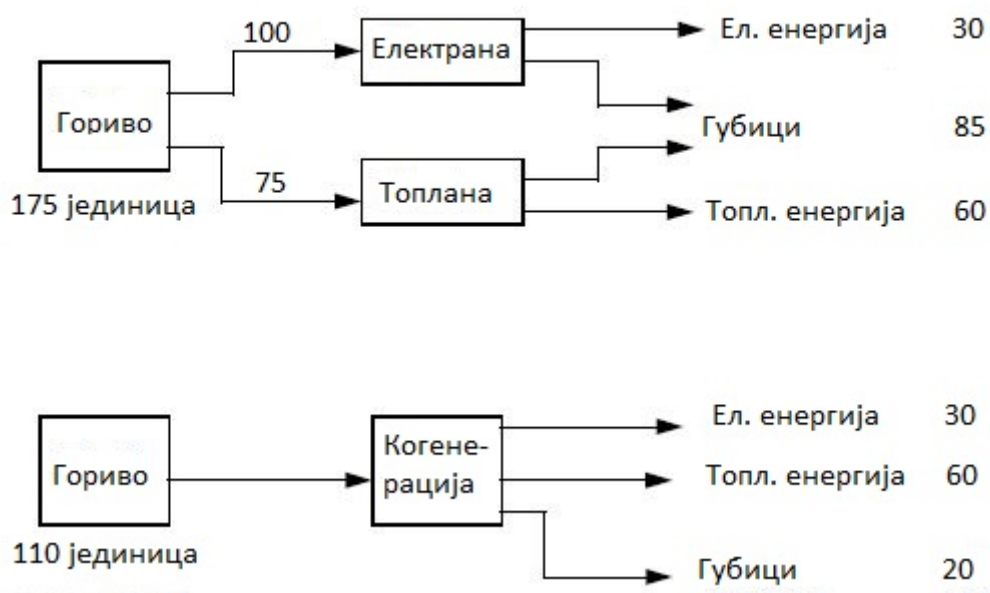
Огромни губици који настају у термоенергетским постројењима натерали су човека да размишља о повећању укупног степена корисности постројења. У просечној термоелектрани на угаљ степен корисности постројења се креће од 35 до 40 % [10]. Више од половине енергије се неповратно троши, што кроз хлађење и кондензацију, што кроз губитке у самом систему. Да би се део те енергије искористио примењују се когенерациона постројења. Когенерација (Combined Heat and Power) представља коришћење примарне енергије горива за производњу топлотне енергије и механичког рада, при чему се механички рад најчешће користи за добијање електричне енергије, док се топлотна енергија може користити за грејање стамбених објеката, болница, школа, касарна, спортских центара, аеродрома, стакленика као и у разним технолошким процесима за грејање и хлађење. Могу се користити конвенционална горива као што су угаљ, нафта и биогаз али и обновљиви извори енергије попут соларне енергије, биомасе и горивих ћелија. Типични когенерациони систем се састоји од следећих компоненти:

- мотор са унутрашњим сагоревањем,
- генератор наизменичне струје,
- измењивач топлоте за расхладну воду мотора, уље за подмазивање, гасна смеша и издувни гасови,
- разводни, управљачки и енергетски ормани са аутоматиком за синхронизацију и паралелан рад са нископритисном електричном мрежом [9].

При производњи електричне енергије у термоелектранама више од половине енергије се губи на топлоту. Когенерациони процеси смањују ове губитке коришћењем топлотне енергије за индустријску, комерцијалну или кућну употребу за грејање. Уколико се ради о класичним начинима генерисања електричне енергије морају се узети у обзир и губици преноса и дистрибуције електричне енергије путем електричне мреже.

Коришћењем отпадне топлоте при производњи електричне енергије, ефикасност когенерационих постројења може достићи вредност од 70 до 85 %, од чега је 27 – 45 % ефикасност добијене електричне енергије а 40 – 50 % топлотне енергије [10]. Код електрана које производе само електричну енергију укупан степен корисности се креће у границама од 30 до 51 % (електричне енергије).

Када је реч о укупном искоришћењу енергије на улазу (горива), конвенционалне електране искористе у просеку само 33 % горива док когенерационе искористе чак 77 % што је више него дупло.



Слика 2.7 Поређење посебне производње електричне и топлотне енергије са когенерацијом

Самим тим што је повећана укупна ефикасност процеса и смањена потрошња горива, долази се до закључка да је применом когенерације смањена и укупна количина емитованог угљен диоксида у атмосферу.

2.6.1. Класификација когенерационих система

Когенерациони системи се могу разврстати на више начина, па тако према инсталисаној снази електричне енергије постоје системи:

- мањих капацитета (испод 1 MW_{el}),
- средњих капацитета (од 1 до 5 MW_{el}),
- великих капацитета (преко 5 MW_{el}).

Према типу когенерационог постројења разликује се [11]:

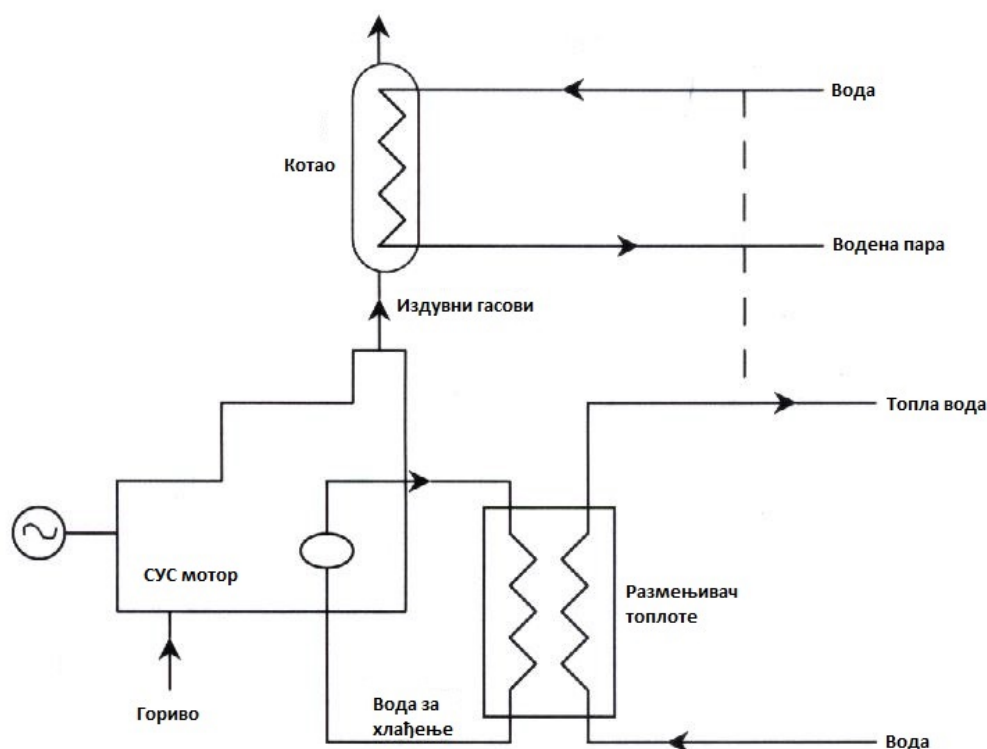
- парна турбина,
- гасна турбина,
- сус мотор,
- комбинација гасне и парне турбине,
- гориве ћелије,
- „striling“ мотори,
- тригенерација.

2.6.2. Мотори са унутрашњим сагоревањем

Због високе ефикасности, као и других предности, мотори са унутрашњим сагоревањем представљају најбољу опцију за примену когенерације на депонијски гас.

Постоје два основна типа мотора, дизел и ото мотори. У првој варијанти мешавина горива и ваздуха се компримује до одређеног притиска на коме настаје спонтано запаљивање горива под високом температуром проузрокованом повећањем притиска. У случају коришћења ото мотора, принцип паљења горива је нешто другачији. Смеша горива и ваздуха се компримује али се паљење изазива варницом.

Механичка енергија која се добија у мотору користи се директно за добијање електричне енергије. Издувни гасови настали сагоревањем горива имају високу температуру и користе се у котлу за загревање воде која се даље користи у термичким процесима. Приликом хлађења мотора добија се додатна топлотна енергија која се може искористити.



Слика 2.8 Шема процеса са мотором са унутрашњим сагоревањем

Предности процеса са СУС мотором су:

- мањи инвестициони трошкови у односу на остале процесе,
- кратак период уградње,
- висок степен корисности при променљивом оптерећењу,
- могућност паралелног повезивања више машина,
- лако одржавање,

Недостаци:

- присуство буке и вибрација током рада мотора,
- због великог броја покретних делова повећавају се трошкови одржавања,
- немогућност коришћења отпадне топлоте настале приликом хлађења мотора.

3. База података когенерационих потенцијала у Републици Србији

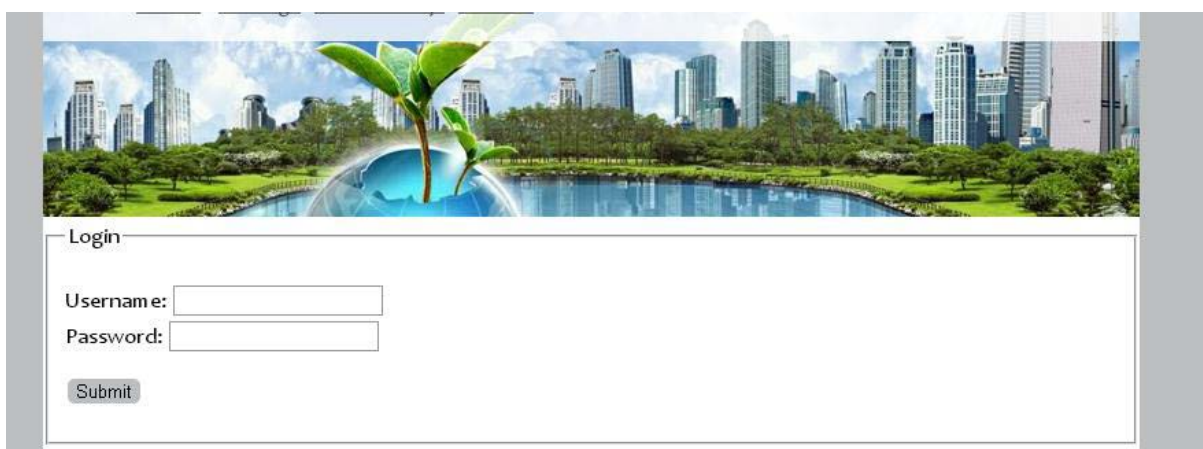
База података представља скуп међусобно повезаних података који су истовремено доступни свим корисницима и апликацијским програмима. Смештени су у спољну меморију рачунара, а њихово уношење, измена, брисање и читање обавља се помоћу заједничког програма. Систем за управљање базом података се назива сервер базе података. Он обликује физички приказ базе података у складу са логичком структуром и обавља све операције са подацима у име клијента. Такође, води рачуна о сигурности и аутоматизује административне послове са базом. У односу на класичне програмске језике, базе података представљају виши ниво рада са подацима.

Циљеви израде базе података за депоније комуналног отпада су:

- регистрација дивљих и старих депонија и уклањање истих у циљу неутралисања њиховог штетног дејства,
- отклањање могућих здравствених ризика за људе који живе у близини депонија,
- чување података о прикупљању и депоновању комуналног отпада,
- подизање еколошке свести грађана како се не би стварале нове дивље депоније.

Како би се направила квалитетна и поуздана база података потребно је придржавати се одговарајућег редоследа. Прво је потребно идентификовати санитарне и дивље депоније на подручјима посматрања. Затим треба прикупити и евидентирати податке о депонијама, након чега следи креирање базе података.

У тексту који следи биће више речи о бази података о комуналним депонијама на нивоу Републике Србије. Поменута база [12] је креирана у циљу лакшег сагледавања количине генерисаног отпада као и количине депонијског гаса на територији целе Србије по општинама. Подаци су доступни од године оснивања депоније па до године затварања, или до текуће године у случају да депонија још увек није затворена. Осим ових података, база садржи и податке као што су број становника, површина општине, координате, средња годишња температура, просечна вредност падавина и брзина ветра.



Слика 3.1 Почетна страница сајта

Почетна страна ове базе података садржи поље за попуњавање корисничког имена и шифре. У зависности од тога да ли је бази приступио администратор или корисник, страница ће попримити један од следећа два изгледа.

Када се улогује администратор, дата су му већа овлашћења у односу на корисника као што су уписивање података и њихова измена и ажурирање. Његов задатак је да прегледнијим приказивањем података омогући кориснику једноставније и ефикасније коришћење истих. Такође потребно је обезбедити приступ података како не би дошло до мењања података од стране корисника који нису за то овлашћени.

	ID
	ОПСТИНА
	БРОЈ СТАНОВНИКА
	ПОВРШИНА
	СРЕДЊА ГОДИШЊА ТЕМПЕРАТУРА (СГТ)
	ПРОСЕЧНА ВРЕДНОСТ ПАДАВИНА
	БРЗИНА ВЕТРА - ЈУЖНОГ
	БРЗИНА ВЕТРА - СЕВЕРНОГ
	КОРДИНАТЕ
	ПОВРШИНА ДЕПОНИЈА
	ВИСИНА ДЕПОНИЈА
	ЗАПРЕМИНА ДЕПОНИЈА
	ДЕПОНИЈСКИ ГАС
	ПОТРОШЊА МАЗУТА У ОПШТИНИ
	ПОТРОШЊА УГЉА У ОПШТИНИ
	МАПА

УПИС ПОДАТАКА
УПИШИ ПОДАТКЕ О ОПШТИНИ

Слика 3.2 Страница намењена администратору

Са друге стране корисник има само могућност сагледавања података из базе. Након логовања на главној страни се може видети карта Србије подељена на 5 региона:

- Војводина,
- Београд,
- Шумадија и Западна Србија,
- Јужна и Источна Србија,
- Косово и Метохија.



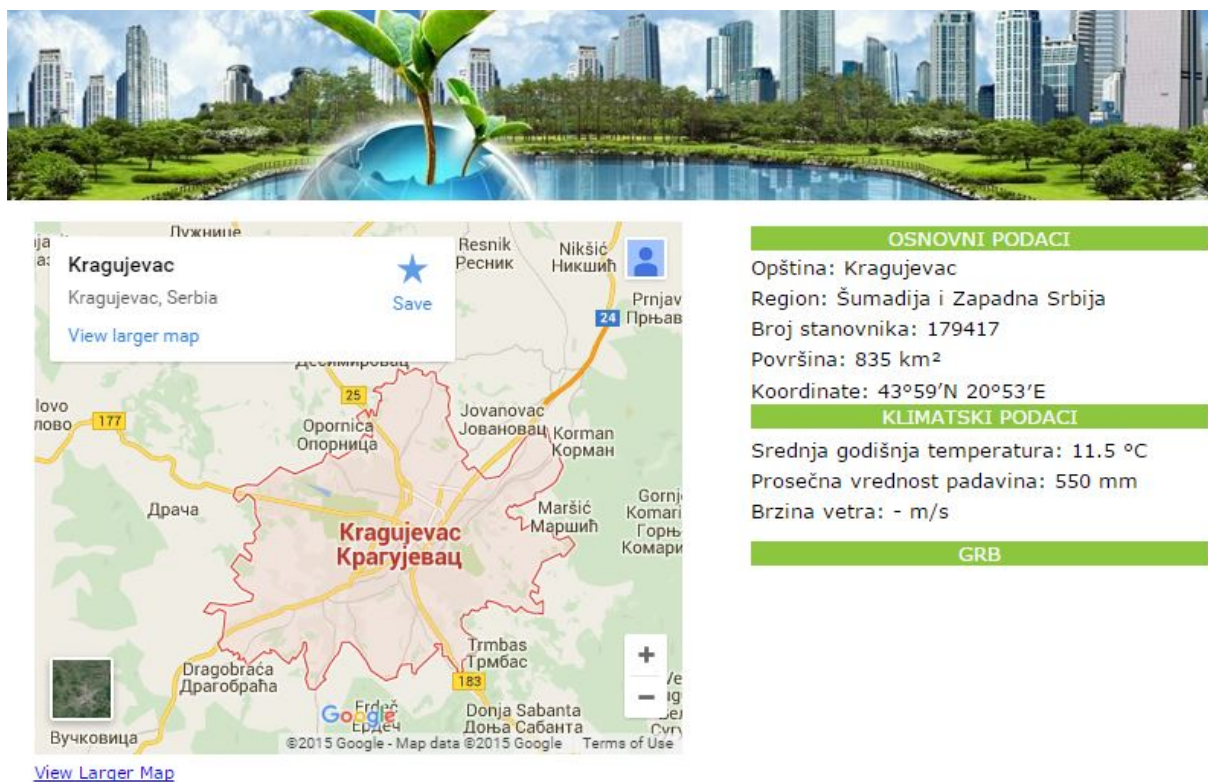
Слика 3.3 Страница Србија

Кликом на поље одређеног региона прелази се на страницу на којој је ближе приказан само тај регион.



Слика 3.4 Страница регион

Сваки регион је подељен и кликом на поље прелази се на страницу „општина“ где се детаљније могу видети подаци о одабраној општини. У горњем левом углу странице приказан је географски положај општине на карти Србије а у горњем десном се налазе основни подаци о општини као и климатски подаци (слика 3.5).



Слика 3.5 Страница општина – основни подаци

У доњем делу странице (слика 3.6) налази се знатно више података као што су:

- подаци о депонији,
- подаци о топланама,
- когенерациони потенцијал топлана,
- подаци о отпадним водама,
- когенерациони потенцијал.

PODACI O DEPONIJI		
Površina: 835 m ²	Zapremina: 2129803 m ³	 
Visina: 15 m	Godina osnivanja: 1980	
Ukupna količina deponovanog otpada: 2096400 t		
Prosečna godišnja količina otpada: 44604 t		
Deponijski gas: 674.81 [m ³ /h]		
PODACI O TOPLANAMA		
Naziv toplane: ENERGETIKA DOO KRAGUJEVAC		
Broj podstanica: 2010		
Broj instalisanih kotlova: 19		
Ukupna instalisana snaga kotlova: 358 [MWt/h]		
Ukupan sopstveni kotlovski kapacitet: 380 [MWT]		
Ukupna instalisana snaga konzuma: 266.36 [MW]		
Potrošnja gasa za grejnu sezonu: 6000000 m ³		
Potrošnja mazuta za grejnu sezonu: 9000 T/god.		
Potrošnja uglja za grejnu sezonu: 100000 T/god.		
KOGENERACIONI POTENCIJAL TOPLANA		
Toplotna energija: 358.05 [MW]		
Elektricna energija: 185.13 [MW]		
Ukupni kogeneracioni potencijal: 543.18 [MW]		
PODACI O OTPADNIM VODAMA		
Broj stanovnika urbanog područja: 149.520		
Broj stanovnika ruralnog područja: 28.291		
Pokrivenost urbanog stanovništva kanalizacijom: 91.3%		
Pokrivenost ruralnog stanovništva kanalizacijom: 0.5%		
Recipijent za ispuštanje otpadnih voda: reka Lepenica		
Postrojenje za tretman otpadnih voda: aerobni tretman		
Ispuštanje industrijskih otpadnih voda u komunalne: da		
Emisija metana urbanog stanovništva priključenog na kanalizaciju: 0 t/god		
Emisija metana urbanog stanovništva koji poseduju septičku jamu : 85.464 t/god		
Emisija metana ruralnog stanovništva priključenog na kanalizaciju: 0 t/god		
Emisija metana ruralnog stanovništva koji poseduju septičku jamu: 166.355 t/god		
Emisija metana ruralnog stanovništva koji poseduju nužnik: 3.717 t/god		
Ukupna emisija metana: 255.537 t/god		
KOGENERACIONI POTENCIJAL DEPONIJA		
Elektricna energija: 1135.00 [kW]		
Toplotna energija: 1078.00 [kW]		
Ukupni kogeneracioni potencijal: 2213 [kW]		

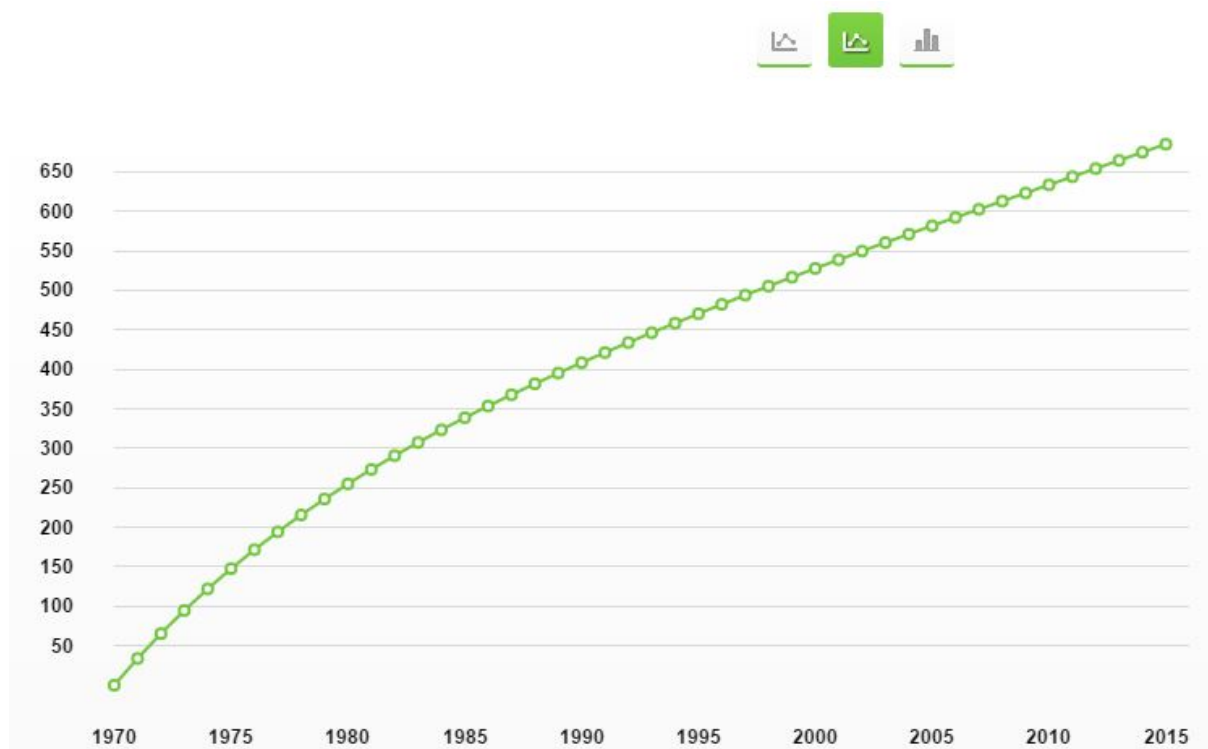
Слика 3.6 Страница општина – детаљније

Како би се видели детаљнији подаци о количини депонованог отпада потребно је кликнути на линк који се налази са десне стране. На овај начин се отвара нова страница на којој су приказани подаци о количини депонованог отпада од године оснивања депоније па до данас. У следећој колони је приказана укупна количина отпада, а у последњој количина генерисаног депонијског гаса.

Табела 3.1 Подаци о депоновању отпада за град Крагујевац

Година	Депоновано	Укупно	Гас
1970	38.200	38.200	0,00
1971	38.600	76.800	33,93
1972	39.000	115.800	65,40
1973	39.400	155.200	94,69
1974	39.800	195.000	122,02
1975	40.200	235.200	147,60
1976	40.600	275.800	171,62
1977	41.000	316.800	194,22
1978	41.400	358.200	215,57
1979	41.800	400.000	235,78
1980	42.200	442.200	254,97
1981	42.600	484.800	273,23
1982	43.000	527.800	290,66
1983	43.400	571.200	307,34
1984	43.800	615.000	323,34
1985	44.200	659.200	338,71
1986	44.600	703.800	353,53
1987	45.000	748.800	367,83
1988	45.500	794.300	381,66
1989	46.000	840.300	395,15
1990	46.500	886.800	408,34
1991	47.000	933.800	421,24
1992	47.500	981.300	433,88
1993	48.000	1.029.300	446,27
1994	48.500	1.077.800	458,45
1995	49.000	1.126.800	470,43
1996	49.500	1.176.300	482,21
1997	50.000	1.226.300	493,82
1998	50.500	1.276.800	505,27
1999	51.000	1.327.800	516,56
2000	51.500	1.379.300	527,72
2001	52.000	1.431.300	538,74
2002	52.500	1.483.800	549,64
2003	53.000	1.536.800	560,43
2004	53.500	1.590.300	571,11
2005	54.000	1.644.300	581,68
2006	54.500	1.698.800	592,17
2007	55.000	1.753.800	602,56
2008	55.600	1.809.400	612,87
2009	56.200	1.865.600	623,18
2010	56.800	1.922.400	633,51
2011	57.400	1.979.800	643,83
2012	58.000	2.037.800	654,16
2013	58.600	2.096.400	664,49
2014	59.000	2.155.400	674,81
2015	59.000	2.214.400	684,96

Ради бољег сагледавања података, могуће је и дијаграмски приказати количину отпада по години, укупну вредност по години, као и количину генерисаног депонијског гаса.



Слика 3.7 Дијаграмски приказ количине генерисаног депонијског гаса

Значај базе података у систему управљања отпадом је вишеструк. Осим лакшег сагледавања уредно прикупљених и приказаних података омогућује се широк спектар анализа. Када је позната количина депонованог отпада и генерисаног депонијског гаса много је лакше анализирати когенерациони потенцијал и одредити карактеристике когенерационог постројења.

4. Анализа когенерационих потенцијала на локалном, регионалном и републичком нивоу

Главни циљ овог рада је одређивање економске исплативости изградње когенерационог постројења на депонијама комуналног отпада, али пре тога неопходно је одредити когенерациони потенцијал. На основу њега одабирају се когенерациони мотори и процењују остали трошкови, као и приходи и расходи, након чега се може одредити период отплате укупне инвестиције.

Когенерациони потенцијал је максимална могућа снага когенерационог постројења која се може искористити, изражена у MW, али ће у овом случају бити представљен као количина генерисаног депонијског гаса, изражена у m^3/h . Разлог за ово је то што ће се одабир мотора извршити на основу потрошње горива, то јест депонијског гаса.

У поменућу базу података [12] имплементиран је модел за процену количине генерисаног депонијског гаса на основу једначине првог реда распада отпада. Израчунате вредности за општине по регионима приказане су у табели 4.1.

По регионима, највећи когенерациони потенцијал има Шумадија и Западна Србија са $4319,16 \text{ m}^3/\text{h}$, затим Београд са $3781,84 \text{ m}^3/\text{h}$, па Војводина са $3157,8 \text{ m}^3/\text{h}$, док најмањи потенцијал има Јужна и Западна Србија са само $2203,07 \text{ m}^3/\text{h}$.

Табела 4.1 Емисија депонијског гаса по општинама Републике Србије

Војводина		Шумадија и Западна Србија		Јужна и Источна Србија	
Општина	m^3/h	Општина	m^3/h	Општина	m^3/h
Суботица	562,86	Богатић	30,62	Смедерево	124,49
Кањижа	35,15	Шабац	184,44	Смедеревска Паланка	38,48
Сомбор	158,18	Лозница	28,29	Пожаревац	121,76
Бачка Топола	23,9	Крупањ	14,48	Велико Градиште	26,21
Сента	67,75	Осечина	11,56	Кучево	39,45
Киkinda	78,38	Коцељева	10,45	Жагубица	2,96
Кула	136,13	Лајковац	3,73	Мајданпек	28,35
Мали Иђош	10,56	Ваљево	114,38	Кладово	10,09
Бечеј	61,05	Косјерић	13,69	Неготин	85,07
Нови Бечеј	42,75	Љиг	13,78	Бор	62,35
Оџаци	20,87	Аранђеловац	245,19	Бољевац	9,91
Врбас	141,49	Ужице	451,09	Сокобања	29,97
Бачка Паланка	118,79	Пожега	138,18	Књажевац	87,64
Зрењанин	75,08	Горњи Милановац	120,16	Алексинач	6,84
Нови Сад	845,77	Топола	52,94	Сврљиг	73,67
Беоцин	59,52	Чајетина	81,98	Прокупље	229,37
Шид	67,01	Чачак	149,81	Мерошина	44,64
Сремска Митровица	143,04	Крагујевац	674,81	Ниш	411,93
Рума	62,02	Свилајнац	4,76	Пирот	170,1
Инђија	98,79	Лапово	23,11	Дмитровград	110,89
Стара Пазова	64,85	Пријепоље	49,09	Босилеград	44,83
Панчево	61,01	Нова Варош	28,57	Бујановац	62,79

Ковачица	29,94	Ивањица	109,3	Прешево	151,54
Алибунар	11,59	Краљево	232,76	Лесковац	175,3
Вршац	141,49	Врњачка Бања	158,1	Судрлица	54,44
Бела Црква	39,83	Рековац	36,71		
Београд		Јагодина	334,52		
Општина	m ³ /h	Параћин	125,37		
Палилула	3781,84	Варварин	60,32		
		Трстеник	76,11		
		Крушевац	236,86		
		Александровац	215,5		
		Брус	10,07		
		Нови Пазар	249,86		
		Сјеница	28,57		

4.1. Подстицајне мере за коришћење обновљивих извора енергије

Фосилна горива још увек представљају главни извор енергије на светском нивоу. Међутим, због штетности фосилних горива по околину, тежи се ка томе да се замене са обновљивим изворима енергије, који су мање економски исплативи али је њихово штетно дејство по природу знатно мање. Из овог разлога примењују се економске мере подстицања коришћења обновљивих извора енергије као и ограничења у емитовању штетних гасова. Република Србија је усвојила више законских и подзаконских докумената којима се подстиче коришћење обновљивих извора енергије. Према закону о енергетици члан 59. Став 6. („Службени гласник РС”, бр. 57/11, 80/11 –исправка, 93/12 и 124/12) и члан 42. став 1. Закона о влади („Службени гласник РС”, бр. 55/05, 71/05-исправка, 101/07, 65/08, 16/11, 68/12 – УС и 72/12), влада је донела уредбу о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије.

Табела 4.2 Подстицајне мере коришћења обновљивих извора енергије [13]

Врста електране повлашћеног произвођача	Инсталисана снага P (MW)	Подстицајна откупна цена (с€/kWh)
Хидроелектрана	< 0,2	12,40
	0,2 - 0,5	13,727-6,633·P
	0,5 - 1	10,41
	1 - 10	10,747-0,337·P
	10 - 30	7,38
	На постојећој инфраструктури < 30	5,9
Електрана на биомасу	< 1	13,26
	1 - 10	13,82 - 0,56·P
	> 10	8,22
Електрана на биогаз	< 0,2	15,66
	0,2 - 1	16,498 - 4,188·P
	> 1	12,31
	Животињског порекла	12,31
Електране на депонијски гас и		

гас из постројења за третман комуналних отпадних вода		6,91
Електране на ветар		9,20
Соларне електране	На објекту < 0,03	20,66
	На објекту 0,03 - 0,5	20,941 - 9,383·P
	На земљи	16,25
Геотермалне електране	< 1	9,67
	1 – 5	10,358-0,688·P
	> 5	6,92
Електране на отпад		8,57
Електране са комбинованом производњом на угаљ	< 10	8,04
Електране са комбинованом производњом на природни гас	< 10	8,89

Овим документом није дефинисана цена по којој би се продавала топлотна енергија па ће се у прорачуну усвојити цена коју прописује „Енергетика“ Д.О.О која износи 5 дин/kWh [14].

4.2. Избор мотора

Мотори са унутрашњим сагоревањем представљају најбољу опцију за искоришћење депонијског гаса као енергента за добијање електричне енергије. Погодни су због своје релативно ниске цене, високог степена корисности при променљивим оптерећењима. Такође, могу се лако преносити на другу локацију, лако се одржавају и кратак је период искључивања и укључивања.

У пракси се најчешће користе два мотора, један веће један мање снаге. Пожељно је да потрошња гаса једног мотора буде приближно 60 % расположивог гаса а другог 30 %, тако да укупна потрошња не буде виша од количине гаса који се прикупи са депоније. Разлог за ово је променљивост количине гаса који се добије са депоније. На овај начин се постиже ефикасно коришћење депонијског гаса као горива, при већим количинама могу се користити оба мотора док се при мањим количинама може користити само мотор са мањом потрошњом. Уколико дође до кvara на мотору могуће је лако и брзо заменити га другим мотором, како се не би прекинула производња за време кvara.

4.3. Инвестициони трошкови

Мотори са унутрашњим сагоревањем, поменути у претходном поглављу, представљају највећу инвестицију приликом изградње когенерационог постројења. Цена мотора зависи од инсталисане снаге а креће се од 2500 €/kW за моторе мањих снага па до 300 €/kW за веће снаге. Формула по којој се рачунају инвестициони трошкови је следећа:

$$I_m = 4639 \cdot P_{el}^{-0.333} \quad (4.1)$$

P_{el} – електрична снага мотора.

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију депонијског гаса првенствено зависе од површине депоније, то јест од броја постављених цеви за прикупљање гаса. Одржавање система, као и одржавање мотора врши се сваке друге године почевши од прве године након почетка рада постројења. За трошкове одржавања усваја се вредност која износи 4 % од укупне инвестиције.

Према [15], трошкови изградње машинске зграде постројења за град Крагујевац износе приближно 24.000€. Ради поједностављења прорачуна, ова вредност биће усвојена за све општине.

4.4. Период повраћаја инвестиционих улагања

Период повраћаја инвестиција представља главни показатељ оправданости и исплативости неког пројекта и представља број година за који ће се почетна уложена средства исплатити. На најједноставнији начин се може израчунати:

$$T_{pi} = I/P_g \quad (4.2)$$

I – инвестициона улагања,

P_g – укупан годишњи профит.

Под појмом инвестициона улагања се подразумевају почетна улагања у пројекат. Овде се убрају трошкови куповине когенерационих мотора, система за прикупљање, процесирање и конверзију депонијског гаса, као и изградњу машинске зграде.

Укупан годишњи профит представља разлику укупних годишњих прихода и укупних годишњих расхода. Приход се остварује од продаје електричне и топлотне енергије као финалног производа а расходи су трошкови одржавања, плате радника и порез на добит.

5. Техно-економска анализа когенерационих постројења за искоришћење депонијског гаса

У тексту који следи биће приказан прорачун за 13 одабраних општина за које је процењено да се исплати примена когенерације на депонијама комуналног отпада. Критеријум за одабир општине је била количина депонијског гаса, тако да су одабране општине у којима се генерише више од 200 m³/h.

5.1. Суботица

Суботица је административни центар Севернобачког округа. Налази се на само 10 km од границе са Мађарском а 30 km од Хоргоша. Заједно са још 18 насеља, заузима површину од 1.008 km². Према последњем попису има 141.554 становника.



Слика 5.1 Изглед депоније у Суботици

Отпад се одлаже на депонију „Александровачка бара“ која се налази 2 km јужно од центра града, у близини пруге Београд – Суботица. Површина депоније је 20,98 ha са просечном висином од 5 m. Укупна количина депонованог отпада је 1.562.964 t.

Табела 5.1 Морфолошки састав отпада у општини Суботица

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	13,7
2. Остали биоразградиви отпад	30,17
3. Папир	5,25

4. Стакло	5,05
5. Картон	6,13
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,65
8. Метал-амбалажни и остали	1,64
9. Метал - Al конзерве	0,15
10. Пластични амбалажни отпад	3,71
11. Пластичне кесе	6,40
12. Тврда пластика	5,04
13. Текстил	7,49
14. Кожа	1,04
15. Пелене	4,48
16. Фини елементи	8,70

На депонији се генерише 562,86 m³/h депонијског гаса. Због ефикасности система за прикупљање од 60 % могуће је искористити 337,16 m³/h. На основу ових података усвајају се когенерациони мотори приказани у наредној табели.

Табела 5.2 Усвојени когенерациони мотори за општину Суботица

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасност (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
2G J526 B	526	553	40,4	42,5	303.000	12.120	202,03
FMB-320- BSM	260	289	40,8	45,4	190.000	7.600	98,88

За трошкове изградње машинске зграде усваја се претходно израчуната вредност од 24.000 € која ће се користити и у прорачунима за остале општине. Трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 663.750 €, тако да су укупни инвестициони трошкови 1.180.750 €. Са друге стране, трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе 46.270 €.

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$526\text{kW} \cdot 0,404 + 260\text{kW} \cdot 0,408 = 318,6\text{kW}, \quad (5.1)$$

а топлотне:

$$553\text{kW} \cdot 0,425 + 289\text{kW} \cdot 0,454 = 366,2\text{kW}. \quad (5.2)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$318,6 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 192.853€, \quad (5.3)$$

а приход од топлотне енергије:

$$366,2 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 132.558\text{€}. \quad (5.4)$$

Табела 5.3 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	325.411	325.411	325.411	325.411	325.411	325.411	325.411
Топлотна енергија	132.558	132.558	132.558	132.558	132.558	132.558	132.558
Електрична енергија	192.853	192.853	192.853	192.853	192.853	192.853	192.853
ОДЛИВ [€]	1.246.891	112.411	66.141	112.411	66.141	112.411	66.141
Инвестиције	1.180.750	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	46.270	0	46.270	0	46.270	0
Плате	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600
Порез на добит	32.541	32.541	32.541	32.541	32.541	32.541	32.541
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-921.480	213.000	259.270	213.000	259.270	213.000	259.270
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-921.480	-708.480	-449.210	-236.210	23.059	236.059	495.329

Период отплате инвестиције је 5 година.

5.2. Нови Сад

Нови Сад је највећи и главни град Аутономне Покрајине Војводине и други град по величини у Републици Србији. Лежи на обали Дунава, на граници између Бачке и Срема, испод Фрушке Горе. Заузима површину од 699 km² и према последњем попису има 359.951 становника.



Слика 5.2 Изглед депоније у Новом Саду

Депонија у Новом Саду налази се на око 7 km северно од центра града. Заузима површину од 28,11 ha са просечном висином од 7 метара. Основана је 1980. године и по последњим подацима укупна количина отпада који је депонован износи 3.471.300 t.

Табела 5.4 Морфолошки састав отпада у општини Нови Сад

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	13,37
2. Остали биоразградиви отпад	30,17
3. Папир	5,25
4. Стакло	5,05
5. Картон	6,13
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,65
8. Метал-амбалажни и остали	1,64
9. Метал - Al конзерве	0,15
10. Пластични амбалажни отпад	3,71
11. Пластичне кесе	6,40
12. Тврда пластика	5,04
13. Текстил	7,49

14. Кожа	1,04
15. Пелене	4,48
16. Фини елементи	8,70

На депонији се генерише 845,77 m³/h депонијског гаса. Услед ефикасности прикупљања од 60 % могуће је искористити 507,46 m³/h. На основу ових података усвајају се мотори дати у табели 5.5.

Табела 5.5 Усвојени когенерациони мотори за општину Нови Сад

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасност (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
BIEM844	844	843	41,9	41,8	415.200	16.600	312,57
FSC-500-BSM	400	403	39,3	39,6	252.300	10.100	157,94

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 888.750 €, а укупни инвестициони трошкови 1.580.250 €. Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе 62.250 €.

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$844\text{kW} \cdot 0,419 + 400\text{kW} \cdot 0,393 = 513,8\text{kW}, \quad (5.5)$$

а топлотне:

$$843\text{kW} \cdot 0,418 + 403\text{kW} \cdot 0,396 = 501,1\text{kW}. \quad (5.6)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$513,8 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 331.011\text{€}, \quad (5.7)$$

а приход од топлотне енергије:

$$501,1 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 181.390\text{€}. \quad (5.8)$$

Табела 5.6 Економски ток пројекта

Опис	I година	II година	III година	IV година	V година	VI година	VII година
ПРИЛИВ [€]	512.401	512.401	512.401	512.401	512.401	512.401	512.401
Топлотна енергија	181.390	181.390	181.390	181.390	181.390	181.390	181.390

Електрична енергија	331.011	331.011	331.011	331.011	331.011	331.011	331.011
ОДЛИВ [€]	1.681.490	163.490	101.240	163.490	101.240	163.490	101.240
Инвестиције	1.580.250	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	62.250	0	62.250	0	62.250	0
Плате	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Порез на добит	51.240	51.240	51.240	51.240	51.240	51.240	51.240
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-1.169.089	348.911	411.161	348.911	411.161	348.911	411.161
КУМУЛАТИ В НЕТО ПРИЛИВА [€]	-1.169.089	-820.178	-409.017	-60.106	351.055	699.965	1.111.126

Период отплате инвестиције је 4 године.

5.3. Београд

Београд је главни и највећи град у Републици Србији. Налази се на ушћу Саве у Дунав, као и на граници између Панонске низије и Балканског полуострва. Подељен је на 17 општина, а према последњем попису има 1.233.769 становника.



Слика 5.3 Изглед депоније у Београду

Београдска депонија „Винча“ налази се на десет километара источно од центра града у близини насеља Винча. Основана је 1980. Године, а до сада је на њу депоновано 10.374.000 t отпада. Депонија заузима површину од 43 ha.

Табела 5.7 Морфолошки састав отпада у општини Београд

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	6,68
2. Остали биоразградиви отпад	30,93
3. Папир	10,78
4. Стакло	6,84
5. Картон	8,97
6. Картон-восак	1,74
7. Картон алуминијум	1,20
8. Метал-амбалажни и остали	1,98
9. Метал - Al конзерве	0,40
10. Пластични амбалажни отпад	4,58
11. Пластичне кесе	5,61
12. Тврда пластика	4,73
13. Текстил	5,31
14. Кожа	0,61

15. Пелене	3,67
16. Фини елементи	5,98

На депонији се генерише $3.781,84 \text{ m}^3/\text{h}$ депонијског гаса. Због ефикасности прикупљања од 60 % могуће је искористити $2.269,1 \text{ m}^3/\text{h}$. На основу ових података усвајају се мотори приказани у наредној табели.

Табела 5.8 Усвојени когенерациони мотори за општину Београд

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикасно ст (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрош ња горива [m ³ /h]
620 BG	2.739	2.741	42,5	42,5	910.540	36.420	1.000,04
620 BG	2.739	2.741	42,5	42,5	910.540	36.420	1.000,04

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 1.361.250€, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 1.361.250\text{€} + 2 \times 910.540\text{€} = 3.206.330\text{€}. \quad (5.9)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$54.450\text{€} + 2 \times 36.420\text{€} = 127.290\text{€}. \quad (5.10)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$2 \cdot 2793\text{kW} \cdot 0,425 = 2.374\text{kW}, \quad (5.11)$$

а топлотне:

$$2 \cdot 2741\text{kW} \cdot 0,425 = 2.330\text{kW}. \quad (5.12)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$2.374 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 1.437.020\text{€}, \quad (5.13)$$

а приход од топлотне енергије:

$$2.330 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 843.421\text{€}. \quad (5.14)$$

Табела 5.9 Економски ток пројекта

Опис	I година	II година	III година	IV година	V година	VI година	VII година
ПРИЛИВ [€]	2.280.441	2.280.441	2.280.441	2.280.441	2.280.441	2.280.441	2.280.441

Топлотна енергија	843.421	843.421	843.421	843.421	843.421	843.421	843.421
Електрична енергија	1.437.020	1.437.020	1.437.020	1.437.020	1.437.020	1.437.020	1.437.020
ОДЛИВ [€]	3.644.374	565.334	438.044	565.334	438.044	565.334	438.044
Инвестиције	3.206.330	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	127.290	0	127.290	0	127.290	0
Плате	210.000	210.000	210.000	210.000	210.000	210.000	210.000
Порез на добит	228.044	228.044	228.044	228.044	228.044	228.044	228.044
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-1.363.933	1.715.107	1.842.397	1.715.107	1.842.397	1.715.107	1.842.397
КУМУЛАТИ В НЕТО ПРИЛИВА [€]	-1.363.933	351.174	2.193.571	3.908.678	5.751.075	7.466.181	9.308.578

Период отплате инвестиције је 2 године.

5.4. Аранђеловац

Аранђеловац је град и општина у Шумадијском округу. Општина поред града обухвата и 18 сеоских насеља који заједно заузимају површину од 376 km². Према последњим подацима, у општини живи 48.129 становника.



Слика 5.4 Изглед депоније у Аранђеловцу

Депонија у општини Аранђеловац налази се северно од града, у близини насеља Мисача. Основана је 2001. године и заузима површину од 3,21 ha. Укупна количина депонованог отпада до 2015. године је 459.701 t.

Табела 5.10 Морфолошки састав отпада у општини Аранђеловац

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

Количина депонијског гаса који се генерише на депонији износи 245,19 m³/h. Услед ефикасности прикупљања од 60 % могуће је искористити 147,11 m³/h. На основу ових података усвојени су мотори приказани у наредној табели:

Табела 5.11 Усвојени когенерациони мотори за општину Аранђеловац

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрош ња горива [m ³ /h]
2G A206 BG	220	229	40,6	43,04	169.370	6.780	84,08
FMB- 125-BSM	101	158	33,8	52,8	100.770	4.030	46,37

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 101.250 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 101.250\text{€} + 169.370\text{€} + 100.770\text{€} = 395.390\text{€}. \quad (5.15)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$4.050\text{€} + 6.780\text{€} + 4.030\text{€} = 14.860\text{€}. \quad (5.16)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$220\text{kW} \cdot 0,406 + 101\text{kW} \cdot 0,338 = 123,46\text{kW}, \quad (5.17)$$

а топлотне:

$$229\text{kW} \cdot 0,4304 + 158\text{kW} \cdot 0,528 = 182\text{kW}. \quad (5.18)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$123,46 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 74.732\text{€}, \quad (5.19)$$

а приход од топлотне енергије:

$$182 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 65.881\text{€}. \quad (5.20)$$

Табела 5.12 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	140.613	140.613	140.613	140.613	140.613	140.613	140.613
Топлотна енергија	65.881	65.881	65.881	65.881	65.881	65.881	65.881
Електрична енергија	74.732	74.732	74.732	74.732	74.732	74.732	74.732
ОДЛИВ [€]	430.451	49.921	35.061	49.921	35.061	49.921	35.061
Инвестиције	395.390	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	14.860	0	14.860	0	14.860	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	14.061	14.061	14.061	14.061	14.061	14.061	14.061
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-289.838	90.692	105.552	90.692	105.552	90.692	105.552
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-289.838	-199.147	-93.595	-2.903	102.649	193.340	298.892

Период отплате инвестиције је 4 године.

5.5. Ужице

Град Ужице налази се у Западној Србији, у долини реке Ђетиње. Административни је центар Златиборског округа. Општина се простире на 667 km², а према последњем попису има 83.022 становника.

Табела 5.13 Морфолошки састав отпада у општини Ужице

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	10,00
2. Остали биоразградиви отпад	30,56
3. Папир	7,90
4. Стакло	4,74
5. Картон	6,12
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,62
8. Метал-амбалажни и остали	1,38
9. Метал - Al конзерве	0,57
10. Пластични амбалажни отпад	3,01
11. Пластичне кесе	9,18
12. Тврда пластика	5,77
13. Текстил	5,67
14. Кожа	0,36
15. Пелене	4,08
16. Фини елементи	9,32

На депонији у општини Ужице генерише се 451,09 m³/h од чега се може искористити 270,65 m³/h. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.14 Усвојени когенерациони мотори за општину Ужице

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасност (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
FMB-500-BSM	400	456	40,2	45,8	252.350	10.100	154,4
Cento T200 BG	200	253	38,4	48,5	158.940	6.360	80,82

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 236.250 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 236.250\text{€} + 252.350\text{€} + 158.940\text{€} = 671.540\text{€}. \quad (5.21)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$10.100\text{€} + 6.360\text{€} + 9450\text{€} = 25.910\text{€}. \quad (5.22)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$400\text{kW} \cdot 0,402 + 200\text{kW} \cdot 0,384 = 237,6\text{kW}, \quad (5.23)$$

а топлотне:

$$456\text{kW} \cdot 0,458 + 253\text{kW} \cdot 0,485 = 331,55\text{kW}. \quad (5.24)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$237,6 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 143.823\text{€}, \quad (5.25)$$

а приход од топлотне енергије:

$$456 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 165.064\text{€}. \quad (5.26)$$

Табела 5.15 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	308.887	308.887	308.887	308.887	308.887	308.887	308.887
Топлотна енергија	165.064	165.064	165.064	165.064	165.064	165.064	165.064
Електрична енергија	143.823	143.823	143.823	143.823	143.823	143.823	143.823
ОДЛИВ [€]	736.029	90.399	64.489	90.399	64.489	90.399	64.489
Инвестиције	671.540	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	25.910	0	25.910	0	25.910	0
Плате	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600
Порез на добит	30.889	30.889	30.889	30.889	30.889	30.889	30.889
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-427.142	218.488	244.398	218.488	244.398	218.488	244.398

КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-427.142	-208.653	35.745	254.233	498.632	717.120	961.518
---	----------	----------	--------	---------	---------	---------	---------

Период отплате инвестиције је 3 године.

5.6. Крагујевац

Град Крагујевац је средиште Шумадијског округа. Налази се у централном делу Србије стотинак километара јужно од Београда. Општина града заузима површину од 835 km², а према последњим подацима има 179.417 становника.



Слика 5.5 Изглед депоније у Крагујевцу

Депонија се налази у насељу Јовановац и основана је 1970. године. Налази се на површини од 14,2 ha са просечном висином отпада од 15 m. Према последњим подацима, на депонију је до 2015. године одложено 2.096.400 t отпада.

Табела 5.16 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

На депонији у Јовановцу генерише се 674,81 m³/h од чега се може искористити 404,88 m³/h. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.17 Усвојени когенерациони мотори за општину Крагујевац

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикаснос т (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања а (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
BIEM635	635	684	40	43	343.460	13.740	264,33
FMB- 375-BSM	300	403	36,9	49,57	208.290	8.330	126,15

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 450.000 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 343.460\text{€} + 208.290\text{€} + 450.000\text{€} = 1.025.750\text{€}. \quad (5.27)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$13.740\text{€} + 8.330\text{€} + 18.000\text{€} = 40.070\text{€}. \quad (5.28)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$635\text{kW} \cdot 0,4 + 300\text{kW} \cdot 0,369 = 364,7\text{kW}, \quad (5.29)$$

а топлотне:

$$684\text{kW} \cdot 0,43 + 403\text{kW} \cdot 0,4957 = 493,9\text{kW}. \quad (5.30)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$364,7 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 220.758\text{€}, \quad (5.31)$$

а приход од топлотне енергије:

$$493,9 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 178.783\text{€}. \quad (5.32)$$

Табела 5.18 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	399.541	399.541	399.541	399.541	399.541	399.541	399.541
Топлотна енергија	178.783	178.783	178.783	178.783	178.783	178.783	178.783
Електрична енергија	220.758	220.758	220.758	220.758	220.758	220.758	220.758
ОДЛИВ [€]	1.107.704	122.654	81.954	122.654	81.954	122.654	81.954
Инвестиције	1.025.750	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	40.700	0	40.700	0	40.700	0
Плате	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000
Порез на добит	39.954	39.954	39.954	39.954	39.954	39.954	39.954
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-708.163	276.887	317.587	276.887	317.587	276.887	317.587
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-708.163	-431.276	-113.689	163.198	480.785	757.671	1.075.258

Период отплате инвестиције је 3 и по године.

5.7. Краљево

Град Краљево заузима простор око доњег тока реке Ибар и средњег тока Западне Мораве и административни је центар Рашког округа. Општина се простире на 1.530 km² што је чини највећом општином по површини у Републици Србији. Према последњем попису, у Краљеву живи 125.448 становника.



Слика 5.6 Изглед депоније у Краљеву

Отпад се одлаже на депонију на локацији „Кулагића Ада“, која се налази на 4,5 km од центра града и заузима површину од 6,27 ha. Основана је 1975. године, и до 2015. године је депоновано 664.507 t отпада.

Табела 5.19 Морфолошки састав отпада у општини Краљево

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	10,00
2. Остали биоразградиви отпад	30,56
3. Папир	7,90
4. Стакло	4,74
5. Картон	6,12
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,62
8. Метал-амбалажни и остали	1,38
9. Метал - Al конзерве	0,57
10. Пластични амбалажни отпад	3,01
11. Пластичне кесе	9,18
12. Тврда пластика	5,77

13. Текстил	5,67
14. Кожа	0,36
15. Пелене	4,08
16. Фини елементи	9,32

Од 232,76 m³/h генерисаног депонијског гаса, могуће је искористити 139,65 m³/h. На основу ових података усвајају се когенерациони мотори дати у табели 5.20:

Табела 5.20 Усвојени когенерациони мотори за општину Краљево

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикаснос т (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавањ а (4% од цене)[€]	Потрошњ а горива [m ³ /h]
Cento T200 BG	200	253	38,4	48,5	158.930	6.360	80,82
FMB- 125-BSM	101	158	33,8	52,8	100.770	4.030	46,37

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 191.250 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 158.930\text{€} + 100.770\text{€} + 191.250\text{€} = 474.950\text{€}. \quad (5.33)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$6.360\text{€} + 4.030\text{€} + 7.650\text{€} = 18.040\text{€}. \quad (5.34)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$200\text{kW} \cdot 0,384 + 101\text{kW} \cdot 0,338 = 110,9\text{kW}, \quad (5.35)$$

а топлотне:

$$253\text{kW} \cdot 0,485 + 158\text{kW} \cdot 0,528 = 206,1\text{kW}. \quad (5.36)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$110,9 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 67.129\text{€}, \quad (5.37)$$

а приход од топлотне енергије:

$$206,1 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 74.605\text{€}. \quad (5.38)$$

Табела 5.21 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	141.734	141.734	141.734	141.734	141.734	141.734	141.734
Топлотна енергија	74.605	74.605	74.605	74.605	74.605	74.605	74.605
Електрична енергија	67.129	67.129	67.129	67.129	67.129	67.129	67.129
ОДЛИВ [€]	510.123	53.213	35.173	53.213	35.173	53.213	35.173
Инвестиције	474.950	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	18.040	0	18.040	0	18.040	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	14.173	14.173	14.173	14.173	14.173	14.173	14.173
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-368.389	88.521	106.561	88.521	106.561	88.521	106.561
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-368.389	-279.869	-173.308	-84.788	21.773	110.294	216.854

Период отплате инвестиције је 5 година.

5.8. Јагодина

Јагодина се налази на реци Белици у средњем Поморављу и административни је центар Поморавског округа. Општина се простире на 470 km² обухвата 54 насеља. Према последњем попису становништва има 71.195 становника.



Слика 5.7 Изглед депоније у Јагодини

Депонија у Јагодини налази се на 13 km северно од града и обухвата површину од 5,17 ha. Основана је 1967. године а до 2015. године одложено је 1.130.167 t отпада.

Табела 5.22 Морфолошки састав отпада у општини Јагодина

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

На депонији се генерише $334,52 \text{ m}^3/\text{h}$ од чега се може искористити $200,71 \text{ m}^3/\text{h}$. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.23 Усвојени когенерациони мотори за општину Јагодина

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасност (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
есо 280 BG	280	370	36,3	48	198.920	7.960	119,69
2G 150 BG	150	208	37,62	49,51	131.180	5.250	61,87

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 157.500 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 198.920\text{€} + 131.180\text{€} + 157.500\text{€} = 511.600\text{€}. \quad (5.39)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$7.960\text{€} + 5.250\text{€} + 6.300\text{€} = 19.510\text{€}. \quad (5.40)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$280\text{kW} \cdot 0,363 + 150\text{kW} \cdot 0,3762 = 158,1\text{kW}, \quad (5.41)$$

а топлотне:

$$370\text{kW} \cdot 0,48 + 208\text{kW} \cdot 0,4951 = 280,6\text{kW}. \quad (5.42)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$158,1 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 95.700\text{€}, \quad (5.43)$$

а приход од топлотне енергије:

$$280,6 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 101.572\text{€}. \quad (5.44)$$

Табела 5.24 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	197.272	197.272	197.272	197.272	197.272	197.272	197.272
Топлотна енергија	101.572	101.572	101.572	101.572	101.572	101.572	101.572
Електрична енергија	95.700	95.700	95.700	95.700	95.700	95.700	95.700
ОДЛИВ [€]	560.727	68.637	49.127	68.637	49.127	68.637	49.127
Инвестиције	511.600	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	19.510	0	19.510	0	19.510	0
Плате	29.400	29.400	29.400	29.400	29.400	29.400	29.400
Порез на добит	19.727	19.727	19.727	19.727	19.727	19.727	19.727
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-363.455	128.635	148.145	128.635	148.145	128.635	148.145
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-363.455	-234.820	-86.676	41.959	190.104	318.739	466.884

Период отплате инвестиције је 4 године.

5.9. Крушевац

Крушевац, административни центар Расинског округа, налази се у централном делу Србије, у долини реке Западне Мораве и Расине. Општина Крушевац има површину од 854 km², а према последњем попису 127.429 становника.



Слика 5.8 Изглед депоније у Крушевцу

Депонија комуналног отпада у Крушевцу налази се 7 km од града у близини насеља Срње. Заузима 5,35 ha и у употреби је од 1975. године. Укупна количина отпада који је депонован до текуће године износи 657.934 t.

Табела 5.25 Морфолошки састав отпада у општини Крушевац

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

На депонији се генерише $236,86 \text{ m}^3/\text{h}$ од чега се може искористити $142,11 \text{ m}^3/\text{h}$. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.26 Усвојени когенерациони мотори за општину Крушевац

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикасно ст (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
agenitor206	220	232	40,6	42,8	169.360	6.770	84,08
MGM 105 BG	104	132	37,5	47,7	102.750	4.110	43,03

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 168.750 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 169.360\text{€} + 102.750\text{€} + 168.750\text{€} = 296.110\text{€}. \quad (5.45)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$6.770\text{€} + 4.110\text{€} + 6750\text{€} = 17.630\text{€}. \quad (5.46)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$220\text{kW} \cdot 0,406 + 104\text{kW} \cdot 0,375 = 128,3\text{kW}, \quad (5.47)$$

а топлотне:

$$232\text{kW} \cdot 0,428 + 132\text{kW} \cdot 0,477 = 162,2\text{kW}. \quad (5.48)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$128,3 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 77.662\text{€}, \quad (5.49)$$

а приход од топлотне енергије:

$$162,2 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 58.714\text{€}. \quad (5.50)$$

Табела 5.27 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	136.376	136.376	136.376	136.376	136.376	136.376	136.376
Топлотна енергија	58.714	58.714	58.714	58.714	58.714	58.714	58.714
Електрична енергија	77.662	77.662	77.662	77.662	77.662	77.662	77.662
ОДЛИВ [€]	330.748	52.268	34.638	52.268	34.638	52.268	34.638
Инвестиције	296.110	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	17.630	0	17.630	0	17.630	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	13.638	13.638	13.638	13.638	13.638	13.638	13.638
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-194.372	84.108	101.738	84.108	101.738	84.108	101.738
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-194.372	-110.263	-8.525	75.584	177.322	261.430	363.169

Период отплате инвестиције је 3 године.

5.10. Александровац

Град Александровац се налази у Расинском округу, између планина Копаоник, Јастребац и Гоч. Општина града заузима површину од 387 km² и броји 29.389 становника.



Слика 5.9 Изглед депоније у Александровцу

Александровачка депонија налази се у месту Сињевац, 2 km западно од града, и заузима 0,7 ha. Основана је 1965. године а до 2015. је депоновано приближно 379.320 t отпада.

Табела 5.28 Морфолошки састав отпада у општини Александровац

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	16,16
2. Остали биоразградиви отпад	36,32
3. Папир	4,72
4. Стакло	2,95
5. Картон	4,25
6. Картон-восак	0,46
7. Картон алуминијум	0,54
8. Метал-амбалажни и остали	1,00
9. Метал - Al конзерве	0,33
10. Пластични амбалажни отпад	3,17
11. Пластичне кесе	6,24
12. Тврда пластика	2,88
13. Текстил	4,45
14. Кожа	0,50
15. Пелене	4,15
16. Фини елементи	11,88

На депонији се генерише 215,5 m³/h депонијског гаса од чега се може искористити 129,3 m³/h. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.29 Усвојени когенерациони мотори за општину Алксандровац

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасн ост (ел. Енергија) [%]	Ефикаснос т (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
ENER-G 190MB	191	225	38,7	45,7	154.130	6170	76,48
2G 100 BG	100	126	38	47,53	100.100	4.000	40,83

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 22.500 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 154.130\text{€} + 100.100\text{€} + 22.500\text{€} = 300.730\text{€}. \quad (5.51)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$6.170\text{€} + 4.000\text{€} + 900\text{€} = 11.070\text{€}. \quad (5.52)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$191\text{kW} \cdot 0,387 + 100\text{kW} \cdot 0,38 = 111,9\text{kW}, \quad (5.53)$$

а топлотне:

$$225\text{kW} \cdot 0,457 + 126\text{kW} \cdot 0,4753 = 162,7\text{kW}. \quad (5.54)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$111,9 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 67.735\text{€}, \quad (5.55)$$

а приход од топлотне енергије:

$$162,7 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 58.895\text{€}. \quad (5.56)$$

Табела 5.30 Економски ток пројекта

Опис	I година	II година	III година	IV година	V година	VI година	VII година
ПРИЛИВ [€]	126.630	126.630	126.630	126.630	126.630	126.630	126.630
Топлотна енергија	58.895	58.895	58.895	58.895	58.895	58.895	58.895

Електрична енергија	67.735	67.735	67.735	67.735	67.735	67.735	67.735
ОДЛИВ [€]	334.393	45.363	33.663	45.363	33.663	45.363	33.663
Инвестиције	300.730	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	11.700	0	11.700	0	11.700	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	12.663	12.663	12.663	12.663	12.663	12.663	12.663
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-207.763	81.267	92.967	81.267	92.967	81.267	92.967
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-207.763	-126.496	-33.529	47.738	140.705	221.972	314.939

Период отплате инвестиције је 3 и по године.

5.11. Нови Пазар

Нови Пазар је град и општина у јужном делу Рашке области. Лежи на реци Рашки и окружен је планинама Рогозна и Голија и Пештерском висоравни. Целокупна општина заузима површину од 742 km² и има 100.140 становника.



Слика 5.10 Изглед депоније у Новом Пазару

Отпад се одлаже на депонију „Голо брдо“ која се налази на око 20 km јужно од града. Површина депоније је 2,39 ha. Основана је 1980. године, а до 2015. године депоновано је 676.249 t отпада.

Табела 5.31 Морфолошки састав отпада у општини Нови Пазар

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	9,70
2. Остали биоразградиви отпад	32,40
3. Папир	5,00
4. Стакло	4,64
5. Картон	8,02
6. Картон-восак	1,38
7. Картон алуминијум	0,95
8. Метал-амбалажни и остали	1,61
9. Метал - Al конзерве	0,22
10. Пластични амбалажни отпад	3,26

11. Пластичне кесе	7,30
12. Тврда пластика	4,56
13. Текстил	6,87
14. Кожа	0,67
15. Пелене	5,19
16. Фини елементи	8,24

На депонији се генерише $249,86 \text{ m}^3/\text{h}$ депонијског гаса, од чега се може искористити $149,91 \text{ m}^3/\text{h}$. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.32 Усвојени когенерациони мотори за општину Нови Пазар

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикаснос т (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
FMB- 285-BSM	233	253	38,1	41,4	175.980	7.040	94,89
GS R6 104 BG	104	108	38,2	39,6	102.750	4.110	42,24

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 67.500 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 175.980\text{€} + 102.750\text{€} + 67.500\text{€} = 370.230\text{€}. \quad (5.57)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$7.040\text{€} + 4.110\text{€} + 2700\text{€} = 13.850\text{€}. \quad (5.58)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$233\text{kW} \cdot 0,381 + 104\text{kW} \cdot 0,382 = 128,5\text{kW}, \quad (5.59)$$

а топлотне:

$$253\text{kW} \cdot 0,414 + 108\text{kW} \cdot 0,396 = 147,5\text{kW}. \quad (5.60)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$128,5 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 77.783\text{€}, \quad (5.61)$$

а приход од топлотне енергије:

$$147,5 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 53.392\text{€}. \quad (5.62)$$

Табела 5.33 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	131.175	131.175	131.175	131.175	131.175	131.175	131.175
Топлотна енергија	53.392	53.392	53.392	53.392	53.392	53.392	53.392
Електрична енергија	77.783	77.783	77.783	77.783	77.783	77.783	77.783
ОДЛИВ [€]	404.348	47.968	34.118	47.968	34.118	47.968	34.118
Инвестиције	370.230	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	13.850	0	13.850	0	13.850	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	13.118	13.118	13.118	13.118	13.118	13.118	13.118
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-273.173	83.208	97.058	83.208	97.058	83.208	97.058
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-273.173	-189.965	-92.908	-9.700	87.358	170.565	267.623

Период отплате инвестиције је 5 година.

5.12. Прокупље

Град Прокупље административни је центар Топличког округа. Налази се на реци Топлици, између планина Велики Јастребац, Мали Јастребац и Видојевица. Општина се простире на површини од 759 km² и има 48.500 становника.

Табела 5.34 Морфолошки састав отпада у општини Прокупље

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	13,37
2. Остали биоразградиви отпад	30,17
3. Папир	5,25
4. Стакло	5,07
5. Картон	6,13
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,65
8. Метал-амбалажни и остали	1,64
9. Метал - Al конзерве	0,15
10. Пластични амбалажни отпад	3,71
11. Пластичне кесе	6,40
12. Тврда пластика	5,04
13. Текстил	7,49
14. Кожа	1,04
15. Пелене	4,48
16. Фини елементи	8,70

На депонији у општини Прокупље генерише се 229,37 m³/h од чега се може искористити 137,62 m³/h. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.35 Усвојени когенерациони мотори за општину Прокупље

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикасност (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
Cento T200 BG	200	253	38,4	48,5	158.930	6.360	80,82
BIEM104	104	127	38,4	46,9	102.750	4.110	42,02

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 360.000 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 158.930\text{€} + 102.750\text{€} + 360.000\text{€} = 645.680\text{€}. \quad (5.63)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$6.360\text{€} + 4.110\text{€} + 14.400\text{€} = 24.870\text{€}. \quad (5.64)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$200\text{kW} \cdot 0,384 + 104\text{kW} \cdot 0,384 = 116,7\text{kW}, \quad (5.65)$$

а топлотне:

$$253\text{kW} \cdot 0,485 + 127\text{kW} \cdot 0,496 = 182,3\text{kW}. \quad (5.66)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$116,7 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 70.640\text{€}, \quad (5.67)$$

а приход од топлотне енергије:

$$182,3 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 65.989\text{€}. \quad (5.68)$$

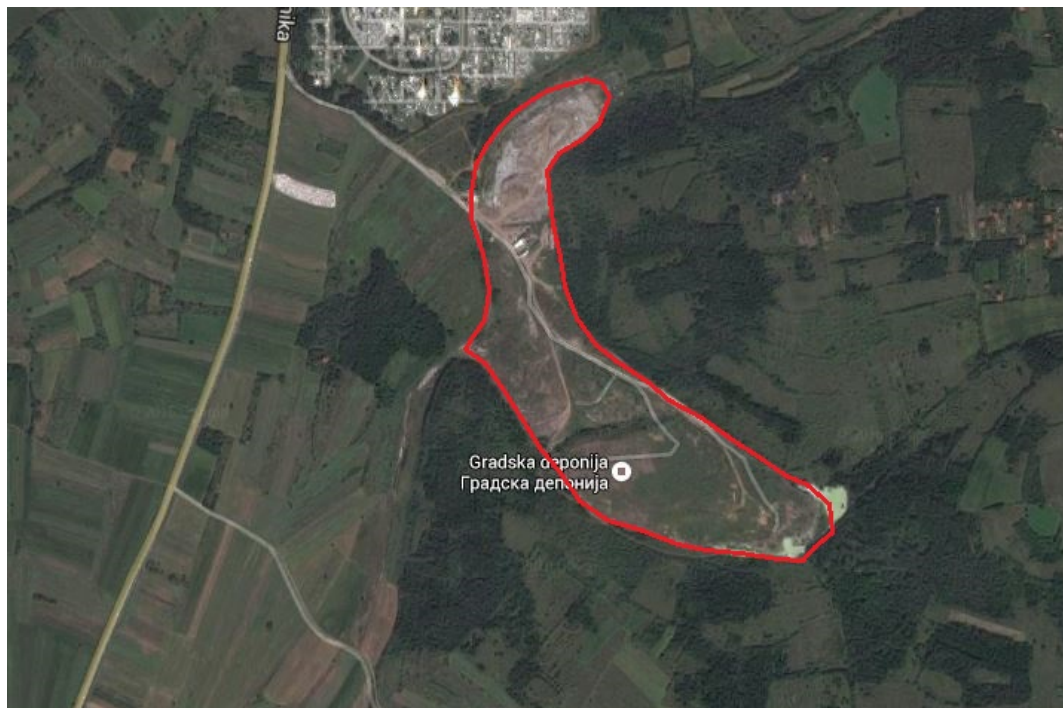
Табела 5.36 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	136.629	136.629	136.629	136.629	136.629	136.629	136.629
Топлотна енергија	65.989	65.989	65.989	65.989	65.989	65.989	65.989
Електрична енергија	70.640	70.640	70.640	70.640	70.640	70.640	70.640
ОДЛИВ [€]	673.343	59.533	34.663	59.533	34.663	59.533	34.663
Инвестиције	638.680	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	24.870	0	24.870	0	24.870	0
Плате	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000
Порез на добит	13.663	13.663	13.663	13.663	13.663	13.663	13.663
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-536.714	77.096	101.966	77.096	101.966	77.096	101.966
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-536.714	-459.618	-357.652	-280.556	-178.590	-101.493	473

Период отплате инвестиције је 7 година.

5.13. Ниш

Град Ниш је административни центар Нишавског округа. Смештен је на реци Нишави у близини њеног ушћа у Јужну Мораву. Општина се простире на 597 km², а према последњем попису има 260.237 становника.



Слика 5.11 Изглед депоније у Нишу

Градска депонија налази се на око 5 km јужно од града на површини од 13,53 ha. Почела је са радом од 1980. године а до 2015. је депоновано 1.108.385 t отпада.

Табела 5.37 Морфолошки састав отпада у општини Ниш

Категорија отпада	Масени удео [%]
1. Баштенски отпад	10,00
2. Остали биоразградиви отпад	30,56
3. Папир	7,90
4. Стакло	4,74
5. Картон	6,12
6. Картон-восак	0,71
7. Картон алуминијум	0,62
8. Метал-амбалажни и остали	1,38
9. Метал - Al конзерве	0,57
10. Пластични амбалажни отпад	3,01
11. Пластичне кесе	9,18
12. Тврда пластика	5,77
13. Текстил	5,67
14. Кожа	0,36

15. Пелене	4,08
16. Фини елементи	9,32

На депонији се генерише $411,93 \text{ m}^3/\text{h}$ од чега се може искористити $247,16 \text{ m}^3/\text{h}$. На основу ових података усвајају се следећи когенерациони мотори:

Табела 5.38 Усвојени когенерациони мотори за општину Ниш

Модел	Снага (ел. Енергија) [kW]	Снага (топл. Енергија) [kW]	Ефикасно ст (ел. Енергија) [%]	Ефикасно ст (топл. Енергија) [%]	Цена мотора [€]	Трошкови одржавања (4% од цене)[€]	Потрошња горива [m ³ /h]
BIEM400	400	375	42,8	40,1	252.350	10.100	145,02
FMB- 230-BSM	185	215	37,9	44,1	150.880	6.040	75,74

Инвестициони трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса износе 427.500 €, а укупни инвестициони трошкови:

$$24.000\text{€} + 252.350\text{€} + 150.880\text{€} + 427.500\text{€} = 854.730\text{€}. \quad (5.69)$$

Укупни трошкови одржавања, у које се убрајају трошкови одржавања мотора и трошкови одржавања система, износе:

$$10.100\text{€} + 6.040\text{€} + 17.100\text{€} = 33.240\text{€}. \quad (5.70)$$

Количина произведене електричне енергије се може израчунати на следећи начин:

$$400\text{kW} \cdot 0,428 + 185\text{kW} \cdot 0,379 = 241,3\text{kW}, \quad (5.71)$$

а топлотне:

$$375\text{kW} \cdot 0,401 + 215\text{kW} \cdot 0,441 = 245,2\text{kW}. \quad (5.72)$$

Укупан годишњи приход од продаје електричне енергије је:

$$241,3 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 146.062\text{€}, \quad (5.73)$$

а приход од топлотне енергије:

$$245,2 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 88.758\text{€}. \quad (5.74)$$

Табела 5.39 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	234.820	234.820	234.820	234.820	234.820	234.820	234.820
Топлотна енергија	88.758	88.758	88.758	88.758	88.758	88.758	88.758
Електрична енергија	146.062	146.062	146.062	146.062	146.062	146.062	146.062
ОДЛИВ [€]	911.812	90.322	57.082	90.322	57.082	90.322	57.082
Инвестиције	854.730	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	33.240	0	33.240	0	33.240	0
Плате	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600	33.600
Порез на добит	23.482	23.482	23.482	23.482	23.482	23.482	23.482
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-676.992	144.498	177.738	144.498	177.738	144.498	177.738
КУМУЛАТИВ НЕТО ПРИЛИВА [€]	-676.992	-532.494	-354.756	-210.258	-32.520	111.978	289.716

Период отплате инвестиције је 5 година.

5.14. Техно-економска анализа пројекта на републичком нивоу

Након анализе економске исплативости за појединачне општине, следи анализа на републичком нивоу. На овај начин биће лакше сагледати све економске и еколошке добити.

Укупна количина депонијског гаса која се генерише на депонијама у 13 одабраних депонија је $8.472,36 \text{ m}^3/\text{h}$

Табела 5.40 Укупни инвестициони трошкови и трошкови одржавања

Општина	Трошкови система за прикупљање и конверзију гаса [€]	Трошкови одржавања система [€]	Трошкови когенерационих мотора [€]	Трошкови одржавања мотора [€]
Суботица	663.750	26.550	493.000	19.720
Нови сад	888.750	35.550	667.500	26.700
Београд	1.361.250	54.450	1.821.080	72.840
Аранђеловац	101.250	4.050	270.140	10.810
Ужице	236.250	9.450	411.290	16.460
Крагујевац	450.000	18.000	551.750	22.070
Краљево	191.250	7.650	259.700	10.390
Јагодина	157.500	6.300	330.100	13.210
Крушевац	168.750	6.750	272.110	10.880
Александровац	22.500	900	254.230	10.170
Нови Пазар	67.500	2.700	278.730	11.150
Прокупље	360.000	14.400	261.680	10.470
Ниш	427.500	17.100	403.230	16.140
Укупно	5.096.250	203.850	6.274.540	251.010

Укупни инвестициони трошкови пројекта једнаки су збиру трошкова куповине когенерационих мотора, система за прикупљање и конверзију гаса, као и трошкова за изградњу објекта:

$$6.274.540\text{€} + 5.096.250\text{€} + 312.000\text{€} = 11.682.790\text{€}, \quad (5.75)$$

а укупни трошкови одржавања:

$$251.010\text{€} + 203.850\text{€} = 454.860\text{€} \quad (5.76)$$

Сабирањем вредности за свих тринаест општина долази се до укупне количине произведене електричне енергије која износи $4.927,86\text{kW}$, и укупне топлотне енергије која износи $5.591,35\text{kW}$.

Годишња зарада која би се остварила продајом електричне енергије износи:

$$4.927,86 \cdot 6,91 \cdot 24 \cdot 365 / 100 = 2.982.912\text{€}, \quad (5.77)$$

а зарада од топлотне енергије:

$$5.591,35 \cdot 5 \cdot 24 \cdot 365 / 121 = 2.023.976\text{€}. \quad (5.78)$$

Табела 5.41 Економски ток пројекта

Опис	<i>I година</i>	<i>II година</i>	<i>III година</i>	<i>IV година</i>	<i>V година</i>	<i>VI година</i>	<i>VII година</i>
ПРИЛИВ [€]	5.006.888	5.006.888	5.006.888	5.006.888	5.006.888	5.006.888	5.006.888
Топлотна енергија	2.023.976	2.023.976	2.023.976	2.023.976	2.023.976	2.023.976	2.023.976
Електрична енергија	2.982.912	2.982.912	2.982.912	2.982.912	2.982.912	2.982.912	2.982.912
ОДЛИВ [€]	12.741.679	1.513.749	1.058.889	1.513.749	1.058.889	1.513.749	1.058.889
Инвестиције	11.682.790	0	0	0	0	0	0
Одржавање	0	454.860	0	454.860	0	454.860	0
Плате	558.200	558.200	558.200	558.200	558.200	558.200	558.200
Порез на добит	500.689	500.689	500.689	500.689	500.689	500.689	500.689
НЕТО ПРИЛИВ [€]	-7.734.791	3.493.139	3.947.999	3.493.139	3.947.999	3.493.139	3.947.999
КУМУЛАТИ В НЕТО ПРИЛИВА [€]	-7.734.791	-4.241.652	-293.652	3.199.487	7.147.486	10.640.625	14.588.624

Из табеле 5.41. долази се до закључка да је период отплате инвестиције на републичком нивоу 3 године.

6. Закључак

Циљ овог рада је процена когенерационог потенцијала на депонијама комуналног отпада у Републици Србији, као и процена економске исплативости когенерационих постројења на депонијски гас.

Подаци о количини гаса који се генерише на депонијама преузети су из базе података когенерационих потенцијала, креиране од стране Факултета инжењерских наука у Крагујевцу. У бази је имплементирана једначина првог реда распада отпада помоћу које се на основу улазних података добијају подаци о количини депонијског гаса за одабрану депонију. Према доступној литератури, економски се исплати изградња когенерационих постројења на депонијама на којима се генерише више од $200 \text{ m}^3/\text{h}$ депонијског гаса. Према овом критеријуму, одабрано је 13 општина у Републици Србији за које је спроведена детаљна техно-економска анализа изградње когенерационих постројења на депонијама комуналног отпада.

Период отплате инвестиције у одабраним општинама се креће између две и седам година. Ово првенствено зависи од количине гаса који се генерише, али и од многих других фактора, као што су састав депонованог отпада, старост отпада, стање депоније, итд.

Уколико би се инвестирало у свих 13 општина у изградњу когенерационих постројења, укупна инвестиција би износила око 11,6 милиона €. Период отплате свих постројења збирно износи три године. Такође, изградњом постројења омогућило би се отварање нових радних места у поменутих општинама.

Занемарујући економске бенефите, овим пројектом би се смањила емисија метана у атмосферу за $22.265.362 \text{ m}^3$ на годишњем нивоу. Коришћењем депонијског гаса за добијање електричне енергије би се растеретиле термоелектране па би се знатно смањила и употреба фосилних горива.

Литература:

- [1] Службени гласник Републике Србије (2009), *Закон о управљању отпадом*, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 36
- [2] Службени гласник Републике Србије (2010), *Национална стратегија за управљање отпадом за период 2010-2019*, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 29
- [3] Бојан Батинић (2015), *Модел за предвиђање количине амбалажног и биоразградивог отпада применом неуронских мрежа*, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
- [4] Небојша Јовичић (2004), *Управљање чврстим отпадом*, скрипта са предавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
- [5] Дејан Убавин (2011), *Модел емисије и редукције метана – гаса стаклене баште генерисаног на депонијама комуналног отпада у Србији*, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
- [6] <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>, приступ 12.12.2015.
- [7] <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/landgem-v302-guide.pdf>, приступ 12.12.2015.
- [8] http://www.epa.gov/lmop/documents/pdfs/UsersManual_UkraineLFGModel.pdf, приступ 12.12.2015.
- [9] Juan Carlos Rubio-Romero, Rafael Arjona-Jiménez, Antonio López-Arquillos (2012), *Profitability analysis of biogas recovery in Municipal Solid Waste landfills*, Journal of Cleaner Production, Volume 55, pp 84-91
- [10] Милун Бабић, Небојша Лукић, Душан Гордић (2008), *Енергија и животна средина*, скрипта са предавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу
- [11] Драгољуб Живковић (2015), *Когенерација*, Машински факултет у Нишу, Универзитет у Нишу
- [12] <http://kogeneracija.fink.rs/>, приступ 12.12.2015.
- [13] Службени гласник Републике Србије (2011), *Уредба о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије*, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 57
- [14] Енергетика Д.О.О (2013), *Одлука о повећању цена топлотне енергије бр 9/17*, Крагујевац
- [15] Марко Јефтовић (2012), *Идејно решење постројења за когенерацију депонијског гаса из комуналног отпада града Крагујевца*, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу