

ENERGETSKI POTENCIJAL DEPONIJSKOG GASA

V. Ivanović¹, D. Ivanović¹, B. Dragović²

SAŽETAK:

Izgradnjom sanitarne deponije „Livade” u Podgorici stvorili su se uslovi za izgradnju sistema za kaptaciju deponijskog gasa koji je prva faza u kontroli emisije sa deponije i njegovom efikasnom korišćenju.

Izdvajanje i sagorevanje metana, glavne komponente deponijskog gasa, predstavlja značajan doprinos smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Neke od mogućnosti njegove ekonomske valorizacija kroz proizvodnju električne i/ili toplotne energije su prikazani u radu.

Ključne reči: *deponijski gas, sanitarna deponija, gradski otpad*

1. UVOD

Danas postoje i razvijaju se mnogobrojni procesi kojima je moguće čvrsti komunalni otpad pretvoriti u korisnu energiju. Na raspolaganju su spaljivanje, gasifikacija, piroliza, anaerobna digestija, plazma tehnologije, peletelizacija i sanitarne deponije (deponijski gas).

Svaki od ovih procesa ima svoje prednosti i mane. Koji će se proces odabrati zavisi od količine i kvaliteta otpada kao i od lokalnih i socijalno-ekonomskih uslova. Najbolji procesi treba da zadovolje sledeće kriterijume [1]:

- najmanja ulaganja u kapitalne i tekuće troškove
- ne izazivaju zagađivanje vazduha, vode i zemljišta,
- zahtevaju mali prostor,
- proizvode više energije iz manje otpada i
- imaju maksimalno smanjenje zapremine otpada.

Danas su najzastupljeniji procesi spaljivanja i sanitarnog odlaganja otpada. Grad Podgorica se odlučio za izgradnju sanitarne deponije, što je dobar izbor ka-

¹ Prof. dr Vladan Ivanović, Prof. dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona bb

² Borislav Dragović dipl. inž, SOO Univerziteta Crne Gore, Podgorica, Džordža Vašingtona bb

da površina zemljišta pod deponijom nije problem i kada se preduzmu odgovarajuće mere za tretiranje ocednih voda i deponijskog gasa [2].

2. GRADSKA DEPONIJU „LIVADE”

Deponija čvrstog komunalnog otpada nalazi se jugoistočno od Podgorice na udaljenosti 5 km od centra grada, na lokaciji „Livade” neposredno uz put Podgorica – Dinoša, a u blizini rijeke Cijevna koja teče prema jugu.

Na prostoru deponije se više od 50 godina neselektivno i bez kontrole odlagao otpad, na klasičan način i bez primene odgovarajućih mera zaštite životne sredine. Na deponiji se prvenstveno skladišti otpad iz opština Podgorica i Danilovgrad, a od početka 2008. godine privremeno se odlaže i otpad iz primorskih opština.

Glavnim projektom sanacije i uređenja gradske deponije predviđeno je da se smeće odlaže na organizovan i uređen način i u skladu sa propisima koji važe u zemljama Evropske unije, gde se kao prioritet stavlja zaštita životne sredine.

Iz toga razloga, kao deo rešavanja problema odlaganja i skladištenja smeća, a imajući u vidu da oslobađanje deponijskog gasa predstavlja fizički (eksplozija), hemijski (škodljive supstance u ambijentnom vazduhu) i fiziološki (neprijatan miris) rizik za ljude koji žive i rade u blizini deponije predviđen je sistem za kaptaciju deponijskog gasa, njegovo odvođenje na kontrolisan način i u prvoj fazi njegovo sagorevanje (tretman) [3].

3. KOLIČINA DEPONOVANOG OTPADA

Sanitarna deponija (u konačnom obliku) treba da se sastoji od 6 kada za otpad dimenzije 100 x 200 m, koje su locirane u središnjem dijelu kompleksa. Svaka kada ima ugrađen sistem za sakupljanje i dispoziciju ocednih voda, sistem za kaptaciju i dispoziciju biogasa, i sistem za sakupljanje i dispoziciju čistih atmosferskih voda.

U prvom periodu predviđa se izgradnja ukupno 1.500.000 m³ deponije, sa tri kade od po 500.000 m³, a planira se da izgradnja svake kade bude realizovana u godini koja prethodi upotrebi iste (slika 1).

Slojevi otpada se nabijaju sa 6-7 prelaza kompaktora težine 29 t, čime se postiže zbijenost od 750-850 kg/m³. Za proračun je uzeta prosečna gustina od 800 kg/m³ što čini ukupnu masu otpada jedne kade od 400.000 t. Tri kade će biti napravljene tokom 0. godine, 4. godine i 12. godine; odnosno punjenje druge kade otpočeće 2009. godine, a treće kade 2017. godine. Četvrta kada bi trebalo da bude otvorena 2030. godine.



Slika 1. Deponija „Livade” – parcele broj 1 i 2

Takva vremenska nejednačenost uslovljena je činjenicom da je popunjavanje prve kade ubrzano prilivom otpada od saniranja stare deponije i prilivom otpada iz primorskih opština. Uobičajena dnevna količina otpada koja stiže na deponiju iznosi 150 m^3 , a sa otpadom koje stiže sa primorja 250 m^3 .

Uvođenje programa selekcije otpada treba da otpočne 2009. godine, čime će se količina deponovanog otpada postepeno smanjivati uz povećanje procenta organskih materija u deponovanom otpadu čime se povećava i količina proizvedenog deponijskog gasa. Pretpostavka je da će se edukacijom stanovništva i selekcijom otpada kompenzovati i povećanje očekivanog porasta broja stanovnika u opštini Podgorica, pa će se deponovana količina otpada smanjiti na 35.000 tona godišnje od 2014. godine.

4. PRORAČUN PROIZVODNJE DEPONIJSKOG GASA

Kada su određene količine otpada koje će se godišnje donositi na deponiju, i kada se proceni proizvodnja po jednoj toni otpada, moguće je pristupiti određi-

vanju ukupne količine deponijskog gasa koji će se stvoriti na čitavoj deponiji, računajući i preklapanje efekata. Za proračun ukupne količine deponijskog gasa iskorišćen je US EPA program Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 [18].

Proračun je urađen posebno za svaku kadu. Treba napomenuti da je proračun za prvu kadu podjeljen u dva dela: stari otpad i novoprimitljeni otpad, s obzirom na znatno drugačije karakteristike otpada kod stvaranja deponijskog gasa. Izvod iz proračuna [3] je dat u tabeli 1.

Tabela 1. Izvod iz proračuna proizvodnje deponijskog gasa

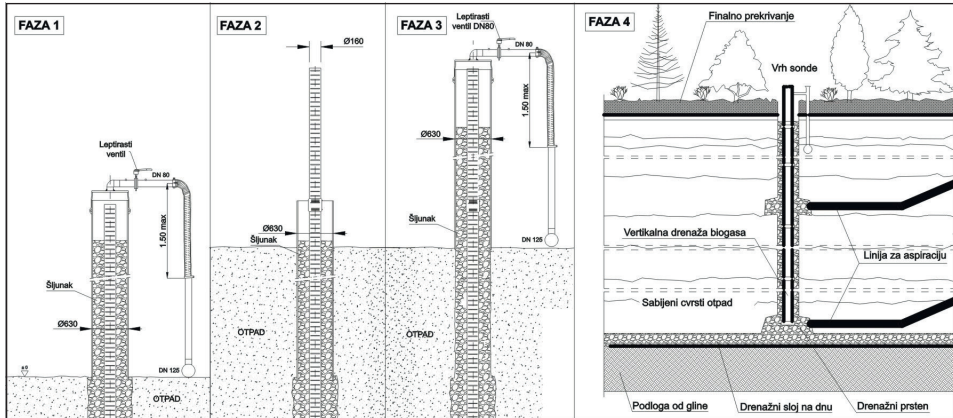
Godina	Ukupno otpada na deponiji [t]	Proizvodnja deponijskog gasa u m ³ /h				
		Kada 1 – stari otpad	Kada 1 – novi otpad	Kada 2	Kada 3	Deponija ukupno
2009	400000	68.2	182.6	—	—	250.8
2010	445000	66.8	197.8	52.5	—	317.1
2015	670000	60.5	162.0	283.4	—	505.9
2019	810000	55.8	138.0	383.7	19.0	596.5
2025	1020000	49.5	108.6	301.9	367.0	827.0
2030	1195000	44.8	88.9	247.1	587.1	976.9

5. DIMENZIONISANJE OBJEKATA ZA KAPTACIJU

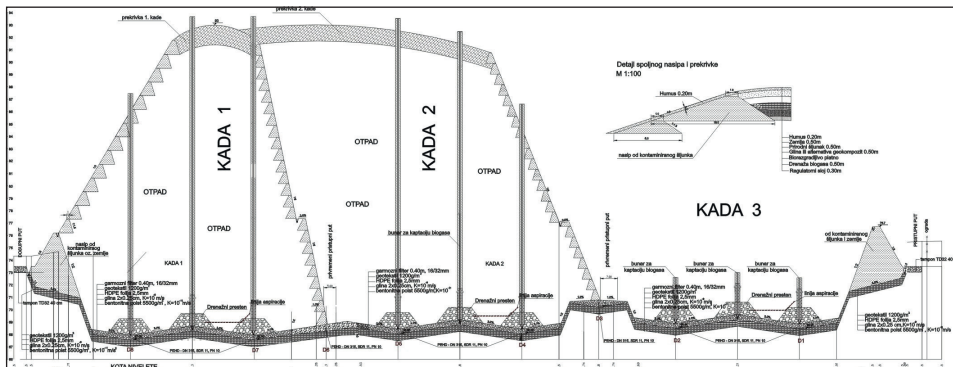
Sistem za kaptaciju biogasa predviđen projektom zasniva se prvenstveno na mreži sačinjenoj od vertikalnih ekstrakcionih bunara koji se u toku popunjavanja deponije prave po principu uzdizanja.

Sistem omogućava da se izvrši kaptacija deponijskog gasa i na deponijama u fazi popunjavanja. Hermetički zatvorena okna onemogućavaju isparavanje gasa, smanjujući neprijatne mirise. Pored toga vršeci kaptaciju sa potpritiskom, ne rizikuje se aspiracija vazduha u linijama. Robustnost okna smanjuje nezaobilazna oštećenja izazvana tokom operacije deponovanja otpada. Odlaganje otpada se vrši u slojevima uz visoko kompaktnije, kako bi se garantovala stabilnost deponije i omogućila konačna rekonstrukcija zone. Nakon sabijanja svaki sloj otpada ima visinu od oko 3 metra i realizuje se tek nakon završetka donjeg sloja. Svaki sloj otpada se prekriva slojem poroznog materijala – šljunka debljine 25-35 cm koji omogućava transport gasa do ekstrakcionog bunara.

Određujući faktor prilikom dimenzionisanja kaptacione mreže koja je organizovana na vertikalnim elementima je „radijus uticaja”. Radijus uticaja je rastojanje u kome bunar, pomoću primenjenog potpritiska, zadržava sposobnost da efikasno razvija sopstveno delovanje. Projekat kaptacione mreže predviđa kompletno pokrivanje površine deponije sa radijusima uticaja od oko 25 metara.



Slika 2. Faze podizanja ekstrakcionog bunara



Slika 3. Poprečni presek kroz sanitarne kade

Za svaku parcelu postoji po 21 ekstrakcioni bunar raspoređen u tri trase (slika 4). Pored toga, u cilju obuhvatanja kompletne deponije, nakon spajanja parcela najverovatnije će se duž trase koja razdvaja parcele 1 i 2, i parcele 2 i 3, izvršiti dodavanje još jedne linije ekstrakcionih bunara.

6. MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA DEPONIJSKOG GASA

Deponijski gas, koji se proizvodi anaerobnom digestijom, sastavljen je kao mešavina stotina različitih gasova. Po zapremini, može se reći da se sastoji prevashodno od dva gasa: 40-60% metana (CH_4) i 40-60% ugljen-dioksida (CO_2). U kombinaciji sa tim gasovima često su prisutni i kiseonik (O_2) i azot (N_2), jer su kao vazduh prisutni u slobodnim međuprostorima u otpadu ili su privučeni iz atmosfere

dinamičkim djelovanjem aspiracije. U manjim količinama ima i amonijaka, sulfida, vodonika, ugljen-monoksida i nemetanskih organskih komponenti (NMOCs).

Iskustva u mnogim zemljama pokazuju da je deponijski gas moguće iskoristiti kao zamenu drugim energetskim izvorima. Kako je energetska vrednost deponijskog gasa koji sadrži 50% metana oko 17500 kJ/m^3 , odnosno oko 5 kWh/Nm^3 na raspolaganju je veliki energetski potencijal jer se njegova proizvodnja odvija neprekidno 24 sata.

Energija koju sadrži deponijski gas može se iskoristiti na više načina što zavisi prvenstveno od lokalnih uslova [8-17].

Deponijski gas se može direktno kao srednje kvalitetno osnovno ili dopunsko gorivo spaljivati u kotlovima ili industrijskim pećima. Na ovaj način gas se cevovodom odvodi do obližnjeg potrošača gde se upotrebljava uz odgovarajuće modifikacije u postojećim ili novim uređajim za sagorevanje. Ovakav način korišćenja ne zahteva poseban tretman deponijskog gasa. Odstranjivanje vlage i osnovna filtracija gasa se podrazumevaju.

Uobičajeni način korišćenja je da se deponijski gas koristi kao gorivo u gasnim klipnim mašinama ili turbinama za proizvodnju električne energije ili još efikasnije u kogeneracionim ili trigeneracionim postrojenjima sa gasnim mašinama. Ovakvi procesi zahtevaju opremu za prečišćavanje i hlađenje deponijskog gasa jer vlaga, vodonik-sulfid, siloksini i prašina koje deponijski gas sadrži štetno utiču na rad gasnih postrojenja.

Jedan od načina je i dodavanje obogaćenog deponijskog gasa, kao visokokvalitetnog goriva u sisteme gradskih gasovoda sa prirodnim gasom. Za ove procese neophodno je uklanjanje ugljen-dioksida i gotovo svih štetnih komponenti iz gasa. Tehnologije za ovakav način korišćenja postoje i nije u pitanju tehnički već ekonomski aspekt šireg korišćenja ovih procesa.

Tehnologija koja mnogo obećava, ali još nije u komercijalnoj upotrebi je i proizvodnja električne energije gorivim ćelijama na deponijski gas. Ovakve jedinice se lako kombinuju, malih su kapaciteta, imaju tih rad i vrlo mali uticaj na životnu sredinu [13].

7. ŠTA SA GASOM SA DEPONIJE „LIVADE”

Problem korišćenja deponijskog gasa sa gradske deponije je nedostatak bilo kakvih potrošača u blizini. Ukoliko se želi korišćenje deponijskog gasa na licu mesta, onda je trenutno jedini izbor proizvodnja samo električne energije pomoću gasnih motora (varijanta 1). Problem, odnosno povećanje investicija, predstavlja nedostatak adekvatne trafostanice u blizini na koju bi se priključenje izvršilo.

Jedini potrošač koji danas sigurno radi i koji koristi sve vidove energije tokom cele godine u režimu 24/7/365 je gradska bolnica koja se nalazi na oko 7 km od

deponije [5]. Pod uslovom da se gas odgovarajućim gasovodom dovede do ener-gane bolnice, u ovakvom objektu bi se mogle ispitati dve mogućnosti. Upotreba deponijskog gasa kao srednje kvalitetnog dopunskog goriva u postojećim kotlov-skim jedinicama (varijanta 2) i upotreba gasa u gasnom klipnom motoru sa kom-binovanom proizvodnjom električne i toplotne energije koje se koriste u krugu bolnice u postojećoj mreži (varijanta 3).

U narednoj tabeli je dat uprošćeni proračun za sve tri varijante korišćenja de-ponijskog gasa. Kako je sistem za kaptaciju deponijskog gasa na kadi 1 izveden, a na kadi 2 je u toku podizanja uključujući i odgovarajuću opremu za spaljiva-nje deponijskog gasa, ti troškovi nisu obuhvaćeni proračunom. Odnosno prora-čunom nije obuhvaćena cena proizvedenog deponijskog gasa za slučaj da se tre-tira kao roba.

Proračun je urađen za očekivanu količinu kaptiranog deponijskog gasa, sa ka-da 1 i 2, od 250 Nm³/h koja se očekuje od 2015. godine sa uobičajenih oko 50% metana.

Pretpostavka je da se oko 10% proizvedene energije troši na sopstvenu po-trošnju. Cena toplotne energije je cena zamenjenog teškog tečnog goriva koje se uobičajeno koristi za proizvodnju toplotne energije, a cena električne energije je cena koju operater plaća.

Tabela 2. Preliminarna finansijska analiza varijantnih rešenja

	jedinica	varijanta 1	varijanta 2	varijanta 3
Količina deponijskog gasa	m ³ /h	250	250	250
Donja toplotna moć	kJ/m ³	17500	17500	17500
Stepen korisnosti generatora EE	%	38	—	35
Stepen korisnosti generatora TE	%	—	85	40
Generisana električna snaga	kW	462	—	425
Generisana toplotna snaga		—	1033	486
Godišnje vreme rada	h	7500	7500	7500
Godišnja proizvodnja EE	kWh	3.117.188	—	2.871.094
Godišnja proizvodnja TE	kWh	—	6.972.656	3.281.250
Cena električne energije	€/kWh	0,069	—	0,069
Cena toplotne energije	€/kWh	—	0,035	0,035
Ukupna godišnja ušteda	10 ³ €	215,1	244,0	312,9
Investicije				
Projektovanje	10 ³ €	80	100	120
Transformatori	10 ³ €	55	—	55
Transportni sistem 7 km	10 ³ €	—	350	350
Povezivanje na trafostanicu	10 ³ €	260	—	100

	jedinica	varijanta 1	varijanta 2	varijanta 3
Klipna gasna mašina	10 ³ €	550	—	620
Gorionik i prepravka instalacije	10 ³ €	—	70	30
Filtriranje i priprema gasa	10 ³ €	380	160	380
Ukupne investicije	10 ³ €	1.325	680	1.655
Troškovi održavanja	10 ³ €/god	35	20	40
Troškovi radne snage	10 ³ €/god	30	30	30
Period otplate	god	8,8	3,5	6,8

Vidi se da je varijanta 2 ekonomski najisplativija jer se instalacija zasniva na postojećim kotlovskim jedinicama pa je i investiciono najpovoljnija, dok je varijanta 1 opterećena investicijom dalekovoda do trafostanice, ekonomski trenutno najnepovoljnija. Varijanta 3 je normalno investiciono najveća ali ima i daleko najveće uštede.

U slučaju da se stvore mogućnosti korišćenja i električne i toplotne energije na samoj deponiji (izgradnja reciklažnog centra i odgovarajućih pogona za prerađivanje sekundarnih sirovina), onda finansijska analiza izgleda sasvim drugačije.

Ako se posmatra samo ekonomski aspekt korišćenja deponijskog gasa, onda male deponije, kakva je „Livade”, koje primaju ispod 200 t/dan otpada, i nemaju mogućnosti korišćenja svih vidova energije na licu mesta, nisu isplative za komercijalnu valorizaciju deponijskog gasa [15], posebno ako se uzmu i troškovi kaptacije deponijskog gasa.

Proračunima nisu obuhvaćeni elementi vezani za:

- značajne ekološke koristi zbog smanjenje emisije metana i ugljen-dioksida u atmosferu a time i efekta staklene bašte;
- poboljšanje ekoloških uslova na deponiji (ograničavanje neprijatnog mirisa sa deponije) i koristi zbog smanjenje mogućih zdravstvenih rizika uništavanjem većine nemetanskih organskih komponenti i štetnih zagađivača vazduha koji doprinose pojavi smoga u lokalnoj zoni kao i smanjenju opasnosti od eksplozije uzrokovanih akumulacijom deponijskog gasa;
- koristi od smanjenja indirektnih emisija zbog zamene proizvodnje električne i toplotne energije nastale od fosilnih goriva, kao ni moguće koristi od promovisanja obnovljivih izvora energije i uvođenja čistih i energetski efikasnih tehnologija.

8. ZAKLJUČAK

Glavna komponenta deponijskog gasa je metan (40-60%) koji se po direktivi IPPC smatra zagađivačem koji globalnom zagrevanju doprinosi 21 puta više od ugljen-dioksida. Zbog toga je važno smanjiti emisiju metana sa deponija komunalnog otpada. Ovo može biti urađeno ili direktnim spaljivanjem na baklji, kao

što se sada radi, ili se pak deponijski gas može iskoristiti kao pogonsko gorivo u gasnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem ili kotlovima radi proizvodnje električne i/ili toplotne energije.

Preliminarna finansijska analiza pokazuje da je na deponiji „Livade” u Podgorici moguća energetska valorizacija deponijskog gasa i da je ekonomski najisplativije deponijski gas iskoristiti kao srednje kvalitetno dopunsko gorivo za direktno sagorevanje u kotlovima. Analiza nije obuhvatila značajne ekološke efekte u smanjivanju emisija metana i ugljen-dioksida kao ni moguće podsticajne mere za promovisanje obnovljivih i energetski efikasnih tehnologija.

LITERATURA

- [1] Sudhir Kumur: *Technology Options for Municipal Solid Waste to Energy Project*, TERI Information Monitor on Environmental Science, Vol. 5, No. 1, June 2000, pp 1-11.
- [2] Deniz Dolgen at all: *Energy Potential of Municipal Solid Wastes*, Energy Sources, Taylor and Francis, 2005, pp 1483-1492.
- [3] Dragović B: *Projekat sistema za kaptaciju deponijskog gasa na gradskoj deponiji Livade u Podgorici*, Green House Podgorica, Jun 2008.
- [4] Ivanović V. at all: *Kaptacija i korišćenje deponijskog gasa*, Energija-Ekonomija-Ekologija, Broj 3-4, Godina XI, mart 2009, str 251-256.
- [5] Ivanović V. at all: *Trigeneracija u urbanim sredinama*, Alternativni izvori energije i budućnost njihove primene u zemlji, CANU, Odjeljenje prirodnih nauka, knjiga 11, Podgorica 2008, str 373-382.
- [6] Martin Bogner: *Termotehničar*, Tom², Građevinska knjiga, Beograd 2005.
- [7] UK Environment Agency: *Guidance on the Management of Landfill Gas*, September 2004.
- [8] Chiemchaisri C., Visvanathan C.: *Greenhouse Gas Emission Potential of the Municipal Solid Waste Disposal Sites in Thailand*, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 58, May 2008, pp 629-635.
- [9] PREGA: *Dhaka City Solid Waste to Electric Energy Project*, Draft Final Report, Vol. 58, April 2005.
- [10] Nadim K. Copty at all: *Stochastic Model for Landfill Gas Transport and Energy Recovery*, Journal of Environmental Engineering, ASCE, Septembar 2004, pp 1042-1049.
- [11] Christopher Eden: *Combined Landfill Gas and Leachate Extraction Systems*, Technical guidance note CPE 07/94, UKPS Ltd, University of Warwick Science Park, Coventry.
- [12] Townsend G. T. at all: *One-Dimensional Gas Flow Model for Horizontal Gas Collection Systems at Municipal Solid Waste Landfills*, Journal of Environmental Engineering, ASCE, December 2005, pp 1716-1723.
- [13] Jennifer Weeks: *Landfills Expand Energy Output*, Journal BioCycle Energy, August 2005, pp 48-54.
- [14] G. Skodras: *Utilisation of Landfill Gas for Energy Production – Operational Experience from 13,8 MWe Power Plant*, OPET Network, Greece 2003, pp 1-13.

- [15] Lars Mikkel Johannessen: *Guidance Note on Recuperation of Landfill Gas from Municipal Solid Waste Landfills*, Urban Waste Management Thematic Group, The World Bank, August 1999.
- [16] UK Environment Agency: *Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines*, August 2004.
- [17] US EPA: *Turning a Liability into an Asset: A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook*, September 1996.
- [18] US EPA: *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*, May 2005.

ENERGY POTENTIAL OF LANDFILL GAS

ABSTRACT:

By building sanitary landfill „Livade” in Podgorica, the conditions were made for building system for landfill gas capturing, which is the first phase in control of emission from landfill and its efficient usage.

Extraction and combustion of methane, the main component of landfill gas represents a significant contribution to reducing emissions of greenhouse gases effect.

Some of the possibilities of its economic valorization through the production of electricity and/or heat energy, are presented in the paper.

Key words: *landfill gas, sanitary landfill, municipale solid waste*