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: 338/2012

Немања Стевановић

Могућности искоришћења депонијског гаса

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Небојша Јовичић
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2014.

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да:

истражи могућност искоришћења депонијског гаса као обновљивог извора енергије, са посебним освртом на процес когенерације. При томе, пажњу треба посветити истраживању когенерационих модула и мотора са унутрашњим сагоревањем, доступним на тржишту, који за погон користе депонијски гас. Такође, кандидат треба да, на основу доступних математичких модела и расположивих података о управљању отпадом у граду Крагујевцу, процени енергетски потенцијал градске депоније и предложи идејно решење постројења за когенерацију које би било изграђено на постојећој депонији. Након тога, потребно је да спроведе техно-економску анализу дефинисаног идејног решења, и прикаже исплативост ове инвестиције, као и бенефите које би град остварио спровођењем овакве врсте пројекта.

Препоручена литература:

[1] Небојша Јовичић, „Управљање чврстим отпадом“, Факултет инжењерских наука Унверзитет у Крагујевцу, 2004.

[2] Горан Вујић, „Управљање отпадом и проблеми у вези са израдом и спровођењем локалних и регионалних планова управљања отпадом“, Факултет техничких наука Универзитет у Новом Саду

[3] Горан Вујић, Милан Мартинов, Дејан Убавин, „Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе (Waste to energy) на територији АП Војводине и РС“, Департман за инжењерство заштите животне средине, 2008.

Крагујевац, 2014.

Ментор:
Проф. Др Небојша Јовичић

_____

Резиме рада:

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

Као једно од решења за претходно наведени проблем депоније, у оквиру овог рада предлаже се изградња постројења за когенерацију. У раду је коришћењем софтвера *Ukraine LFG Model v1,* израчуната тренутна продукција депонијског гаса, која износи 574 m^3/h и енергетски потенцијал ове количине гаса, који износи 0,6 MWh. Затим је у оквиру рада истражен 61 модел мотора са унутрашњим сагоревањем, тј. њихове цене и карактеристике и одабрани су одговарајући модели за депонију града Крагујевца. Детаљном економском анализом дошло се до висине инвестиције и исплативости пројекта. Инвестиција којом би се решио проблем депоније у Крагујевцу је на нивоу од око 985.400 €, и то 450.000 € за изградњу система за прикупљање и процесирање гаса, 518.000 € за куповину мотора и 17.400 € за објекат у којем би било смештено когенерационо постројење. Цена електричне енергије одређена је одлуком владе Републике Србије, док је за цену топлотне енергије узета тренутна цена коју прописује „Енергетика“ Д.О.О. Продајом електричне и топлотне енергије, постројење би на годишњем нивоу остваривало зараду од око 260.000 €, а део новца одлазио би на плате радника, трошкове одржавања и порез на добит. Инвестиција би била отплаћена за 5 година и 4 месеци, а након тога постројење би пословало са добицима.

Кључне речи: депонијски гас, депонија, когенерација, отпад

Abstract:

The City of Kragujevac has a landfill in Jovanovacwith a large amount of unused landfill gas. The landfill has neither gas collection system, nor torches for flaring, so the methane contained in the landfill gas is emitted into the atmosphere. Such a landfill represents an environmental threat to the city and the population due to emission of gases, and explosiveness of methane; and from the environmental point of view, it should be closed. On the other hand, technically speaking, this gas has an energy potential, since it can be used for production of a certain amount of electricity and heat by the cogeneration process. A part of the energy produced in this way could be used in the cogeneration plant itself, and the rest of the energy could be sold to nearby households at predetermined prices.

As one of the solutions to the mentioned landfill problem, this paper proposes the construction of a cogeneration facility. By using *Ukraine LFG Model v1* software in framework of this paper, the potential amount of the deposited gas was calculated, amounting to 574m^3/h, and the energy potential of this quantity of gas, which is 0.6 MWh. Sixty-one models of internal combustion engines were examined in this study, i.e. their prices and qualities, and finally appropriate models for the landfill of the city of Kragujevac were selected. A detailed economic analysis led to the amount of investment and the cost effectiveness of the project. The investment that would solve the problem of the landfill in Kragujevac is at the level of around € 985,400, namely € 450,000 for the construction of the system for collection and processing of gas, € 518,000 for the purchase of an engine and € 17,400 for the cogeneration facility. The price of electricity is determined by the decision of the Government of the Republic of Serbia, while the cost of heat is taken according to the current price set by the “Energetika” Ltd. By selling the electricity and heat, the facility would annually realized a profit of approximately 260.000 €, and part of the money would go for the workers salaries, maintenance cost and the profit taxes. The investment would be repaid in 5 years and 4 months, after which the plant would operate with profit.

Keywords: landfill gas, landfill, cogeneration, waste

САДРЖАЈ

1. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ 7
1.1 Дефиниција отпада и класификација 7
1.2 Места настанка отпада и особине 8
1.3 „3R“ призма 9
1.4 Трансформација и депоновање отпада 12
2. ДЕПОНИЈСКИ ГАС КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ 15
2.1 Депонијски гас 15
2.2 Састав депонијског гаса 15
2.3 Производња и карактеристике депонијског гаса 16
2.4 Фазе разлагања отпада 17
2.4.1 Фаза I – Аеробна фаза 17
2.4.2 Фаза II – Анаеробна фаза, неметанска 18
2.4.3 Фаза III – Анаеробна, метанска, нестабилна 18
2.4.4 Фаза IV – Анаеробна, метанска, стабилна 18
2.5 Технологије сакупљања депонијског гаса 19
2.5.1 Екстракција депонијског гаса 19
2.5.2 Систем за процесирање гаса 22
2.5.3 Систем за конверзију гаса 23
3. МОТОРИ СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ 25
3.1 Врсте СУС мотора 25
3.1.1 Мотори са варничним паљењем 26
3.1.2 Мотори са компресионим паљењем 26
3.2 Распон снага 27
3.3 Ефикасност 30
3.4 Економска анализа СУС мотора 34
3.5 Подстицајне мере за коришћење обновљивих извора енергије 38
4. ПРОЦЕНА КОЛИЧИНЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ЛОКАЛНОЈ ДЕПОНИЈИ ГРАДА КРАГУЈЕВЦА 41
4.1 Локална депонија града Крагујевца и њене карактеристике 41
4.2 Мерење састава депонијског гаса на депонији града Крагујевца 42
4.3 Резултати мерења састава депонијског гаса на депонији града Крагујевца 43
4.4 Прорачун енергетског потенцијала депонијског гаса депоније града Крагујевца 44

5. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПРОЈЕКТА 49
5.1 Трошкови инвестиције и одржавања 49
5.2 Трошкови система за прикупљање и процесирање гаса 49
5.3 Трошкови објекта 50
5.4 Процена времена повраћаја инвестиције 52
6. ЗАКЉУЧАК 57

1. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ ОТПАДОМ

1.1 Дефиниција отпада и класификација

Свака материја или предмет, који је садржан у листи категорија отпада (Q листа), који власник одбацује, представља отпад. Благо речено, отпад је одбачен производ или материјал који је непотребан или није употребљив. Отпад може настати током екстракције сировина, прераде сировина у полупроизводе и готове производе, потрошње готових производа и других људских активности.

Закон о управљању отпадом[1] разврстао је отпад у следеће категорије:

- комунални отпад (кућни 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 отпад из било које индустрије или са локације на којој се налази индустрија, осим отпада из рудника и каменолома.

У зависности од карактеристика које утичу на здравље људи и животну средину, отпад може бити инертан, неопасан и опасан[1].

Инертан отпад није подложан никаквим физичким, хемијским или биолошким променама. Овакав отпад се не раствара, нити сагорева, или на неки други начин физички или хемијски реагује.

Опасан отпад представља отпад који у себи садржи материје које га чине опасним по животну средину и здравље људи (експлозиван, запаљив, склон оксидацији, отрован, склон корозији, садржи токсичне супстанце и др).

Сваки други отпад који нема карактеристике опасног отпада, је неопасан отпад.

Класификација која се најчешће примењује је подела према врстама материјала на: органски отпад (чије су компоненте: отпад од хране, папир, картон, пластика, текстил, гума, кожа, дворишни отпад и кожа) и неоргански отпад (чије су компоненте: стакло, конзерве, алуминијум, други метали, прљавштина, пепео и др).

1.2 Места настанка отпада и особине

Критеријум који се најчешће користи за поделу отпада, је подела чврстог отпада према пореклу, односно према месту настанка отпада. Отпад може потицати из различитих извора, па се према пореклу, односно извору настајања, може поделити на[2]:

- стамбени (резиденцијални),
- комерцијални,
- отпад из разних установа и институција,
- грађевински,
- комунални,
- отпад из постројења за обраду вода и постројења за спаљивање,
- индустријски,
- пољопривредни.

Стамбени чврсти отпад заузима око 60 % укупне количине комуналног отпада, и то су разне врсте папира и картона, остаци хране, пластиче и стаклене флаше, конзерве и друго. Количина насталог отпада прилично зависи од степена економске развијености земље, па се у високо развијеним земљама издваја 3 до 5 пута више отпада него у неразвијеним. Разлог повећане производње отпада у развијеним земљама, поред броја становника и степена развоја индустрије, огледа се и у значајној миграцији људи. Наиме, популарне и атрактивне земље су истовремено и значајне туристичке дестинације, па се самим тим суочавају са додатним „приливом“ отпада.

Састав отпада зависи од великог броја фактора: климе, годишњег доба, навика, образовања, степена економског развоја, врсте индустријских постројења, да ли је урбана или рурална средина, локације. Стамбени (резиденцијални) отпад, изузимајући специјални и опасни отпад, састоји се од органског (сагоривог) и неорганског (несагоривог) чврстог отпада из стамбених извора. Органски отпад се углавном састоји од материјала у виду отпада од хране (био-отпад), папира, картона, пластике, текстила, гуме, коже, дрвета и дворишног отпада. Неоргански отпад се састоји од стакла, посуђа, конзерви од алуминијума, гвожђа, других метала, прашине, прљавштине и пепела.

Удео стамбеног отпада у комуналном отпаду разних земаља, у зависности од степена развијености, приказан је у табели 1. Према овој подели, ниско развијене земље су оне које имају приход мањи од 750 америчких долара по становнику годишње. Средње развијене земље имају од 750 до 5.000 америчких долара по становнику годишње, док високо развијене земље имају више од 5.000 америчких долара по становнику годишње.

Уочљиво је да, у слабо развијеним земљама, удео отпада од хране је доста висок, јер се воће и поврће користи углавном сирово, нема кухињских уситњивача хране, док је удео других компонената незнатан.

Табела 1. Састав стамбеног отпада за ниско, средње и високо развијене земље[3]

Компонента	**Масени удео (%)**		
	Слабо развијене земље	**Средње развијене земље**	**Високо развијене земље**
Органски отпад			
Био-отпад	40-85	20-65	6-30
Папир	1-10	8-30	20-45
Катон	1-10	8-30	5-15
Пластика	1-5	2-6	2-8
Текстил	1-5	2-10	2-6
Гума	1-5	1-4	0-2
Кожа	1-5	1-4	0-2
Дворишни отпад	1-5	1-10	10-20
Дрво	1-5	1-10	1-4
Неоргански отпад			
Стакло	1-10	1-10	4-12
Лимене канте	1-5	1-5	2-8
Алуминијум	1-5	1-5	0-1
Други метали	1-5	1-5	1-4
Прљавштина, пепео и др	1-40	1-30	0-10

1.3 „3R“призма

Хијерархија приоритета управљања отпадом се сагледава кроз такозвану „3R“ призму (слика 1.1):

- Редукција отпада на извору (*Reduce*),
- Поновна употреба створеног отпада (*Reuse*),
- Рециклирање насталог отпада (*Recycle*).

Најбитнија ставка у хијерархији управљања отпадом, представља смањење, односно, редукција отпада на самом извору, као и смањење количина токсичног отпада. Ово се спречава при самој изради производа, употребом мање токсичних материја и смањењем запремине паковања. Редукција отпада на извору је најбољи начин да се смањи количина отпада, а тиме и трошкови руковања отпадом, затим, очување природних ресурса, као и животна средина.

Слика 1.1 Симбол„3R“ призме

Постоје производи који су специфично дизајнирани да буду коришћени више пута, тј. да се након употребе поновно обраде и искористе. ЕУ је увела прописе о амбалажи, где као и у РС, постоји подстицај произвођачима о примени амбалаже за вишеструку употребу. Поновна употреба пластичних кеса или стаклених флаша и тегли, чести су примери поновне употребе. Неки од битнијих разлога за поновно коришћење производа су уштеда у енергији и сировинама, смањење трошкова одлагања, као и смањење трошкова за трговце и за потрошаче.

У циљу обезбеђивања додатних сировина за произвођаче, спроводи се процес рециклирања материјала из комуналног отпада који укључује:

- сепарацију и сакупљање секундарних сировина,
- претпроцесирање (сортирање и компактирање),
- транспорт,
- крајње процесирање.

Основне предности рециклирања се огледају у очувању природних ресурса, смањеним количинама отпада и продуженом веку коришћења депоније. Када се отпад једном разврста, он се сакупља, складишти, пакује, транспортује до фабрика за прераду, дорађује или прерађује, у различитим техничко-технолошким процесима, чиме се добија нова основна сировина. Међутим, да би се неки материјал рециклирао, мора да постоји и потреба за рециклабилним материјалом, али и исплативост, да би се продајом производа покрили трошкови рециклаже. Материјали погодни за рециклажу су: пластика, стакло, папир, алуминијум, метал, гума, дрво, дворишни отпад, биоразградиви отпад, грађевински отпад, отпадно уље, акумулатори и кућне батерије.

Слика 1.2 Контејнери за одлагање рециклабилних материјала

Данас, доста развијених и земаља у развоју, имају програме управљања отпадом који укључују организовано сакупљање више врста рециклабилних материјала, као што су: папир, стакло, метали, пластика и они се одвајају у посебним контејнерима (слика 1.2).

У циљу промоције рециклаже осмишљени су и примењују се и одговарајући симболи. Универзални симбол за рециклажу који се данас најчешће користи (слика 1.3) осмислио је *Garry Anderson* (тада студент Универзитета у Лос Анђелесу), за који је награђен 1970. године на Интернационалној конференцији за дизајн у Аспену, Колорадо. Симбол представља Мобиусову петљу (*August Ferdinand Mobius*, математичар, 19. век) која садржи три повезане стрелице у облику троугла са заобљеним угловима.

Слика 1.3 Универзални симбол за рециклажу

1.4 Трансформација и депоновање отпада

Трансформација отпадног материјала обично укључује смањење запремине, чиме се редукује потребан простор за депоновање. Овај степен укључује физичке, хемијске или биолошке промене отпада, а користи се код комуналног чврстог отпада, да би се:

- побољшала ефикасност радњи и система управљања чврстим отпадом,
- искористили материјали који се могу поново употребити или рециклирати,
- искористили производи биолошке или хемијске конверзије, као што су компост, топлотна и електрична енергија.

Материјали, као што су дворишни отпад, остаци хране, као и неки облици папира, могу заобићи разлагање на депонији. Овакав органски отпад се може компостирати, или може бити подвргнут инсинерацији уз добијање енергије, али се може користити и за добијање гаса и његово искоришћење.

Компостирање је третман биоразградивог отпада, у циљу стварања компоста под дејством микроорганизама, у присуству кисеоника и под контролисаним условима. Материјали који се компостирају су: остаци воћа и поврћа, чаја, кафе, покошене траве, љуске од јаја, стабљике цвећа, лишће, гранчице, остаци дрвета (пиљевина), остаци папира и картона. Нису погодни за компостирање: месо, риба, кости, остаци млечних производа, разне масноће, болесне биљке, корење.

Анаеробна дигестија представља разлагање органског дела чврстог отпада у гасовиту фракцију чији је основни састојак метан. Чврст отпад из неких градова и муљ из постројења за прераду отпадних вода, прерађују се у посебним реакторима, у којима релативно брзо долази до анаеробног микробиолошког разлагања, током којег се, поред осталих гасова, издваја метан. Издвојени метан се сакупља и користи као извор енергије, а у свим контролисаним техникама ферментације отпада коначни производ који се емитује у атмосферу је CO_2. После ферментације органског отпада издвојеног на извору, остатак ферментације се нормално третира аеробно до компоста.

Инсинерација (спаљивање отпада) представља контролисано сагоревање отпада на високим температурама, у постројењу пројектованом за ефикасно и потпуно сагоревање овакве врсте горива. Спаљивањем отпада смањују се запремина и маса отпада, разграђују се неке хемикалије или се мењају њихове хемијске карактеристике, врши се деструкција патогена и добија енергија. Инсинерација је значајан и користан начин редукције масе отпада до 90 %. Међутим, капитални и оперативни трошкови за модеран инсинератор, који ради у складу са емисионим ограничењима, врло су високи, генерално много виши од трошкова за одлагање отпада на санитарне депоније.

Последњи елемент у хијерархијском низу је депоновање, зато што је то најмање пожељна метода у руковању отпадом. Отпад се коначно одлаже на за то одређеном простору, који се назива депонија.

Према законској регулативи ЕУ, као и у нашој земљи, депоније се деле на:

- депоније за инертан отпад,
- депоније за неопасан отпад,
- депоније за опасан отпад.

На депонијама за инертан отпад одлаже се отпад који није подложан у већој мери физичким, хемијским или биолошким трансформацијама. Садржај загађујућих материја у инертном отпаду је занемарљив, као и екотоксичност процедних вода у контакту са њим, тако да се депоновањем не угрожавају површинске и подземне воде.

Уколико отпад нема карактеристике опасног отпада, онда припада категорији отпада који се третира као неопасан. Такав отпад се одлаже на депоније за неопасан отпад. Подкатегорије депонија за одлагање неопасног отпада могу бити одређене у складу са државном стратегијом управљања чврстим отпадом, све док оне испуњавају услове Директиве о депоновању (99/31/ЕС). Три основне подкатегорије депонија за одлагање неопасног отпада су:

- депоније за неоргански отпад са ниским органским садржајем (биодеградабилним садржајем),
- депоније за органски отпад,
- депоније за мешани неопасни отпад са значајним садржајем и органског (биоразградивог) и неорганског материјала.

На депонијама за опасан отпад се одлаже отпад који по свом пореклу, саставу или концентрацији опасних материја може проузроковати опасност по животну средину и здравље људи, и има најмање једну од опасних карактеристика утврђених посебним прописима, укључујући и амбалажу у коју је опасан отпад био или јесте упакован. Прво се врши испитивање да ли опасан отпад испуњава услов за смештај у ћелијама за неопасан отпад. Следеће питање је да ли испуњава услове за прихватање на депонијама за опасан отпад. Уколико испуњава ове услове, отпад може бити одложен на депонију за одлагање опасног отпада (слика 1.4). Уколико дати отпад не испуњава наведене услове мора се подвргнути даљем третману, након чега се врши поновно тестирање на испуњење услова и даљи третман, све док ти услови не буду испуњени.

Санитарне депоније представљају уређено место за одлагање отпада, као што су природна или вештачка улегнућа, јаркови, или посипање по равном земљишту, где се одређеним технолошким поступцима отпад компактира до најмање практичне запремине и

покрива слојем земље или другог инертног материјала, на систематичан начин, уз примену санитарних мера.

Слика 1.4 Простор за одлагање опасног отпада

Немају све депоније простор за одлагање опасног отпада, па се на тим депонијама генеришу велике количине опасног депонијског гаса, који представља опасност по околину. Такав депонијски гас се може искористити за добијање енергије која се може користити на самој депонији или се може продавати локалном становништву по ценама које су одређене државном регулативом. У наставку рада биће детаљно објашњено настајање као и могућности искоришћења депонијског гаса.

2. ДЕПОНИЈСКИ ГАС КАО ИЗВОР ЕНЕРГИЈЕ

2.1 Депонијски гас

Свака локација на којој се, уређено или не, одлаже комунални отпад, у принципу представља биореактор који генерише процедне воде и гасове. Гас који настаје у телу депоније, познат као депонијски гас, представља „*greenhouse*" гас (GHG), односно гас који утиче на појачање ефекта „стаклене баште" и његова неконтролисана емисија доприноси глобалном атмосферском загревању. У исто време, депонијски гас поседује енергетску вредност, што га чини потенцијалним горивом за погон гасних мотора и добијања електричне и топлотне енергије тим путем.

2.2 Састав депонијског гаса

Депонијски гас се састоји од приближно једнаких делова метана и угљен-диоксида, али и са малим траговима неметанских органских једињења (NMOC). Метан је запаљив гас, који формира експлозивну смешу, када је присутан у концентрацији између 5 и 15 процената запремине ваздуха. Запаљивост метана је и предност, али и одговорност за власника депоније. Предност се огледа у томе што гас може да буде извор енергије, а одговорност, због обиља могућности за деградацију стања животне средине.

Када се говори о саставу депонијског гаса, могу се евидентирати одређене разлике у литератури, па је отуда, у табели 2, приказан један од типичних састава.

Табела 2. Састав депонијског гаса[4]

Компонента	%	Карактеристике
Метан	45 – 60	Метан је гас без боје и мириса. Депоније су највећи извори емисија метана које је проузроковао човек.
Угљен диоксид	40 – 60	CO_2 се налази у атмосфери у малим концентрацијама (0,02%). Безбојан је, без мириса и мало кисео.
Азот	2 - 5	Азот репрезентује 97% атмосфере. Без мириса, боје и укуса.
Кисеоник	0,1 - 1	Кисеоник репрезентује 21% атмосфере. Без мириса, укуса и боје.
Амонијак	0,1 - 1	Амонијак је безбојан гас са оштрим мирисом.
Неметанска органска једињења (NMOC)	0,01 - 0,6	NMOC-и су органска једињења. Налазе се у природи или се могу вештачки синтетизовати. NMOC-а најчешће присутна на депонији су акрило-нитрити, етил-бензен, хексан, метил-етил-кетон, тетра-

		хлор-етилен, толуени, три-хлор-етилен, винил-хлориди и ксилен.
Сулфиди	0 - 1	Сулфиди (водоник сулфид, диметил сулфид, меркаптани) су гасови присутни у природи који дају депонији непријатан мирис покварених јаја.
Водоник	0 - 0,2	Водоник је гас без мириса и боје.
Угљен-моноксид	0 - 0,2	Угљен-моноксид је гас без мириса и боје. Изузетно токсичан.

Ниво кисеоника и азота у депонијском гасу су показатељи проласка ових састојака кроз површну депоније или у систем за сакупљање гаса, и морају бити смањени због економичног коришћења депонијског гаса. Миграција гаса може довести до експлозија и пожара, а емисија метана доводи до глобалног загревања [*USEPA*, 1991]. Депоније су велики извори метана, после пиринчаних поља и преживара [*Thorneloe*, 1992]. Други проблеми са емитовањем метана су допринос неметанских органских једињења (NMOC), који утичу на људско здравље и на вегетацију. NMOC садрже неколико једињења канцерогених за људе. Са позитивне стране, депонијски гас се може употребити као енергент, које надокнађује коришћења конвенционалних фосилних горива. Топлотна моћ је 4÷6 kWh/m^3, што је приближно половини топлотне моћи природног гаса. Приближни еквималаленти депонијског гаса са осталим уобичајеним горивима су дати у табели 3.

Табела 3. Еквиваленти депонијског гаса (са садржајем метана од 50%)

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

2.3 Производња и карактеристике депонијског гаса

У индустријским земљама настаје (300÷400) kg отпада годишње по особи. Овај отпад се скупља и одлаже на безбедним и санитарним депонијама, које подразумевају заштиту подземних вода, као и заштиту ваздуха од прљавог и опасног депонијског гаса.

Депонијски гас настаје разградњом органских супстанци под утицајем микроорганизама у анаеробним условима. У средишту депоније настаје натпритисак, па

депонијски гас прелази у околину. На основу наведеног састава депонијског гаса, може се уочити да је он врло опасан по човекову околину, како за здравље живих организама, тако и по инфраструктурне објекте у близини депонија, јер је метан у одређеним условима врло експлозиван. Метан је више од 20 пута штетнији по климу и озонски омотач него угљен-диоксид, што практично значи да 1 тона метана оштећује озонски омотач (ефекат стаклене баште) као 21 тона угљен-диоксида.

Депонијски гас има следеће карактеристике:

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

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

2.4 Фазе разлагања отпада

Процеси који доприносе формирању депонијског гаса су бактеријско разграђивање, волатилизација и хемијске реакције. Највећи део депонијског гаса формира се бактеријском разградњом. С обзиром на то да комунални отпад већим делом чини отпад органског порекла, бактерије присутне у депонији разграђују тај отпад кроз четири фазе, а састав гаса се мења током сваке од фаза[4].

Депонијски гас, укључујући неметанска органска једињења, може бити произведен реакцијама одређених једињења присутних у отпаду. На пример, ако хлорни избељивач и амонијак дођу међусобно у контакт у депонији, тада се производи амонијум-хлорид (NH_4Cl), гас који неповољно утиче на одвијање процеса у депонији.

2.4.1 Фаза I - аеробна фаза

Током прве фазе разградње, аеробне бактерије користе кисеоник, при чему се раскидају дуги молекуларни ланци комплексних једињења која сачињавају органски отпад: угљоводоници, протеини и масти. Нуспроизвод овог процеса је угљен-диоксид. На почетку ове фазе концентрација азота је висока (око 20% кисеоника и 80% азота), али

опада како се депонија „креће” кроз фазе разградње отпада. Фаза I одвија се све док се расположиви кисеоник не истроши.

Аеробна декомпозиција глукозе одвија се према следећој релацији:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O \tag{2.1}$$

2.4.2 Фаза II - анаеробна фаза, неметанска

Ова фаза разградња почиње када се искористи сав кисеоник. Анаеробним процесима, бактерије претварају једињења формирана процесима аеробних бактерија у сирћетну, млечну, мрављу и друге киселине и алкохоле, као што су метанол и етанол. Због ових процеса, средина депоније 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 ових процеса су угљен-диоксид и водоник.

2.4.3 Фаза III - анаеробна, метанска, нестабилна

Ова фаза разградње почиње када одређене врсте анаеробних бактерија конзумирају органске киселине произведене у фази II и почну да формирају ацетате. Овај процес узрокује да средина постаје кисело неутрална, pH приближно 7, што одговара бактеријама које производе метан. Метанске и киселинске бактерије имају одређену врсту симбиотске везе. Киселинске бактерије производе једињења којима се хране метанске бактерије

2.4.4 Фаза IV - анаеробна, метанска, стабилна

IV фаза почиње када и састав и продукција депонијског гаса постану релативно константни. Како је већ објашњено, депонијски гас тада садржи око (45÷60) % метана, (40÷60) % угљен-диоксида и (2÷9) % осталих гасова. Гас се производи константно у четвртој фази обично 20 година, при чему се емитовање гаса може наставити и после 50 година (*Crawford* и *Smith,* 1985). Продукција гаса може трајати дуже, посебно, ако су присутне веће количине органског отпада.

Метанска ензимска реакција глукозе (производе се гасови CO_2 и CH_4):

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4 \tag{2.2}$$

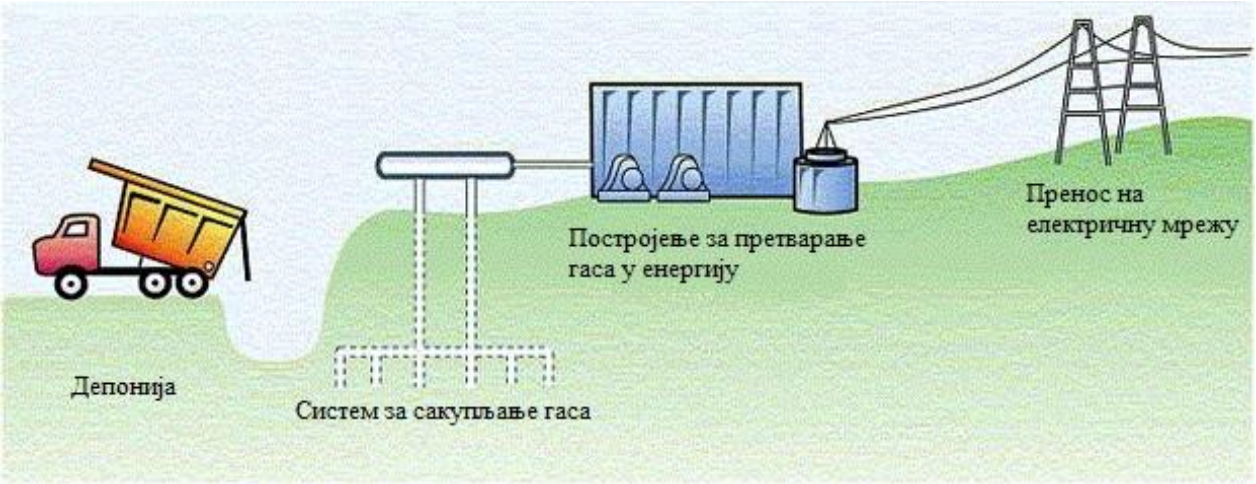
Општа хемијска реакција разградње за чврсти отпад општег састава је следећа:

$$CvHwOxNySz + v - \frac{w}{4} - \frac{x}{2} + \frac{3y}{4} + \frac{z}{2} \quad H2O \rightarrow [(v/2) + (w/8) - (x/4) - (3y/8) - (z/4)]CH4 + [(v/2) - (w/8) + (x/4) + (3y/8) + (z/4)]CO2 + yNH3 + zH2S \tag{2.3}$$

2.5 Технологије сакупљања депонијског гаса

Свако постројење за издвајање енергије из гаса састоји се од три основна система (модула) који су приказани на слици 2.1, и то су:

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



Слика 2.1 Систем за прикупљање, третман и претварање гаса у енергију

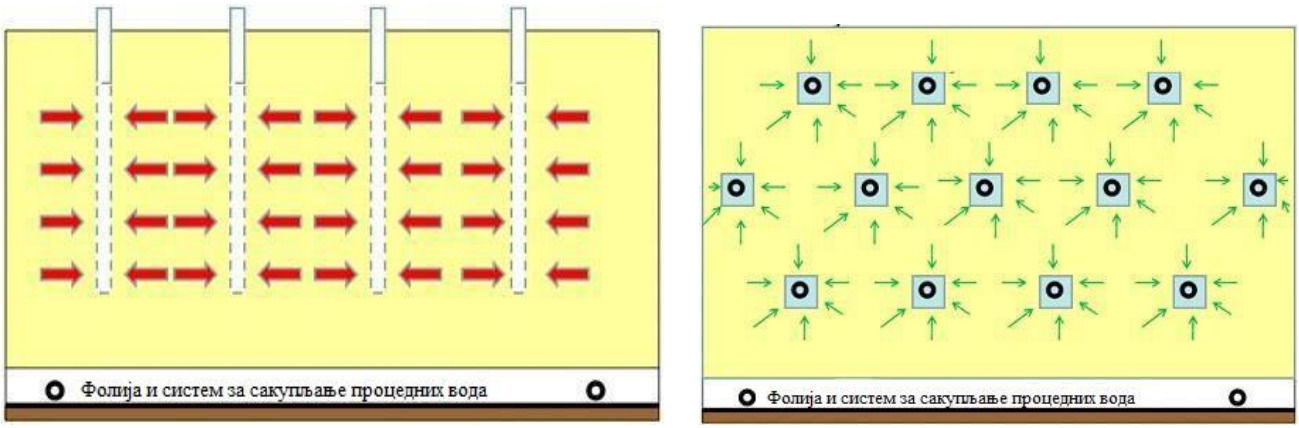
2.5.1 Екстракција депонијског гаса

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

Системе за сакупљање депонијског гаса можемо поделити на два основна типа:

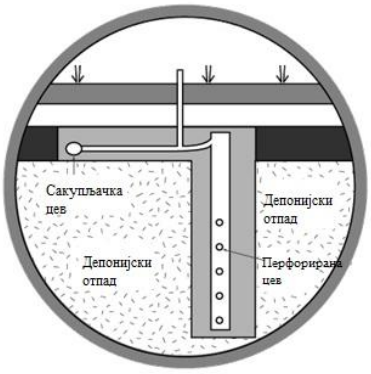
- Вертикалне бушотине или бунаре,
- Хоризонталне канале или ровове.

Систем вертикалних бунара (слика 2.2 а) је најчешће коришћен систем. Састоји се од избушених бунара (слика 2.3) пречника (0,6÷0,9) m. Понекад се користе и бунари мањих пречника (0,3÷0,45) m. Цевоводи су пречика (0,05÷0,2) m (обично од поливинил хлорида (PVC), или полиетилена (HDPE)). Смештени су у бушотине које су попуњене каменом пречника од 3 cm или више. Цеви су перфориране у нижим областима, где се скупља депонијски гас, док се цеви пуног профила користе близу површине, да би спречиле улазак ваздуха.



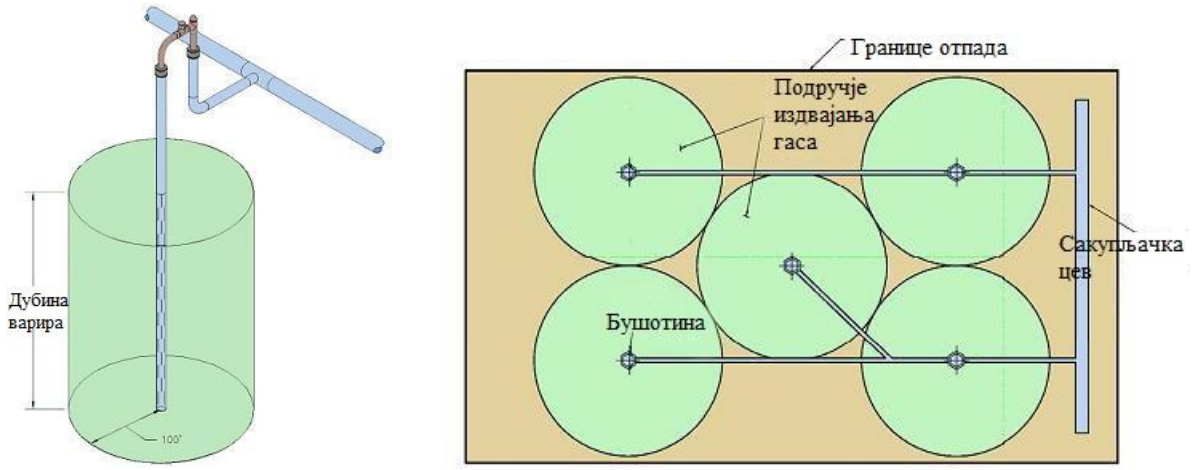
а) б)

Слика 2.2 а) Вертикални систем б) Хоризонтални систем



Слика 2.3 Вертикални бунар

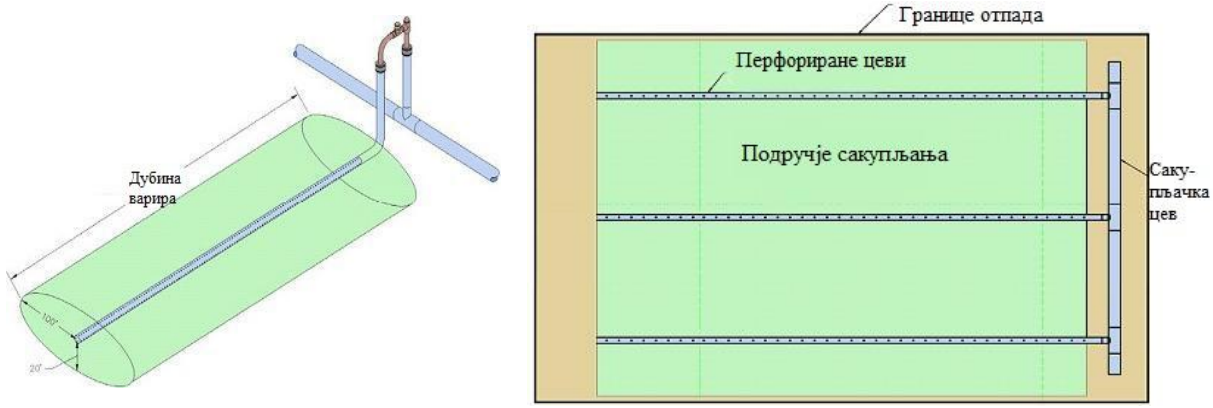
Обично је дубина бунара (7÷22) m (слика 2.4 а), а могу бити и преко 30 m, зависно од дубине депоније. Буше се обично до дубине течне фазе у депонији или до приближно 75% дубине депоније. Добро бушење захтева пажљиво контролисање, да би се избегао додир са дном депоније. Величина простора између бунара зависи од карактеристика депоније (нпр. дубине депоније, типа и компактности отпада, прекривног материјала итд) (слика 2.4 б). Обично је међусобни размак (15÷90) m [*EPA*, 1991]. Бунари су повезани мрежом цевовода, који воде до цеви већег пречника, а оне до станица за процесирање и конверзију гаса. Вертикални систем бунара користи вентилатор или компресор и помоћу подпритиска извлачи депонијски гас из депоније кроз систем цевовода.



а) б)

Слика 2.4 а) Бушотина б) Просторни распоред бушотина

Систем хоризонталних канала (слика 2.5 а) може се инсталирати уместо, или у комбинацији са бунарима за сакупљање депонијског гаса. Ископани канали су слични каналима за цевовод и испуњени су пропустљивим шљунком. Цеви са рупичастим прорезима или наизменичним рупицама су постављене у канале. На врху канала се поставља отпад (слика 2.5 б).



а) б)

Слика 2.5 а) Канал (ров) б) Просторни распоред канала

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

Без обзира да ли се користе бунари или канали, све цеви из бушотина су цевоводом повезане са главном хоризонталном цеви у коју се гас доводи и која транспортује гас даље

до система за процесирање гаса. Након одвајања кондензата (слика 2.6 б), депонијски гас може проћи кроз више различитих нивоа додатног пречишћавања, али то у сваком случају зависи од планиране употребе депонијског гаса.

Екстракција гаса из депоније обавља се уз помоћу компресора (слика 2.6 а), који помоћу притиска преко цевовода спроводе гас до постројења за третирање и коришћење. Гасни компресор је типа вентилатора и има максимални капацитет од 550 m^3/h, при притиску усисавања од 50 mbar.

а)

б)

Слика 2.6 а) Вентилатор за извлачење гаса б) Сакупљач кондензата

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

2.5.2 Систем за процесирање гаса

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

Модул садржи процесну опрему за компресовање, филтрирање и анализирање гаса издвојеног из депоније, а направљен је као стандардни контејнер. Подељењен је на два дела: контролну и компресорску просторију. У контролној просторији, се врши контрола и надгледање инсталације, укључујући анализе, контроле квалитета и количине гаса из сваког

појединичног бунара. Компресорска просторија садржи процесну опрему као контролне вентиле, филтере гаса и заустављач пламена, компресор гаса, хладњак гаса, детекторе гаса, панел са анализама гаса, мерач протока гаса, контролни компресор ваздуха.

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

Слика 2.7 Систем за процесирање гаса

2.5.3 Систем за конверзију гаса

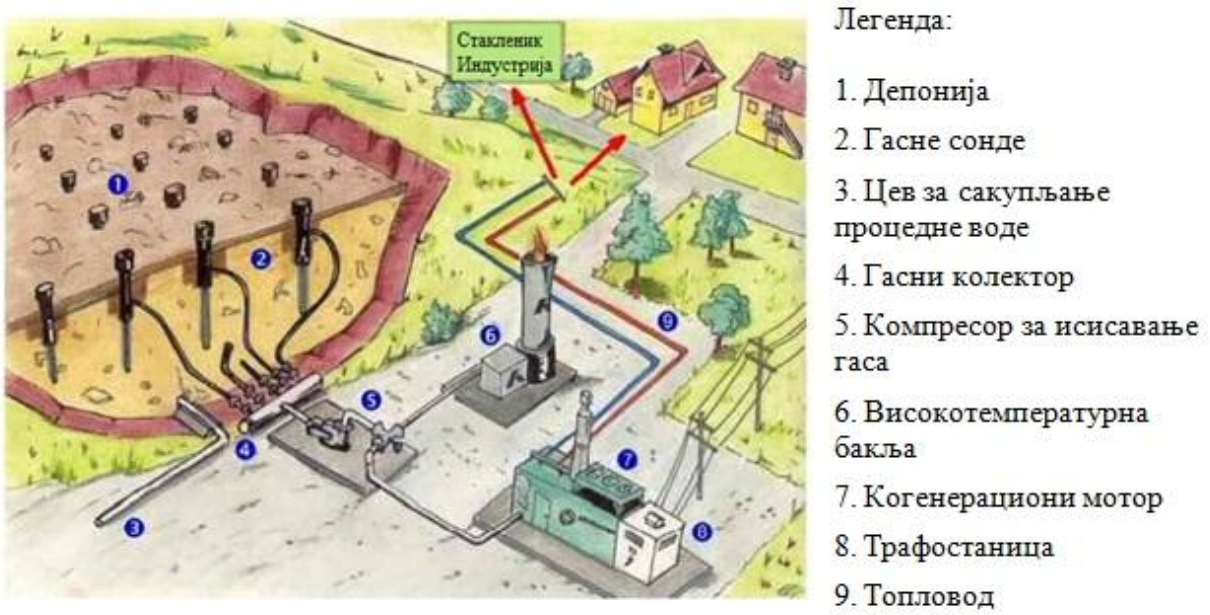
Неки пасивни системи вентилације једноставно испуштају сакупљени депонијски гас у атмосферу, без икаквог претходног третман. Депонијски гас се чешће контролише и третира, из сигурносних и здравствених разлога. Уобичајене методе третирања депонијског гаса се могу поделити на технологије са сагоревањем,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

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

Главна намена постројења на депонијски гас је производња електричне енергије, топлотне енергије, као и мешовита (когенерациона) производња. Врло је мала разлика

између оваквог постројења и класичне електране која користи природни гас или дизел гориво. То значи да свако класично постројење за производњу енергије, уз мале преправке може да користи депонијски гас за генерисање енергије.

На слици 2.8, приказана је једна добро одржавана депонија са начином искоришћења депонијског гаса.



Слика 2.8 Депонија са системом за издвајање и коришћење депонијског гаса

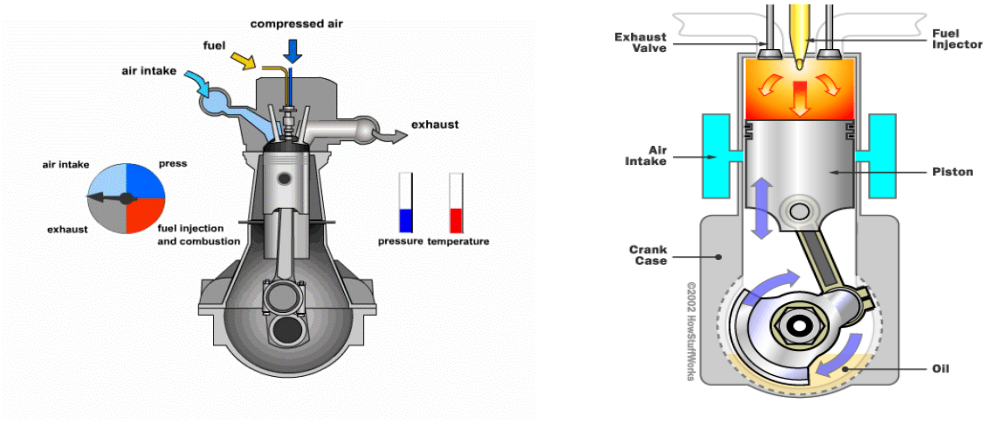
Депонијски гас се може искористити у моторима са унутрашњим сагоревањем, па ће у даљем раду бити представљене врсте ових мотора.

3. МОТОРИ СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ

3.1 Врсте СУС мотора

Мотори са унутрашњим сагоревањем углавном се користе за искоришћење депонијског гаса на депонијама које продукују довољно гаса за производњу електричне енергије. Најчешће се користи три до пет мотора мање снаге. Постављање већег броја мотора мање снаге практикује се из више разлога, међу којима су променљива количина доступног депонијског гаса током времена, могућност континуалне производње енергије у случају квара на неком од мотора, и друго. Како је продукција депонијског гаса током животног века депоније променљива, већим бројем мотора мање снаге, могуће је у сваком тренутку обезбедити искоришћење високог процента расположивог депонијског гаса укључивањем свих или само неких од расположивих мотора. Ако би се користио само један мотор већег капацитета, смањење продукције депонијског гаса битно би утицало на смањење ефикасности рада мотора, услед чега би цена произведене енергије била већа[5].

Постоје две врсте мотора са унутрашњим сагоравањем, а који се тренутно користе, и то: мотори са варничним паљењем, тзв. ОТО мотори (слика 3.1 а), као и мотори са компресионим паљењем, односно Дизел мотори (слика 3.1 б). Мотори са унутрашњим сагоревањем су врло погодни за коришћење у мањим постројењима за генерисање електричне и топлотне енергије.



а) б)

Слика 3.1 Мотори са унутрашњим сагоревањем а) ОТО мотор б) Дизел мотор

Мотори са унутрашњим сагоревањем су доступни у опсегу од свега неколико kW, па све до 10 MW и погодни су за коришћење у разним когенерационим постројењима. Примену проналазе у стамбеним кућама, стамбеним зградама и институцијама, и у неким мањим индустријским постројењима. Најчешће се користе мотори који генеришу електричну енергију до 1 MW.

Неке од предости при коришћењу ових мотора су:

- релативно ниски инвестицијски трошкови,
- кратак период изградње,
- кратак период покретања и искључивања,
- висок степен искоришћења при делимичном оптерећењу,
- добро поклапање снаге мотора са количинама депонијског гаса,
- могу да раде при ниским притисцима гаса,
- релативно лако одржавање,
- могу лако да се пребаце на другу локацију.

Недостаци ових мотора су:

- висок ниво вибрација,
- велики број покретних делова повећава трошкове одржавања,
- потребна су додатна побољшања у погледу емисије гасова,
- осетљивост на присуство силоксана у гасу,
- мора да се хлади иако се отпадна топлота не користи,
- компликована пуна топлотна искоришћеност са различитим температурним нивоима.

3.1.1 Мотори са варничним паљењем

Мотори са варничним паљењем (ОТО мотори, мотори са турбинским пуњачем) као гориво могу да користе природни гас, биогас или депонијски гас. Ови мотори сагоревају гас у присуству вишка ваздуха. Издувни гасови из мотора се користе за подизање притиска ваздуха који се убацује у гасну смешу, а са повећањем притиска повећава се и излазна снага мотора.

Мотори са компресионим паљењем имају смањену потрошњу горива и емисије издувних гасова, у односу на Дизел моторе. Основни недостаци ових мотора су високе радне температуре и брзина стварања наслага силицијума, што за резултат има значајно смањен радни век при повећаном броју обртаја. Поред овога, за рад мотора потребан је и софистициранији компресор за напајање мотора депонијском гасом, који испоручује тачну количину гаса, при тачно одређеном, повишеном притиску. ОТО мотори имају веће инвестиционе трошкове, али су знатно ефикаснији приликом сагоревања гаса, па имају повољнији однос цена - излазна снага, у односу на Дизел моторе.

3.1.2 Мотори са компресионим паљењем

Мотори са компресионим паљењем (Дизел мотори) као гориво могу да користе дизел гориво, па отуда и назив, али и друга горива, као што су биодизел или мазут. Они сагоревају гориво у стехиометријском односу, односно увлаче ваздух на атмосферском притиску у мотор ради сагоревања, а само сагоревање се одвија у условима у којима се у мотор увлачи само количина ваздуха која је потребна за потпуно сагоревање.

Основне предности мотора са компресионим паљењем огледају се у јевтинијем и једноставнијем одржавању и раду у односу на ОТО моторе. Ова врста мотора је отпорнија на присуство нечистоћа у гориву, а за снабдевање горивом користе се једноставнији компресори због нижег притиска на којем гориво сагорева.

Недостаци ових мотора су мања снага у односу на ОТО моторе, као и повећане емисије издувних гасова и већи трошкови. Иако су веома зависни од радних услова и механичких подешавања, NO_x и CO емисије су релативно високе и веома променљиве код овог типа мотора, чак и до неколико пута веће у односу на ОТО моторе.

3.2 Распон снага

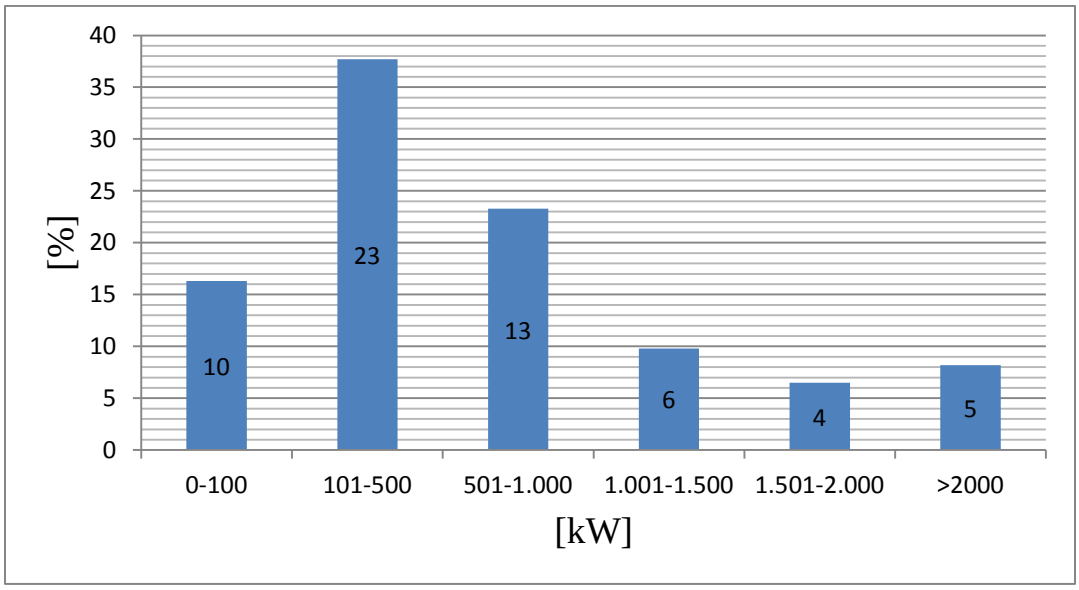
На тржишту постоји велики број произвођача когенерационих јединица, које користе моторе са унутрашњим сагоревањем. Неки од њих производе и користе своје моторе (MAN, TEDOM, WAUKESHA, JENBACHER,…), док други користе моторе већ поменутих произвођача, али производе своје когенерационе јединице са другачијим карактеристикама. Из каталога поменутих, али и других произвођача пронађен је 61 мотор са унутрашњим сагоревањем, за искоришћење депонијског гаса. У табели 4 су приказане карактеристике мотора различитих произвођача и распона снага. На слици 3.2 су модели из табеле дијаграмски приказани по распону снага.

Табела 4. Типови мотора

ПРОИЗВОЂАЧ	ТИП	СНАГА [kW]	ЕФИКАСНОСТ (Електрична енергија [%])	ЕФИКСАНОСТ (Топлота [%])	ЕФИКАСНОСТ (Укупно [%])
Dresser – Rand	SFGLD 180	252	39,2	45,4	84,6
Dresser – Rand	SFGLD 180	350	37,8	48,5	86,3
Dresser - Rand	SFGLD 240	335	37,7	48,4	86,1
Dresser - Rand	SFGLD 240	453	36,7	50,1	86,8
Dresser - Rand	SFGLD 360	503	39,1	46,8	85,9
Dresser - Rand	SFGLD 360	700	38,1	48,3	86,4
Dresser - Rand	SFGLD 480	670	37,7	49,4	87,1
Dresser - Rand	SFGLD 480	906	36,6	51,4	88
Dresser - Rand	SFGLD 560	788	39,3	47,1	86,4
Edina	BIO eco 60	60	31,9	53,8	85,7
Edina	BIO eco 80	80	32,6	53,2	85,8
Edina	BIO eco 90	90	33,1	47,4	80,5

Edina	BIO eco 110	110	33	52,6	85,6
Edina	BIO eco 125	125	33,5	52,1	85,6
Edina	BIO eco 150	150	34,7	44,8	79,5
Edina	BIO eco 250	245	34,7	51,5	86,2
Edina	BIO eco 280	280	34,8	49,5	84,3
EC Power	XRGI 6	6	29,5	63,5	93
EC Power	XRGI 9	9	29,5	63,5	93
EC Power	XRGI 15	15	30	62	92
EC Power	XRGI 20	20	32	64	96
Jenbacher	J208	330	38,7	43,6	82,3
Jenbacher	LC312	635	39,7	43,3	83
Jenbacher	LC316	834	39,6	44,4	84
Jenbacher	LC412	844	41,7	42,1	83,8
Jenbacher	LC320	1.067	40,6	42,7	83,3
Jenbacher	LC416	1.130	41,9	42	83,9
Jenbacher	LC420	1.413	41,9	42,1	84
Jenbacher	LC612	1.637	41,8	43,5	85,3
Jenbacher	LC616	2.188	41,9	43,5	85,4
Jenbacher	LC620	2.738	41,9	43,5	85,4
MAN	LC0836	104	38,4	46,9	85,3
MAN	LC2876	191	38,9	43,9	82,8
MAN	LC2848	252	38,8	44,8	83,6
MAN	LC2842	365	39	45,5	84,5
MWM	LC2016V8	400	42,8	40,1	82,9
MWM	LC2016V12	600	42,7	40,3	83
MWM	LC2016V16	800	42,8	40,2	83
MWM	LC2020V12	1.200	42	42,4	84,4
MWM	LC2020V16	1.560	41,7	42,7	84,4

MWM	LC2020V20	2.000	42	42	84
2G CENERGY	2G 100 BG	100	38	47,5	85,5
2G CENERGY	2G 150 BG	150	37,6	49,5	87,1
2G CENERGY	2G 206 BG	220	40,6	43	83,6
2G CENERGY	2G 250 BG	250	39,7	47	86,7
2G CENERGY	2G 400 BG	400	42,5	42,3	84,8
2G CENERGY	2G 800 BG	800	42,5	43	85,5
2G CENERGY	2G 1200 BG	1.200	42,1	43,9	86
2G CENERGY	2G 1345 BG	1.560	41,7	44,1	85,8
2G CENERGY	2G 1681 BG	2.000	42	43,7	85,7
DEUTZ	TBG 620 V12K	944	38,5	48,7	87,2
DEUTZ	TBG 620 V16K	1.262	38,5	48,7	87,2
TEDOM	Micro T30	30	30,7	62,4	93,1
TEDOM	Cento T100	106	36,4	49,2	85,6
TEDOM	Cento T160	166	37,8	49,5	87,3
TEDOM	Cento T200	200	39,2	48,1	87,3
TEDOM	Cento L410	410	39	46,4	85,4
TEDOM	Cento L500	497	40,1	45,4	85,5
TEDOM	Quanto D770	800	42,7	45,9	88,6
TEDOM	Quanto D1600	1.560	41,8	47,4	89,2
TEDOM	Quanto D2000	2.000	42,8	46,3	89,1

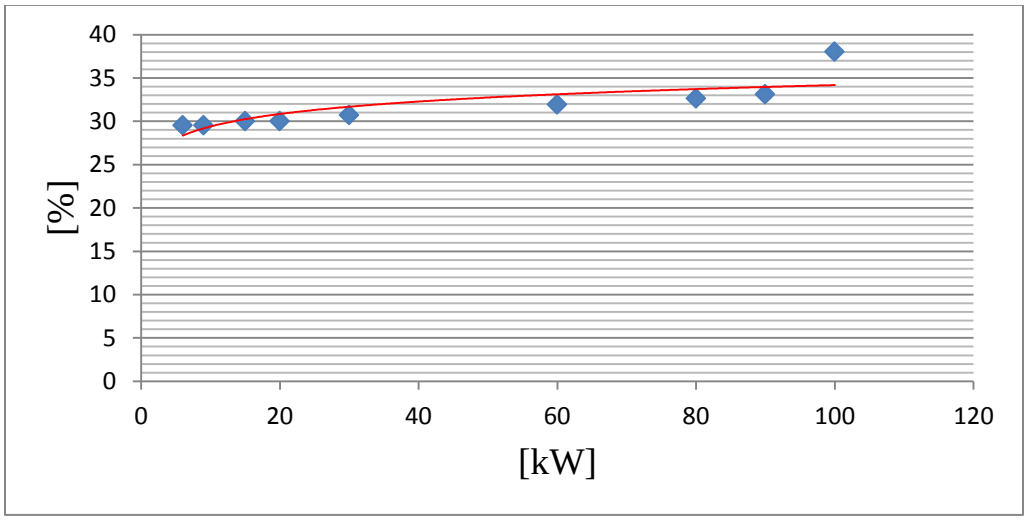


Слика 3.2 Дијаграмски приказ модела по распону снага

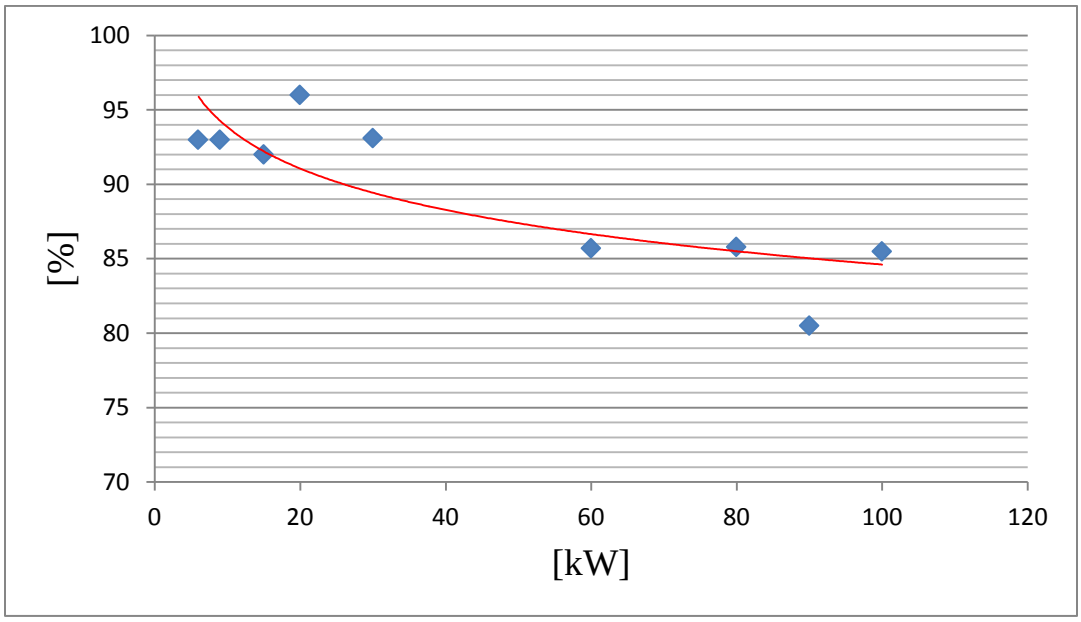
3.3 Ефикасност

Ефикасност когенерационих јединица које користе моторе са унутрашњим сагоревањем, креће се у опсегу од 29,5 до 42,8%, за генерисање електричне енергије, док је укупна ефикасност између 79,5 и 96%. Ефикасност генерисања електричне енергије има растући тренд, тј. модели веће снаге, имају већу ефикасност и обрнуто.

Када су у питању најмањи модели, снаге до 100 kW, ефикасност у генерисању електричне енергије се креће у опсегу од 29,5 до 33,1% (слика 3.3). Укупна ефикасност за исте моделе је између 80,5 и 96% (слика 3.4).

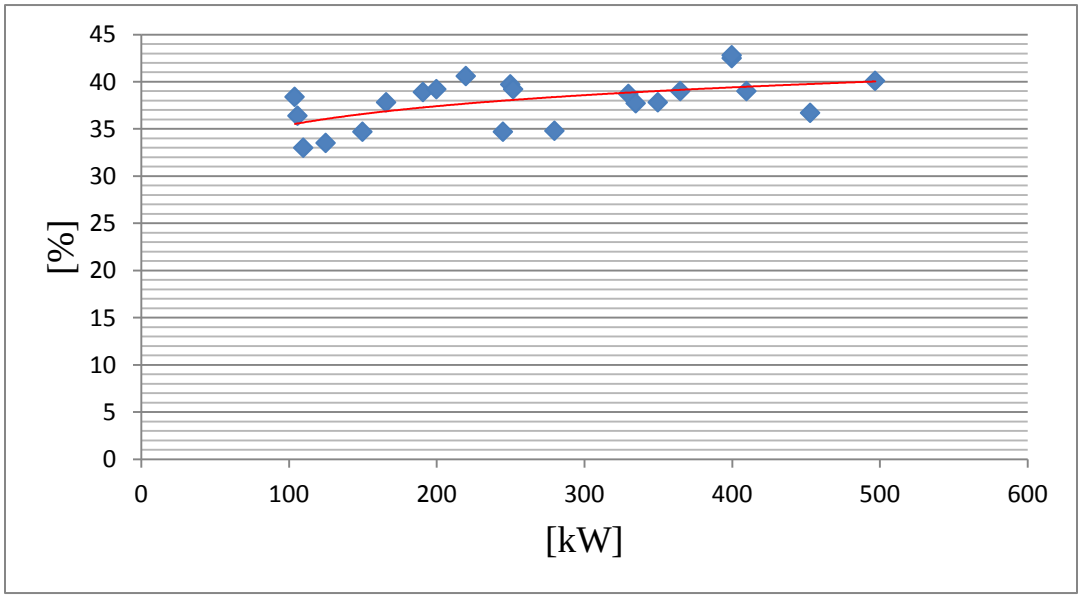


Слика 3.3 Дијаграмски приказ ефикасности генерисања електичне енергије за моделе до 100 kW

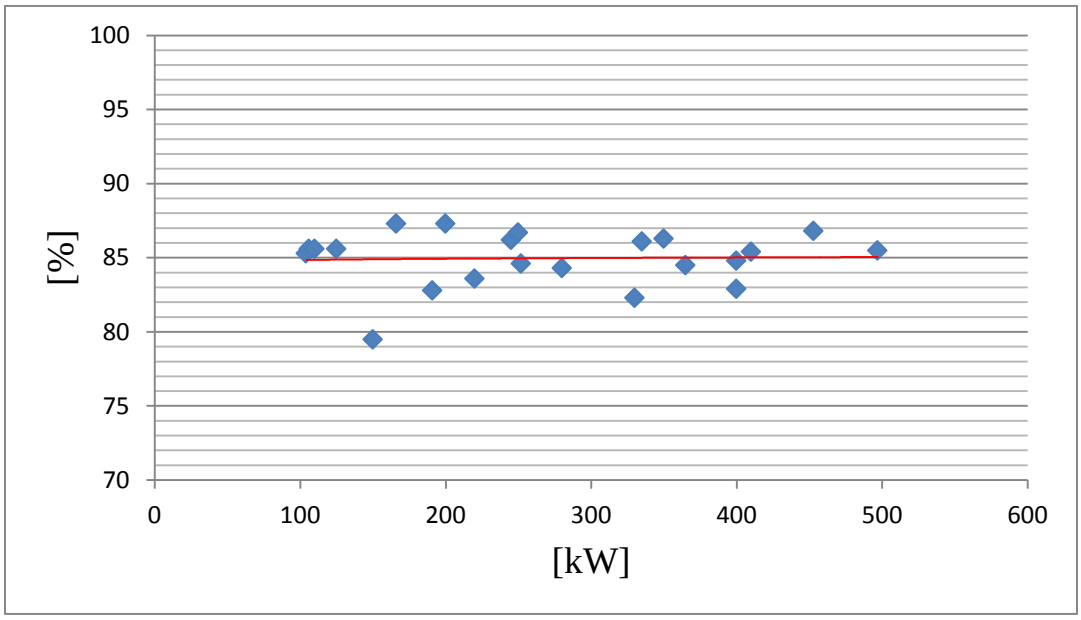


Слика 3.4 Дијаграмски приказ укупне ефикасности за моделе до 100 kW

Ефикасност у генерисању електричне енергије за моделе снаге распона 101 – 500 kW, се креће од 33 до 42,8% (слика 3.5). Укупна ефикасност за исте моделе је од 79,5 до 87,3% (слика 3.6).

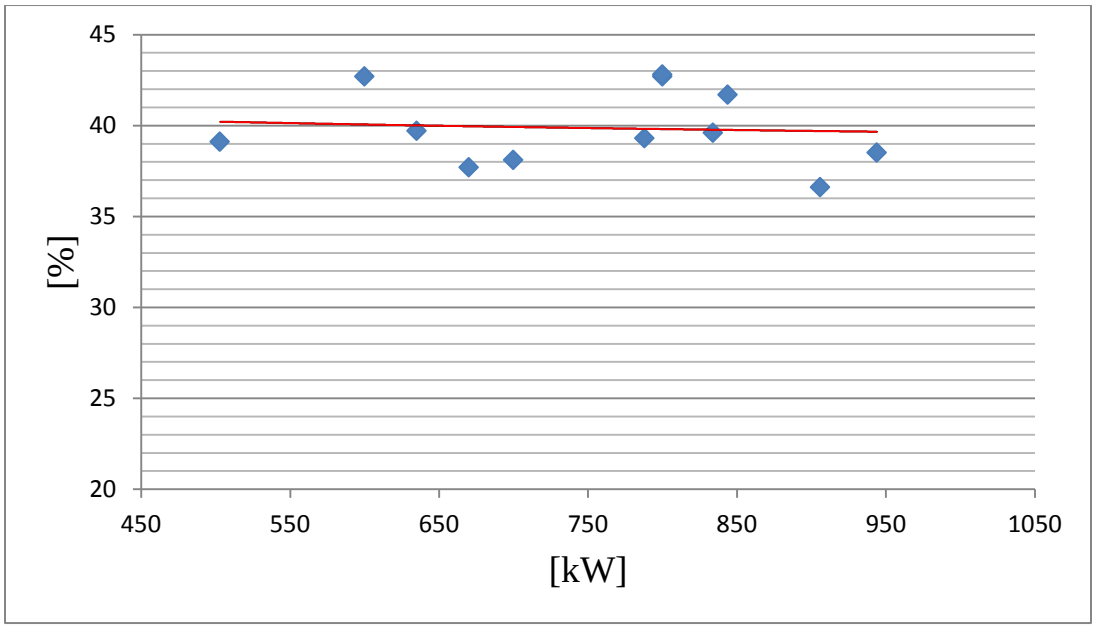


Слика 3.5 Дијаграмски приказ ефикасности генерисања електичне енергије за моделе опсега 101 – 500 kW

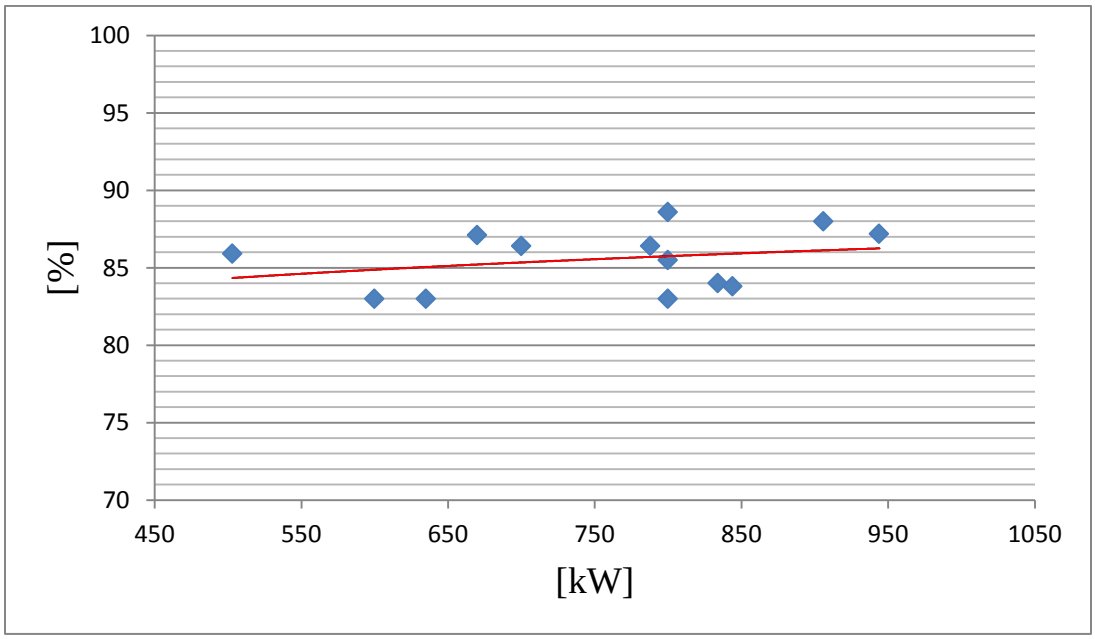


Слика 3.6 Дијаграмски приказ укупне ефикасности за моделе опсега 101 – 500 kW

Когенерационе јединице које користе моторе са унутрашњим сагоревањем, снаге 501 – 1.000kW, имају ефикасност генерисања електричне енергије од 36,6 до 42,8% (слика 3.7), а њихова укупна ефикасност је у опсегу од 83 до 88,6% (слика 3.8).

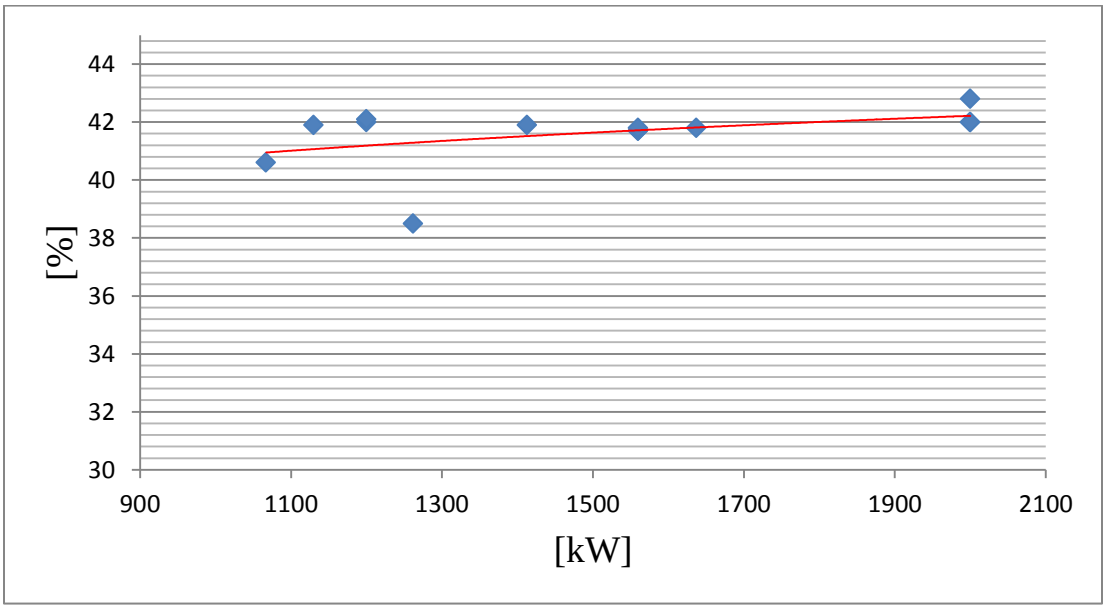


Слика 3.7 Дијаграмски приказ ефикасности генерисања електичне енергије за моделе опсега 501 – 1.000 kW

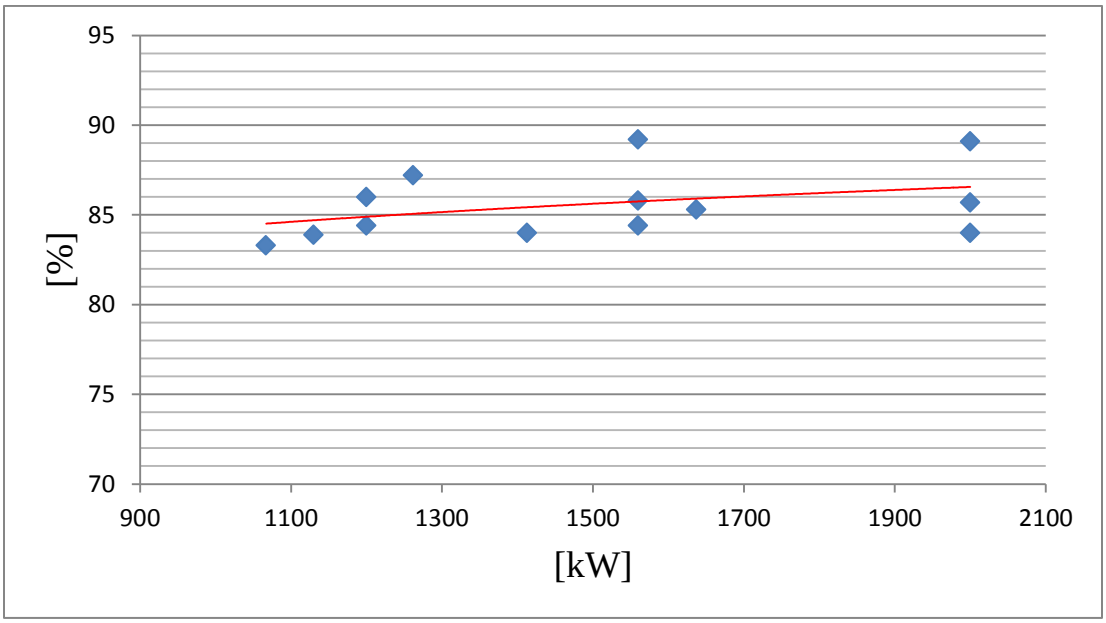


Слика 3.8 Дијаграмски приказ укупне ефикасности за моделе опсега 501 – 1.000 kW

Когенерационе јединице које користе моторе са унутрашњим сагоревањем, снаге 1.001 – 2.000kW, имају ефикасност генерисања електричне енергије у опсегу од 38,5 до 42,8% (слика 3.9), а њихова укупна ефикасност се креће од 83,3 до 89,2% (слика 3.10).



Слика 3.9 Дијаграмски приказ ефикасности генерисања електичне енергије за моделе опсега 1.001 – 2.000 kW



Слика 3.10 Дијаграмски приказ укупне ефикасности за моделе опсега 1.001 – 2.000 kW

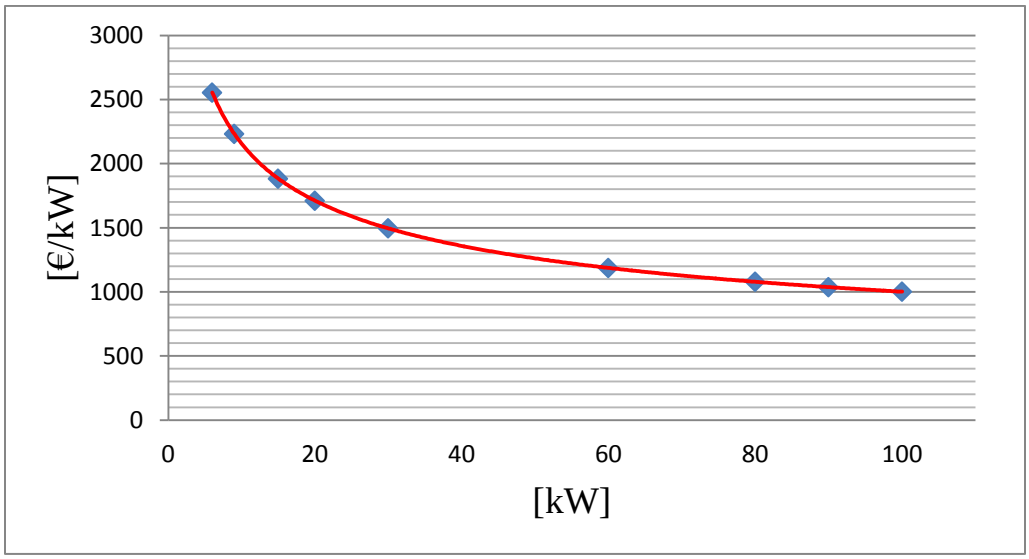
Когенерационе јединице које користе моторе са унутрашњим сагоревањем, чија снага прелази 2.000 kW имају ефикасност у генерисању електричне енергије од 41,9 до 42,8%, док се укупна ефикасност код ових модела креће од 84 до 89,1%.

3.4 Економска анализа СУС мотора

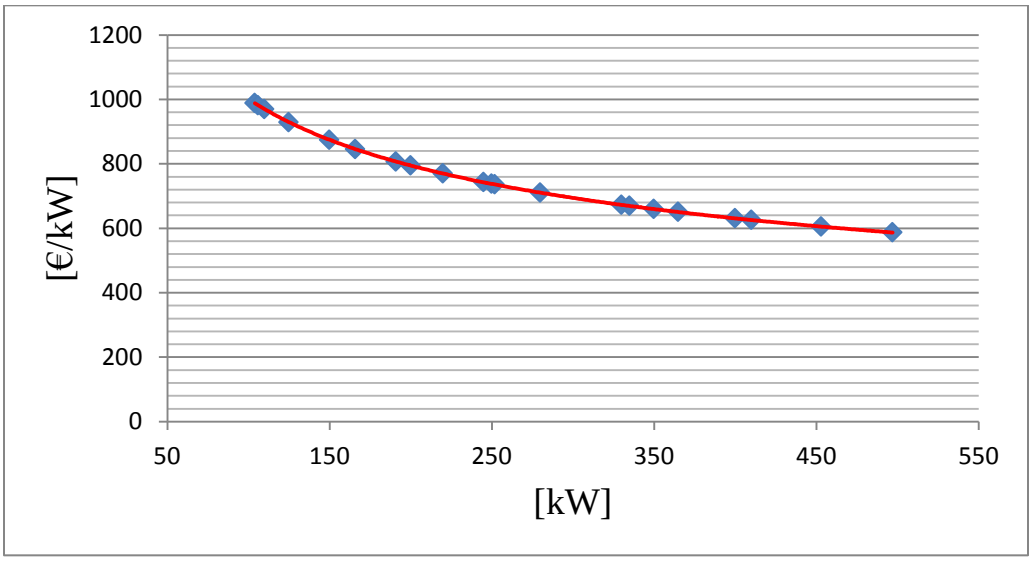
Инвестициони трошкови (€/kW) мотора са унутрашњим сагоревањем зависе од величине постројења, односно инсталисане снаге (P_{el} [kW]), квалитета и технологије. Према [6], инвестициони трошкови се могу израчунати по релацији 3.1. У ове трошкове не улазе трошкови изградње објекта и инсталирања опреме.

$$I = 4639 \times P_{el}^{-0,333} \tag{3.1}$$

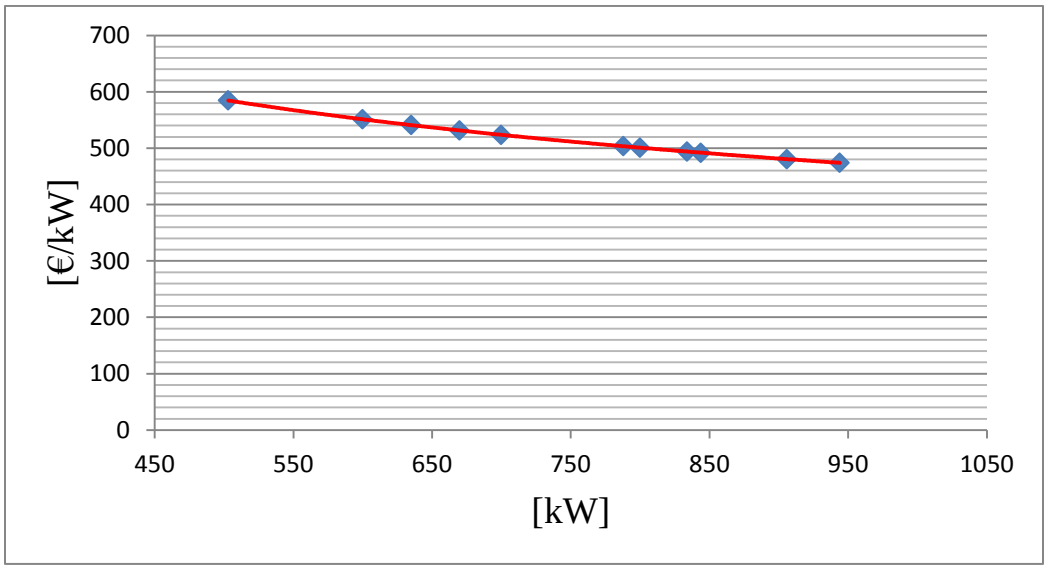
Из релације 3.1 следи да су за моторе мање инсталисане снаге, потребна већа улагања по kW инсталисане снаге. Они се крећу од око 2500 €/kW за најмање моделе, па до 300 €/kW за моделе снаге од око 3 MW (слика 3.11, 3.12, 3.13 и 3.14).



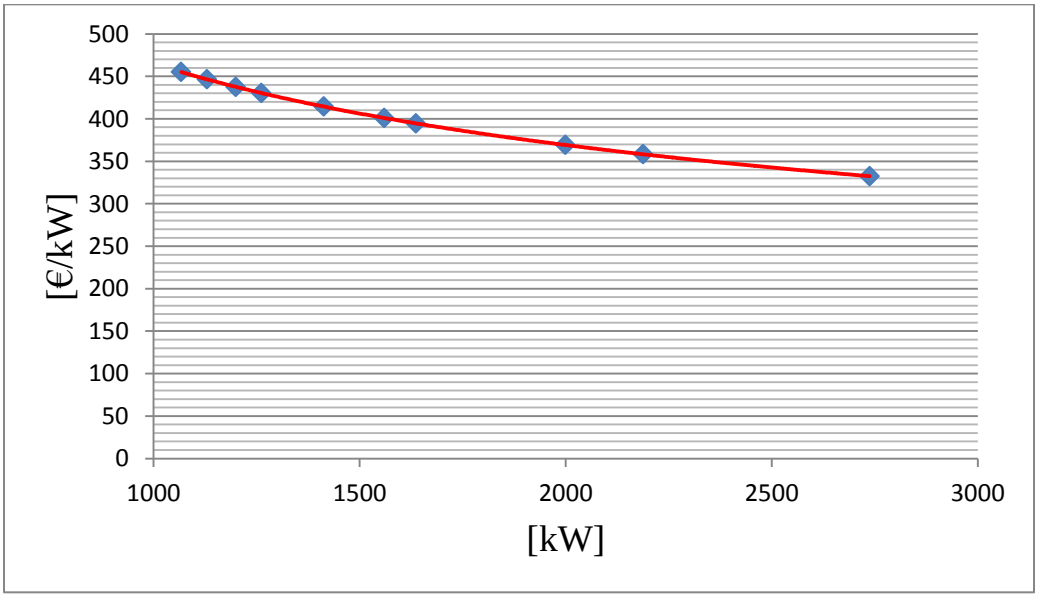
Слика 3.11 Дијаграмски приказ инвестиционих трошкова (€/kW) за моделе снаге до 100 kW



Слика 3.12 Дијаграмски приказ инвестиционих трошкова (€/kW) за моделе снаге 101 - 500 kW



Слика 3.13 Дијаграмски приказ инвестиционих трошкова (€/kW) за моделе снаге 501 – 1.000 kW

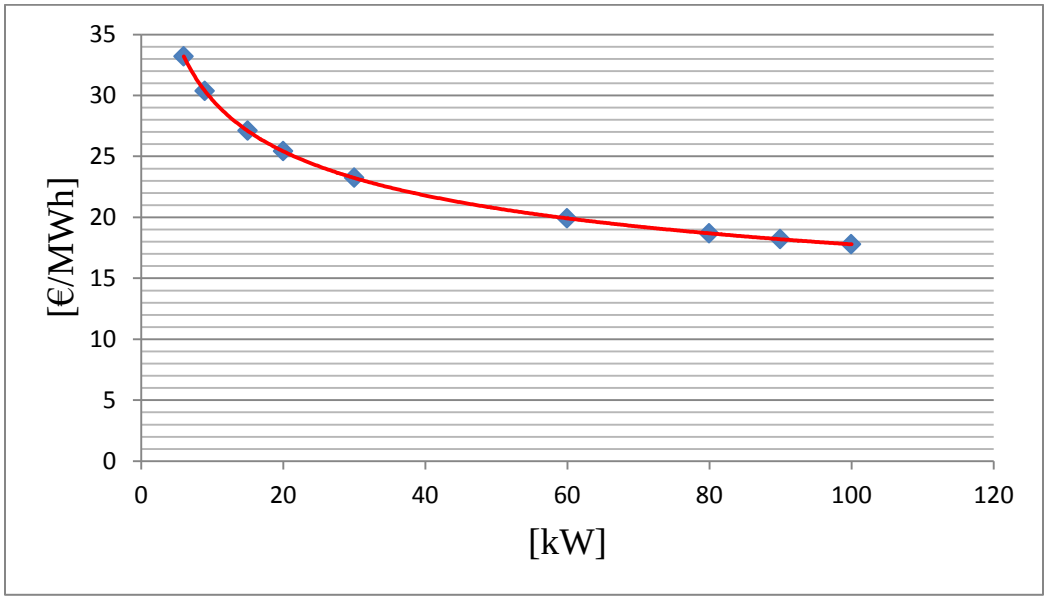


Слика 3.14 Дијаграмски приказ инвестиционих трошкова (€/kW) за моделе снаге преко 1.000 kW

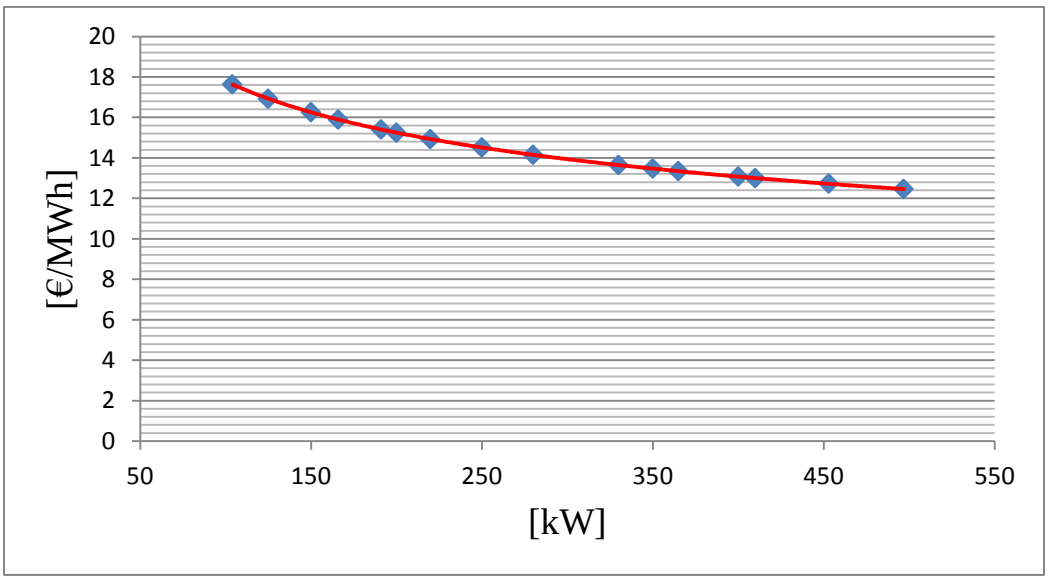
Трошкови одржавања могу да варирају у зависности од инсталација. Они генерално зависе од квалитета горива, величине постројења, али и од броја укључивања и искључивања. У зависности од инсталисане снаге, могу се израчунати трошкови одржавања [€/MWh] и то у складу са следећом релацијом[6]:

$$C = 49406 \times P_{el}^{-0.2219} \tag{3.2}$$

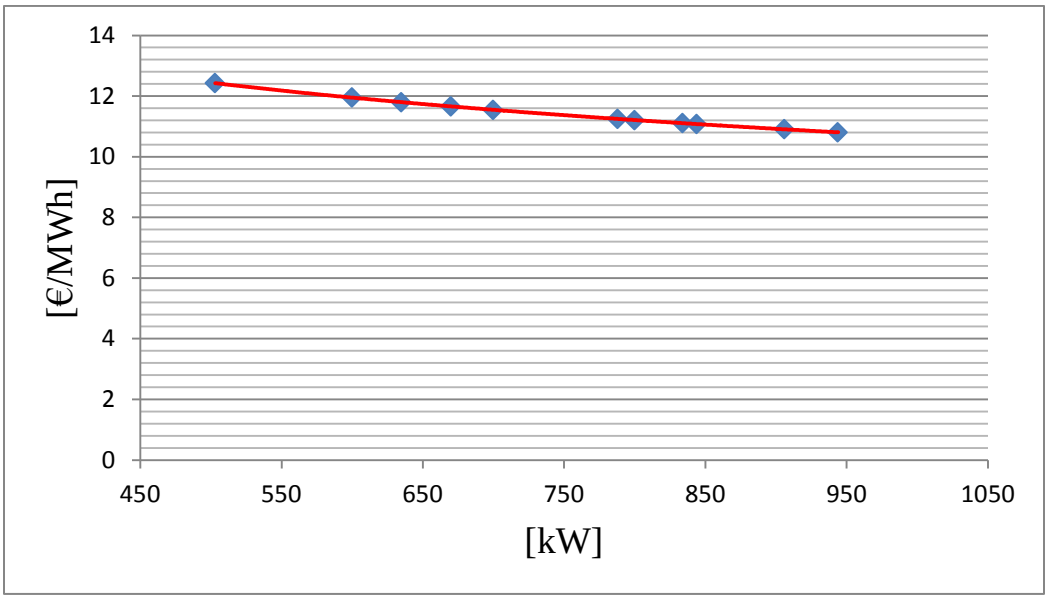
Може се узети и као алтернатива, да трошкови одржавања износе 4% од укупне инвестиције. Трошкови одржавања су обрнуто сразмерни инсталисаној снази мотора, па су трошкови одржавања [€/MWh], за моторе мање снаге већи и обрнуто (слике 3.15, 3.16, 3.17 и 3.18).



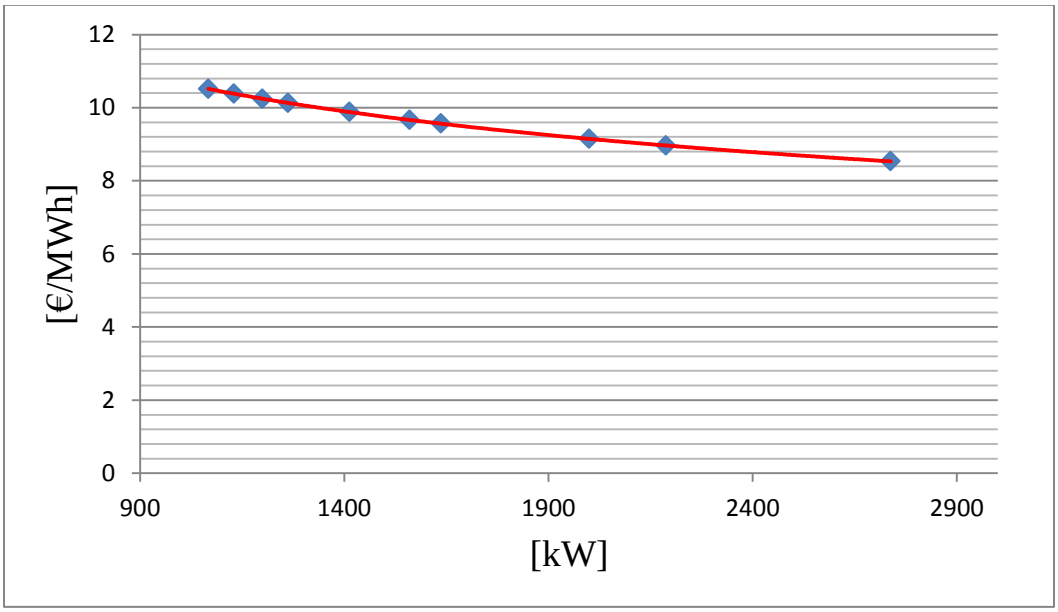
Слика 3.15 Дијаграмски приказ трошкова одржавања [€/MWh] за моделе снаге до 100 kW



Слика 3.16 Дијаграмски приказ трошкова одржавања (€/MWh) за моделе снаге 101 - 500 kW



Слика 3.17 Дијаграмски приказ трошкова одржавања (€/MWh) за моделе снаге 501 – 1.000 kW



Слика 3.18 Дијаграмски приказ трошкова одржавања (€/MWh) за моделе снаге преко 1.000 kW

3.5 Подстицајне мере за коришћење обновљивих извора енергије

Србија је усвојила више законских и подзаконских докумената, како би подстакла инвестирање у когенерациона постројења. Ти документи се односе на промовисање коришћења биомасе и других видова обновљивих извора, као и когенерације. На основу члана 59. став 6. Закона о енергетици („Службени гласник РС”, бр. 57/11, 80/11 – исправка,

93/12 и 124/12) и члана 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. Овом уредбом ближе се дефинишу категорије повлашћених произвођача електричне енергије, прописују мере подстицаја, услови за њихово остваривање, начин одређивања подстицајног периода, права и обавезе које из тих мера произлазе за повлашћене произвођаче и друге енергетске субјекте и уређује садржину уговора и предуговора о откупу електричне енергије од повлашћеног произвођача. Мере подстицаја, дефинисане овом уредбом, за електране које користе обновљиве изворе енергије као гориво приказане су у табели 5.

Табела 5. Подстицајне мере [7]

Врста електране повлашћеног произвођача	**Инсталисана снага P (MW)**	**Подстицајна откупна цена (c€/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
Електране на биомасу	< 1	13,26
	1 - 10	13,82 - 0,56*P
	> 10	8,22
Електране на биогас	< 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

Редовна годишња корекција подстицајних откупних цена због инфлације у евро зони врши се у фебруару сваке године, почевши од 2014. године, према следећој релацији[7].

$$C_1 = C_0 \times \ 1 + P_{inf} \div 100 \tag{3.3}$$

где је:

C_1–нова подстицајна откупна цена,

C_0– стара подстицајна откупна цена,

p_{inf} – годишња инфлација у евро зони објављена од стране надлежне институције Европске уније и изражена у %.

Годишњу инфлацију у евро зони, на захтев јавног снабдевача утврђује министарство надлежно за послове финансија.

4. ПРОЦЕНА КОЛИЧИНЕ ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА НА ЛОКАЛНОЈ ДЕПОНИЈИ ГРАДА КРАГУЈЕВЦА

4.1 Локална депонија Града Крагујевца и њене карактеристике

У Крагујевцу постоји депонија (слика 4.1), која се налази се у Јовановцу, 2 km североисточно од центра града, у близини реке Угљешнице. Депонија је основана 1963. године и она је отвореног типа. Депонија прима сав сакупљен комунални чврсти отпад из општине Крагујевац, опслужујући популацију од око 185.000 становника. ЈКП наплаћује услуге коришћења депоније. Депонија је површине 15 ha земље, надморске висине 164 m и по географским карактеристикама може се дефинисати као равница. Количина чврстог комуналног отпада који се одлаже на депонију је процењен на 156 t/dan, са више од 50% биоразградивог отпада. До данас, је око 2 милион тона отпада депоновано, па је просечна дубина депоније 15 m. Карактеристике локалне депоније Града Крагујевца су приказане у табели 6.

Табела 6. Карактеристике локалне депоније

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

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

Слика 4.1 Изглед депоније Јовановац

4.2 Мерење састава депонијског гаса на депонији Града Крагујевца

Депонија нема активни систем за сакупљање и контролу депонијског гаса. Постављено је 17 биотрнова, од којих су 8 приступачни, а преостали су затрпани. На њима су вршена мерења састава депонијског гаса[8], помоћу опреме приказане на слици 4.2.

Циљ мерења је потврда производње депонијског гаса, мерење састава депонијског гаса ради процене количине гаса која настаје на депонији, а тиме и процена могуће количине издвајања и сакупљања депонијског гаса.

Мерење је извршено помоћу уређаја за гасну анализу „*GEM2000plus*“ (слика 4.2 а) произвођача „*Geotechnical Instruments*“ из Велике Британије, специјализованог за производњу апаратуре за екстракцију и анализу депонијских гасова. „*GEM2000plus*“ је посебно дизајниран, са циљем да се употребљава у сврху праћења стања депонијског гаса на биотровима и другим системима за екстракцију депонијског гаса. Наведени уређај је пројектован за мерење концентрације следећих гасова: CH_4, CO, CO_2, H_2S, O_2, као и за мерење температуре и атмосферског притиска.

а) б)

Слика 4.2 а) Апарат *GEM2000plus* б) Пратећа опрема апарата *GEM2000plus*

4.3 Резултати мерења састава депонијског гаса на депонији Града Крагујевца

Дана 17.06.2009.године у периоду од (10-12) часова, при одређеним атмосферским условима (табела 7), извршена су мерења састава депонијског гаса на свим расположивим биотрновима (дегазаторима) на депонији у Крагујевцу и резултати су приказани у табели 8.

Табела 7. Атмосферски услови при мерењу

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

Табела 8. Резултати мерења

	date	CH_4	CO_2	O_2	balance	CH_4 %lel	Peak CH_4	Peak CO_2	min O_2	baro	CO	H_2S	H_2	CH_4/ CO_2
		%	%	%	%	%	%	%	%	mb	ppm	ppm	ppm	%
1	17.6.2009 10:39	15,8	8,3	15	60,9	200	15,8	8,3	15	1002	0	0	low	1,9
2	17.6.2009 10:44	59,9	41,3	0,2	0	200	67,9	41,3	0,2	1002	1	0	low	1,45

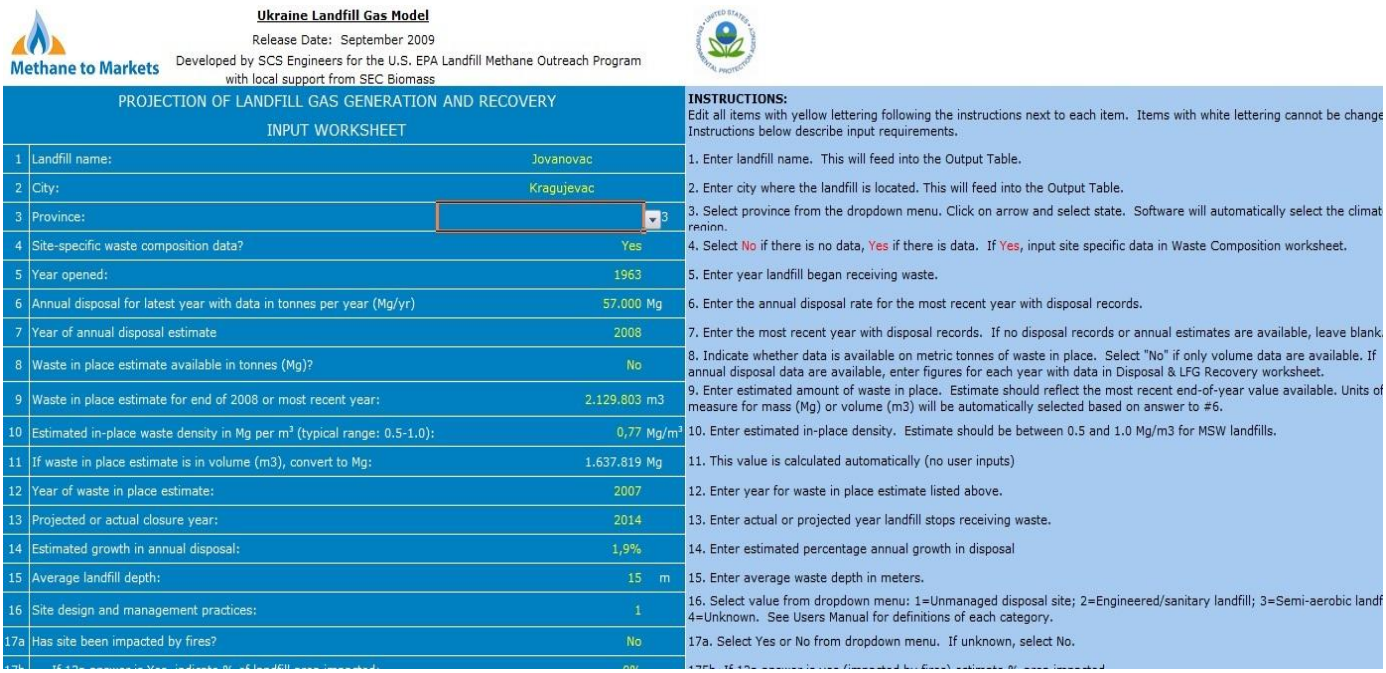
3	17.6.2009 10:53	57	44,4	0,1	0	200	59	44,7	0,1	1003	1	0	low	1,28
4	17.6.2009 11:00	57,5	44,1	0	0	200	58,1	44,2	0	1003	0	0	low	1,3
5	17.6.2009 11:09	60,7	40,7	0	0	200	60,8	44,2	0	1002	0	0	low	1,49
6	17.6.2009 11:15	59,4	41,5	0	0	200	60,6	41,8	0	1002	0	0	low	1,43
7	17.6.2009 11:24	0,4	5,5	17	77,1	8	59,3	41,7	0,3	1003	0	0	low	0,07
8	17.6.2009 11:33	0,1	2	19,1	78,8	2	2,3	6,8	14,8	1001	0	0	low	0,05

На појединим биотрновима, концентрација метана је веома ниска, јер је вентилациона цев вероватно поломљена. На осталим биотрновима, концентрација метана је око 59%, што је задовољавајуће, обзиром да је за економску исплативост коришћења метана као енергента, потребна најмања концентрација метана у депонијском гасу од 35%.

4.4 Прорачун енергетског потенцијала депонијског гаса депоније Града Крагујевца

За рачунање енергетског потенцијала депонијског гаса коришћен је специјализовани софтвер "*Ukraine LFG Model v1*" (слика 4.3) који је развијен у "*Microsoft EXCEL"* окружењу.

Софтвер је конципиран у 5 радних листова (*Inputs, Disposal& LFG Recovery, Waste Composition, Output-Table, Output-Graph*), због једноставнијег уноса полазних података и прегледности добијених резултата. Поред табеле за унос података, програм садржи и инструкције за коришћење, односно објашњење за свако поље које треба попунити.



Ukraine Landfill Gas Model

Release Date: September 2009

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

PROJECTION OF LANDFILL GAS GENERATION AND RECOVERY

INPUT WORKSHEET

1	Landfill name:	Jovanovac	
2	City:	Kragujevac	
3	Province:		
4	Site-specific waste composition data?	Yes	
5	Year opened:	1963	
6	Annual disposal for latest year with data in tonnes per year (Mg/yr)	57.000	Mg
7	Year of annual disposal estimate	2008	
8	Waste in place estimate available in tonnes (Mg)?	No	
9	Waste in place estimate for end of 2008 or most recent year:	2.129.803	m3
10	Estimated in-place waste density in Mg per m³ (typical range: 0.5-1.0):	0,77	Mg/m³
11	If waste in place estimate is in volume (m3), convert to Mg:	1.637.819	Mg
12	Year of waste in place estimate:	2007	
13	Projected or actual closure year:	2014	
14	Estimated growth in annual disposal:	1,9%	
15	Average landfill depth:	15	m
16	Site design and management practices:	1	
17a	Has site been impacted by fires?	No	

INSTRUCTIONS:
Edit all items with yellow lettering following the instructions next to each item. Items with white lettering cannot be change
Instructions below describe input requirements.

1. Enter landfill name. This will feed into the Output Table.
2. Enter city where the landfill is located. This will feed into the Output Table.
3. Select province from the dropdown menu. Click on arrow and select state. Software will automatically select the climat region.
4. Select No if there is no data, Yes if there is data. If Yes, input site specific data in Waste Composition worksheet.
5. Enter year landfill began receiving waste.
6. Enter the annual disposal rate for the most recent year with disposal records.
7. Enter the most recent year with disposal records. If no disposal records or annual estimates are available, leave blank.
8. Indicate whether data is available on metric tonnes of waste in place. Select "No" if only volume data are available. If annual disposal data are available, enter figures for each year with data in Disposal & LFG Recovery worksheet.
9. Enter estimated amount of waste in place. Estimate should reflect the most recent end-of-year value available. Units of measure for mass (Mg) or volume (m3) will be automatically selected based on answer to #6.
10. Enter estimated in-place density. Estimate should be between 0.5 and 1.0 Mg/m3 for MSW landfills.
11. This value is calculated automatically (no user inputs)
12. Enter year for waste in place estimate listed above.
13. Enter actual or projected year landfill stops receiving waste.
14. Enter estimated percentage annual growth in disposal
15. Enter average waste depth in meters.
16. Select value from dropdown menu: 1=Unmanaged disposal site; 2=Engineered/sanitary landfill; 3=Semi-aerobic landf 4=Unknown. See Users Manual for definitions of each category.
17a. Select Yes or No from dropdown menu. If unknown, select No.

Слика 4.3 Софтвер "*Ukraine LFG Model v1*"

У оквиру радног листа *Inputs* (слика 4.3), уносе се подаци о депонији: име, локација, година оснивања, капацитет депоније, дубина, количина годишњег одлошеног отпада, годишњи пораст у процентима депонијског отпада и други потребни подаци. То су основни подаци потребни за прорачун количине депонијског гаса, након чега се приступа следећем радном листу. Конкретно за депонију Града Крагујевца унети су подаци који су приказани у табели 9.

Табела 9. Полазни подаци

	Количина	**Година**
Година оснивања	/	1963
Годишња количина депонованог отпада [t/god]	57.000	2008
Укупна тренутна количина депонованог отпада [m^3]	2.129.803	2014
Густина отпада [t/m^3]	0,77	2014
Годишњи пораст [%]	1,9	/
Коефицијент искоришћења [%]	61	2014

Радни лист *Disposal& LFG Recovery* (слика 4.4), представља приказ количина депонованог отпада по годинама, од године оснивања депоније, па све до жељене године, за коју се одређује количина депонијског гаса.

Ukraine Landfill Gas Model

Release Date: September 2009

Methane to Markets Developed by SCS Engineers for the U.S. EPA Landfill Methane Outreach Program

with local support from SEC Biomass

DISPOSAL AND LFG RECOVERY WORKSHEET

Year	Waste Disposal Estimates (Metric Tonnes)	Cumulative Metric Tonnes	Collection System Efficiency	Actual LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)	Projected LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)	Baseline LFG Recovery (m3/hr at 50% CH4)
1963	24.000	24.000	0%		0	0
1964	24.400	48.400	0%		0	0
1965	24.900	73.300	0%		0	0
1966	25.400	98.700	0%		0	0
1967	25.900	124.600	0%		0	0
1968	26.400	151.000	0%		0	0
1969	26.900	177.900	0%		0	0
1970	27.400	205.300	0%		0	0
1971	27.900	233.200	0%		0	0
1972	28.400	261.600	0%		0	0
1973	28.900	290.500	0%		0	0
1974	29.400	319.900	0%		0	0
1975	29.900	349.800	0%		0	0
1976	30.500	380.300	0%		0	0
1977	31.100	411.400	0%		0	0
1978	31.700	443.100	0%		0	0
1979	32.300	475.400	0%		0	0
2013	62.500	1.996.319	61%		319	0
2014	63.700	2.060.019	61%		327	0

Слика 4.4 Количина депонованог отпада по годинама

Радни лист *Waste Composition* (слика 4.5), представља табелу морфолошког састава отпада. Овај радни лист се користи за унос података о саставу отпада, а уносе се процентуални удели појединих врста отапда. На депонији у Јовановцу, анализа састава отпада извршена је на платоу испред депоније у три наврата[9], 18.09.2008. године и 10.03. односно 12.05.2009. године и ти подаци су коришћени при прорачуну. Након унетих вредности, добијају се одређени подаци о количини депонијског гаса.

Methane to Markets

Ukraine Landfill Gas Model

Release Date: September 2009

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

SITE-SPECIFIC AND DEFAULT WASTE COMPOSITION TABLE FOR MODEL INPUTS

Waste Category	Enter Site Specific Data	UKRAINE	USA
Food Waste	27,2%	36,1%	13,4%
Paper and Cardboard	11,1%	14,3%	23,8%
Garden Waste (Green Waste)	14,5%	9,8%	4,8%
Wood Waste	1,5%	1,9%	10,1%
Rubber, Leather, Bones, Straw	0,6%	2,2%	2,8%
Textiles	4,1%	3,4%	4,4%
Other Organics	0,4%	0,4%	0,9%
Metals	1,7%	2,3%	6,3%
Construction and Demolition Waste	3,6%	3,6%	12,8%
Glass and Ceramics	3,7%	6,2%	5,4%
Plastics	15,6%	5,8%	12,7%
Other Inorganic Waste	14,1%	14,1%	2,7%
Percent very fast decay organic waste (1)	27,6%	36,5%	14,3%
Percent medium-fast decay organic waste (2)	14,5%	9,8%	4,8%
Percent medium-slow decay organic waste (3)	15,2%	17,7%	28,2%
Percent slow decay organic waste (4)	2,1%	4,1%	12,9%
Total Organic Waste	59,4%	68,1%	60,2%
Total Inorganic Waste	40,6%	31,9%	39,8%
Average very fast decay organic waste moisture (1)	70%	70%	
Average medium-fast decay organic waste moisture (2)	45%	45%	
Average medium-slow decay organic waste moisture (3)	7%	7%	
Average slow decay organic waste moisture (4)	12%	12%	
U.S. Waste - % dry organics			44%
Calculated Fast-decay Organic Waste Lo	69	69	

Inputs | Disposal & LFG Recovery | **Waste Composition** | Output-Table | Output-Graph

Слика 4.5 Радни лист морфолошког састава отпада

INSTRUCTIONS: Table title is linked to Inputs sheet. Column titles cannot be changed. Contents of print table cannot be changed (except for power plant capacity) and are derived/calculated based on user inputs. Print table format will need adjustment. User will need to adjust page breaks and unhide or hide the rows at bottom of table as needed.

Methane to Markets

Ukraine Landfill Gas Model

Release Date: September 2009

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

PROJECTION OF LANDFILL GAS GENERATION AND RECOVERY
Jovanovac
Kragujevac, Kiev, Ukraine

Year	Disposal (Mg/yr)	Refuse In-Place (Mg)	LFG Generation			Collection System Efficiency (%)	Predicted LFG Recovery			Maximum Power Plant Capacity* (MW)	Baseline LFG Flow (m3/hr)	Methane Emissions Reduction Estimates**	
			(m^3/hr)	(cfm)	(MJ/hr)		(m^3/hr)	(cfm)	(MJ/hr)			(tonnes CH_4/yr)	(tonnes CO_2eq/yr)
2012	61.400	1.894.300	541	318	10.203	0%	0	0	0	0,0	0	0	0
2013	62.500	1.956.800	552	325	10.410	0%	0	0	0	0,0	0	0	0
2014	63.700	2.020.500	563	331	10.621	0%	0	0	0	0,0	0	0	0
2015	0	2.020.500	574	338	10.836	61%	350	206	6.610	0,6	0	1.099	23.069
2016	0	2.020.500	533	314	10.052	61%	325	191	6.132	0,5	0	1.019	21.400
2017	0	2.020.500	495	292	9.346	61%	302	178	5.701	0,5	0	947	19.897
2018	0	2.020.500	461	272	8.708	61%	282	166	5.312	0,5	0	883	18.540
2019	0	2.020.500	431	254	8.132	61%	263	155	4.960	0,4	0	824	17.312
2020	0	2.020.500	403	237	7.609	61%	246	145	4.641	0,4	0	771	16.199

Page 2

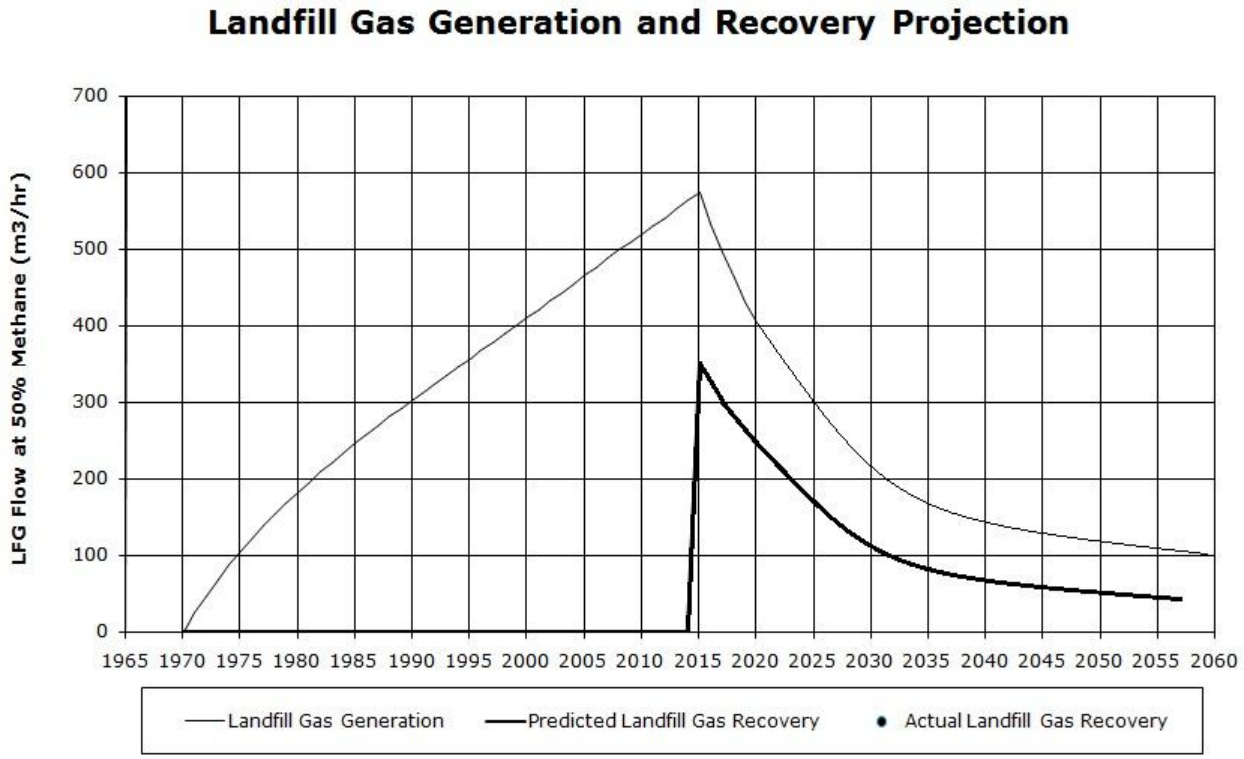
MODEL INPUT PARAMETERS
Assumed Methane Content of LFG: 50%
Methane Correction Factor (MCF): 0,8

Waste Category:	Fast Decay	Moderately Fast Decay	Moderately Slow Decay	Slow Decay
CH4 Generation Rate Constant (k):	0,140	0,070	0,028	0,014
CH4 Generation Potential (Lo) (m3/Mg):	55	101	171	161

NOTES
* Maximum power plant capacity assumes a net heat rate of 11.4 MJ per kW-hr (hhv).
**Emission reductions do not account for electricity generation or project emissions and are calculated using a methane density (at standard temperature and pressure) of 0.0007168 Mg/m3.

Слика 4.6 Добијени резултати

Радни листови *Output-Table* (слика 4.6) и *Output-Graph* (слика 4.7) су радни листови са излазним подацима. Приказани су резултати о количини депонијског гаса, снага одговарајућег мотора за искоришћење депонијског гаса, као и дијаграм генерисања депонијског гаса и потенцијал за искоришћење истог.



Слика 4.7 Дијаграм о количини депонијског гаса

Након уношења свих релевантних података, као резултат софтверске анализе дошло се до податка да депонија генерише 574 m^3/h депонијског гаса. На основу добијених резултата о генерисању депонијског гаса, софтверска препорука је да је за ову количину гаса потребан мотор снаге 0,6 MW. У циљу што ефикаснијег и исплативијег искоришћења гаса, дошло се до закључка да се предложе четири модела мањих снага, тј. два модела снаге 0,2 MW (TEDOM Cento T200) и два модела снаге 0,1 MW (MAN LC0836), уместо једног модела снаге 0,6 MW.

5. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПРОЈЕКТА

5.1 Трошкови инвестиције и одржавања

На основу одабраних модела снаге 200 kW (TEDOM Cento T200), односно 100 kW (MAN LC0836) и већ приказаних релација 3.1 и 3.2, добијају се трошкови инвестиције куповине мотора и одржавања мотора.

Инвестиција куповине мотора снаге 200 kW износи 318.000 €, док је за моторе снаге 100 kW потребно издвојити 200.000 €. Тако да укупна сума коју је потребно инвестирати у моторе износи 518.000 €. Ови трошкови су представљени у табели 10. Трошкови одржавања мотора снаге 200 kW износе 6.100 €, док за мотора снаге 100 kW исти трошкови износе 3.560 €, па укупни трошкови одржавања ових мотора износе 9.660 €. Трошкови одржавања мотора представљени су у табели 11.

Табела 10. Трошкови мотора

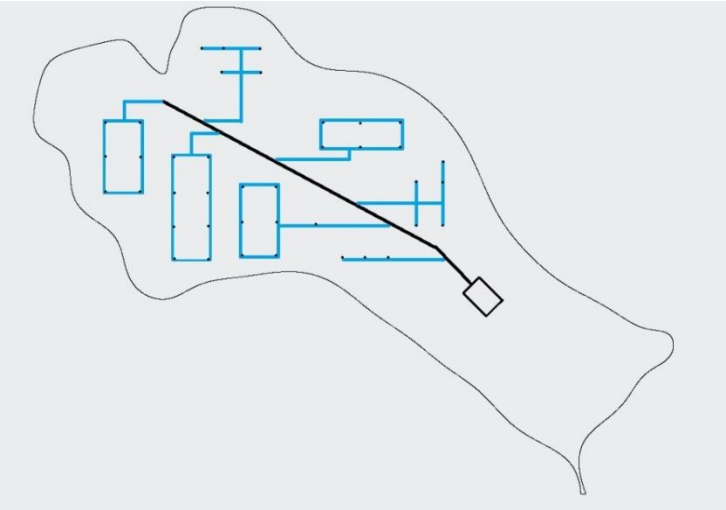
Мотор	**Количина**	**Цена [€]**
MAN LC0836	2	200.000
TEDOM Cento T200	2	318.000
Укупно		518.000

Табела 11. Трошкови одржавања мотора

Мотор	**Количина**	**Цена [€]**
MAN LC0836	2	3.560
TEDOM Cento T200	2	6.100
Укупно		9.660

5.2 Трошкови система за прикупљање и процесирање гаса

Према претходним истраживањима[8], спроведеним на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, на депонији у Јовановацу, потребно је избушити 40 вертикалних бунара пречника 800 mm. У бунарима ће бити смештене перфориране цеви, односно, сонде. Спољашњи пречник сонди је 100 mm. Сонде нису перфориране целом дужином, већ само доњи део. Горњи део није перфориран како би се спречио улаз ваздуха у систем. Сонде ће бити постављене на дубини од 10 m, а на растојању од 60 m. Након постављања сонди у претходно избушене бунаре, око њих ће бити положен камен пречника око 30 mm. Камен се полаже како се бунар не би урушио, али и да би спречио ширење крупнијих нечистоћа из тела депоније у систем.



Слика 5.1 Распоред сонди за прикупљање гаса[8]

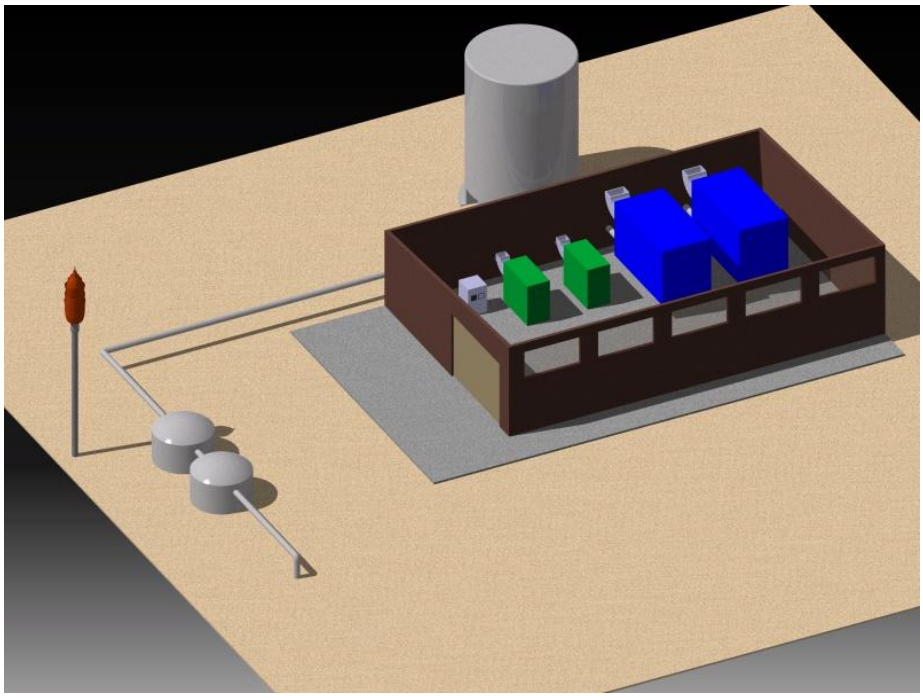
Према [8], цена система за сакупљање, процесирање и конверзију гаса ја на нивоу од око 450.000 €. Тошкови одржавања система, према [10], износе 37.700 € годишње и то 1.655 € за бунаре, 3.310 € за бакљу и 32.740 за бловер. Ови трошкови представљени су у табели 12.

Табела 12. Трошкови система за прикупљање, процесирање и конверзију гаса

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

5.3 Трошкови објекта

Димензије објекта (слика 5.2) у коме ће бити смештене когенерационе јединице су одређене у односу на димензије тих когенерационих јединица. Димензије објекта су 20m x 13m x 5m. За изградњу оваквог објекта потребна су средства приказана у табели 13, 14, 15, 16 и 17.



Слика 5.2 Изгледа објекта за когенерацију

Табела 13. Трошкови темеља

Материјал	**Количина**	**Трошкови РСД**
Цемент	120 ком	82.800
Песак	20 m^3	40.000
Арматурна мрежа V	20 ком	54.000
Ф12 ČBR	528 m	44.252
Ф6 узенгије	1760 m	33.150
Укупно		254.202

Табела 14. Трошкови зидова

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

Табела 15. Трошкови кровне конструкције

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

Табела 16. Трошкови бетонског платоа

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

Табела 17. Трошкови прозора и врата

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

Из приложених табела, укупни трошкови објекта износе 1.979.800 РСД-а и када се узму у обзир и неки непредвиђени додатни трошкови, укупни трошкови ће износити око 2.000.000 РСД-а. Уз тренутни средњи курс евра према НБС, укупни трошкови износе око 17.400 €. Треба узети у обзир да у ову анализу изградње објекта нису урачунати трошкови грађевинских радова.

5.4 Процена времена повраћаја инвестиције

Време повраћаја инвестиције представља оцену економске оправданости инвестиције. С обзиром да когенерационе јединице троше гас који се производи на самој депонији и није суштински трошак, постројење ће увек радити са добитком. Процена времена повраћаја инвестиције биће одређена као однос инсталационих трошкова когенерационе јединице, трошкова одржавања мотора, трошкова изградње система за сакупљање, процесирање и конверзију гаса, трошкова изградње машинске зграде и добити

од генерисања електричне енергије при важећим подстицајним мерама (табела 18), по следећој релацији.

$$I + C + I_s + I_o \ / \quad C_1 \times x \times 24 \times 365 \ /100 \ = T_{pi} \tag{5.1}$$

где је:

I – трошкови мотора,

C – трошкови одржавања мотора,

I_S – трошкови система за прикупљање и процесирање гаса,

I_O – трошкови објекта

C_1 – подстицајна откупна цена,

x – количина електричне енергије.

Табела 18. Трошкови инвестиција и откупна цена енергије

Инвестиција	**Цена**
Трошкови мотора [€]	518.000
Трошкови одржавања мотора [€]	9.660
Трошкови система за прикупљање и процесирање гаса [€]	450.000
Трошкови одржавања система за прикупљање и процесирање гаса [€]	37.700
Трошкови изградње објекта [€]	17.400
Откупна цена [c€/kWh]	6,91

Електрична ефикасност мотора са унутрашњим сагоревањем снаге 100 kW износи 38,4 %, док електрична ефикасност мотора снаге 200 kW износи 39,2 %. Количина електричне енергије коју производе мотори од 100 kW израчуната је по релацији 5.2, док је количина електричне енергије коју производи мотор снаге од 200 kW дата релацијом 5.3:

$$2 \times 100kW \times 0{,}384 = 76{,}8kW \tag{5.2}$$

$$2 \times 200kW \times 0{,}392 = 156{,}8kW \tag{5.3}$$

па је укупна количина електричне енергије коју ови мотори дају 233,6 kWh.

Укупна сума изградње постројења капацитета 600 kW износи 985.400 €. Са подстицајним мерама, откупна цена електричне енергије за такво постројење је 6,91 c€/kWh, па би зарада у првој години износила 141.401 €. Ако се узме у обзир да инвеститор

поседује суму потребну за изградњу постројења, време повраћаја инвестиције само од продаје електричне енергије било би око 7 година.

Топлотна ефикасност мотора са унутрашњим сагоревањем снаге 100 kW износи 46,9 %, док топлотна ефикасност мотора снаге 200 kW износи 48,1 %. Количина топлотне енергије коју производе мотори од 100 kW израчуната је по релацији 5.4, док је количина топлотне енергије коју производи мотор снаге од 200 kW дата релацијом 5.5:

$$2 \times 100kW \times 0{,}469 = 93{,}8kW \tag{5.4}$$

$$2 \times 200kW \times 0{,}481 = 192{,}4kW \tag{5.5}$$

па је укупна количина топлотне енергије коју ови мотори дају 286,2 kWh.

Држава Србија није дефинисала цену по којој би се продавала топлотна енергија из обновљивих извора енергије, па ће се за овај прорачун узети цена коју прописује „Енергетика“ Д.О.О и она износи 5 дин/kWh[11]. Добијена топлота ће се по овој цени продавати околним домаћинствима. Осим за грејање домаћинстава, део топлотне енергије се може користити и за грејање постројења. Продајом топлотне енергије постројење би у првој години остварило зараду у износу од 125.355 €.

Као што је већ речено, укупна сума за изградњу постројења износи 985.400 €, а укупна зарада на годишњем нивоу износи 266.756 €. Период повраћаја инвестиције је знатно смањен продајом електричне и топлотне енергије и износи око 4 године. Овај период ће бити дужи када се у обзир узму трошкови одржавања постројења, плате радника и порез на добит (табела 19).

Табела 19. Економски ток пројекта

	Опис	***I година***	***II година***	***III година***	***IV година***	***V година***	***VI godina***	***VII godina***
I	**ПРИЛИВ [€]**	**266.756**	**266.756**	**266.756**	**266.756**	**266.756**	**266.756**	**266.756**
1.	Топлотна енергија	125.355	125.355	125.355	125.355	125.355	125.355	125.355
2.	Електрична енергија	141.401	141.401	141.401	141.401	141.401	141.401	141.401
II	**ОДЛИВ [€]**	**1.046.555**	**108.515**	**61.155**	**108.515**	**61.155**	**108.515**	**61.155**
1.	Инвестиције	985.400	0	0	0	0	0	0
2.	Одржавање	0	47.360	0	47.360	0	47.360	0
3.	Плате	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000	47.000
4.	Порез на добит	14.155	14.155	14.155	14.155	14.155	14.155	14.155

III	**НЕТО ПРИЛИВ [€]**	**- 779.799**	**158.241**	**205.601**	**158.241**	**205.601**	**158.241**	**205.601**
Дисконтна стопа 10 %								
1.	Дисконтни фактор	0,909091	0,826446	0,751315	0,683013	0,620921	0,548102	0,493291
2.	Садашња вредност [€]	- 708.908	130.777	154.471	108.080	127.661	86.732	101.421

У табели 19 је приказан економски ток пројекта у периоду од 7 година. Прилив новца долази од продаје електричне и топлотне енергије, по већ утврђеним ценама. Одлив новца у првој години представљају сви трошкови изградње постројења, плате радника и порез на добит. У првој години пројекта нема трошкова одржавања, а након тога постројење ће се одржавати сваке друге године. За једно овакво постројење потребно је 10 радника, са просечним месечним примањима од 45.000 РСД-а. Порез на добит, за инвестиције мање од 1.500.000 € износи 10 %. Укупна инвестициона улагања у овај пројекат су 985.400 €, па је порез на добит у овом случају 10 %.

Табела 20. Период повратка инвестиције

Године века пројекта	**Нето прилив[€]**	**Кумулатив нето прилива[€]**
I	- 779.799	- 779.799
II	158.241	- 621.558
III	205.601	- 415.957
IV	158.241	- 257.716
V	205.601	- 52.115
VI	158.241	106.126
VII	205.601	311.727
Период повратка инвестиције	**5 година и 4 месеци**	

У табели 20 је приказан период повратка инвестиционих улагања у пројекат. Период повратка инвестиционих улагања је 5 година и 4 месеци и краћи је од животног века пројекта, па је пројекат задовољавајући.

Табела 21. Нето садашња вредност пројекта

Године века пројекта	**Нето прилив економског тока [€]**	**Садашња вредност [€]**
I	- 779.799	- 708.908
II	158.241	130.777
III	205.601	154.471
IV	158.241	108.080
V	205.601	127.661
VI	158.241	86.732
VII	205.601	101.421
VIII	158.241	70.252
IX	205.601	82.150
X	158.241	56.903
Сума	833.810	227.721
Нето садашња вредност [€]	**227.721**	
Релативна нето садашња вредност	**0,27**	

У табели 21 је приказана нето садашња вредност пројекта и она износи 227.721 €. Релативна нето садашња вредност је израчуната као однос садашње вредности инвестиционих трошкова уз дисконтну стопу од 10 % и нето садашње вредности пројекта и износи 0,27. Практично, ово значи да на сваку јединицу улагања, пројекат обезбеђује 0,27 јединица за реинвестирање. С обзиром да су и нето и релативна нето садашња вредност позитивне, пројекат је прихватљив.

6. ЗАКЉУЧАК

У Србији је проблем са депонијама стална појава, па је тако и депонија у Крагујевцу далеко од еколошки прихватљиве и уређене депоније. Депонија се налази у насељу Јовановац, 2 km североисточно од центра града. Основана је 1963.године и на њу се одлаже комунални чврсти отпад из општине Крагујевац, опслужујући око 185.000 становника. Дневно се одлаже око 150 тона чврстог комуналног отпада. Депонија је већ прерасла висину од 15 метара и као таква представља "еколошку бомбу" за град и околину и требало би је трајно затворити због безбедности окружења.

Депонијски гас се може искористити у моторима са унутрашњим сагоревањем, који се истовремено могу користити за добијање електричне и топлотне енергије. Како се током времена количина депонијског гаса мења, препоручује се коришћење 3 до 5 мотора мање снаге, како би се у сваком тренутку обезбедило искоришћење високог процента расположивог депонијског гаса.

Коришћењем софтвера *Ukraine LFG Model v1*, добијена је потенцијална количина депонијског гаса на депонији у Јовановцу, а на основу количине гаса и енергетски потенцијал, који износи 0,6 MW. У раду су истражене цене и ефикасност за 61 модел мотора са унутрашњим сагоревањем за искоришћење депонијског гаса, који су пронађени у каталозима одабраних произвођача. Како је већ поменуто користиће се већи број мотора мање снаге, односно два мотора снаге 200 kW и два мотора снаге 100 kW. Количина електричне енергије коју мотори са унутрашњим сагоревањем могу да произведу на овој депонији је 233 kWh, док је количина топлотне енергије коју производе 286 kWh.

Инвестиција уградње система за сакупљање и процесирање гаса, као и бакље за спаљивање износила би 450.000 €. За куповину мотора потребна је сума од око 500.000 €, тако да би укупна инвестиција за изградњу когенерационог постројења капацитета 0,6 MW износила око 985.000 €. Продајом само електричне енергије по већ утврђеним ценама од 6,91c€/kWh, које прописује влада Републике Србије, годишњи прилив би износио око 140.000 € и период отплате постројења би износио око 7 година. Република Србија није прописала цену по којој би се продавала топлотна енергија добијена из обновљивих извора енергије, па је за ову анализу узета цена коју прописује „Енергетика" Д.О.О и она износи 5 din/kWh. Продајом топлотне енергије по већ поменутој цени, годишњи прилив постројења би се повећао за суму од око 125.000 € и период отплате би се смањио на 4 године. Међутим, детаљном економском анализом, у којој су урачунати и трошкови одржавања, трошкови плата радника и порез на добит, добије се период за повраћај инвестиције који износи 5 година и 4 месеци. Економском анализом долази се до закључка да је пројекат економски исплатив.

Занемарујући економску добит, овакав пројекат би обезбедио нова радна места, као и развој индустрије у погледу искоришћења обновљивих извора енергије, али и допринос у заштити животне средине.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Закон о управљању отпадом, Члан 7, („Службени гласник РС“, бр. 36/2009 и 88/2010)

[2] Небојша Јовичић, „Управљање чврстим отпадом“, Факултет инжењерских наука Унверзитет у Крагујевцу, 2004.

[3] Дијана Момчиловић, Бранка Накомчић - Смарагдакис, „Process of biogas production in waste water treatment plant“, Зборник радова Факултета техничких наука, Нови Сад, 2012.

[4] Горан Вујић, Милан Мартинов, Дејан Убавин, „Студија могућности коришћења комуналног отпада у енергетске сврхе (Waste to energy) на територији АП Војводине и РС“, Департман за инжењерство заштите животне средине, 2008.

[5] Дејан Убавин, Никола Маодуш, Душан Миловановић, „Могућности искоришћења депонијског гаса“, Компакт магазин, бр. 13, стр. 27 – 37, Асоцијација за управљање чврстим отпадом, 2013.

[6] Lantz Mikael, „The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies“, pp. 502 – 511, Sweden, 2012.

[7] Уредба о мерама подстицаја за повлашћене проивођаче електричне енергије, Члан 13 и 14, („Службени гласник РС”, бр. 57/11, 80/11 – исправка, 93/12, 124/12, 55/05, 71/05 - исправка, 101/07, 65/08, 16/11, 68/12 – УС и 72/12)

[8] Марко Р. Јевтовић, „Идејно решење постројења за когенерацију депонијског гаса из комуналног отпада града Крагујевца“, Мастер рад, Факултет инжењерских наука Унверзитет у Крагујевцу, 2012.

[9] Горан Вујић, Дејан Убавин, „Утврђивање састава отпада и процене количине у циљу дефинисања стратегије управљања секундарним сировинама у склопу одрживог развоја Републике Србије“, Департман за инжењерство заштите животне средине, 2009.

[10] US Environmental Protection Agency, „LFG Energy Project DevelopmentHandbook“, USA, 2009.

[11] Одлука о повећању цена топлотне енергије, бр 9/17, „Енергетика“ Д.О.О, Крагујевац, 2013.

ЛИНКОВИ КАТАЛОГА

EC Power:

http://www.ecpower.eu/english/the-xrgir/technical-data/xrgir-20.html

Jenbacher:

https://www.ge-distributedpower.com/products/power-generation/up-to-5mw/jenbacher-type-2

Dresser – Rand:

http://www.dresser-rand.com/literature/guascor/85259_SFGLD180_engine.pdf

http://www.dresser-rand.com/literature/guascor/85260_SFGLD240_Engine.pdf

http://www.dresser-rand.com/literature/guascor/85261_SFGLD360_Engine.pdf

http://www.dresser-rand.com/literature/guascor/85262_SFGLD480_Engine.pdf

http://www.dresser-rand.com/literature/guascor/85263_SFGLD560_Engine.pdf

MWM:

http://issuu.com/mwm_energy/docs/mwm_lb_tcg_2016_en/8?e=0

DEUTZ:

http://chinagenset.en.alibaba.com/product/490627401-219361728/DEUTZ_CNG_Landfill_gas_generator_set.html

Edina:

http://www.seai.ie/News_Events/Energy_Show/Exhibitor_Zone/Exhibitor-List-2014.pdf

MAN:

http://www.pro2.com/icms_htlib/1/download/datenblaetter/Produktprogramm/PP_Pro2_MAN_GB_RZ.pdf

TEDOM:

cogeneration.tedom.com/down/750.pdf

2G CENERGY:

http://www.2g-cenergy.com/pdfs/brochures/2G%20CENERGY%20Product%20Program%20Cogen%20Biogas%2060Hz-2013.pdf