

V. IVANOVIĆ¹, V. PAJKOVIĆ¹, D. IVANOVIĆ¹, B. DRAGOVIĆ²

MOGUĆNOST PRIMENE DEPONIJSKOG GASA KAO ALTERNATIVNOG GORIVA U DRUMSKOM SAOBRAĆAJU

Sažetak: Deponijski gas, dobijen anaerobnom razgradnjom komunalnog otpada, ima značajan energetska potencijal. Stoga se ovaj biogas, u mnogim razvijenim zemljama, koristi kao dodatak ili zamena za druge klasične energetske izvore.

Izgradnjom sanitarne deponije „Livade” u Podgorici stvoreni su uslovi za početak kaptacije deponijskog gasa. To je, inače, prva faza u kontroli emisije metana sa deponije i njegove ekonomske i energetske valorizacije.

U radu je analizirana jedna od mogućih primena deponijskog gasa – kao alternativnog goriva za pogon drumskih transportnih vozila, pre svega onih iz voznog parka deponije.

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. Najzastupljeniji su procesi spaljivanja i sanitarnog odlaganja otpada. Grad Podgorica se odlučio za izgradnju sanitarne deponije.

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.

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

¹ Prof. dr Vladan Ivanović, prof. dr Vladimir Pajković, prof. dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica, Bulevar Džordža Vašingtona bb

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

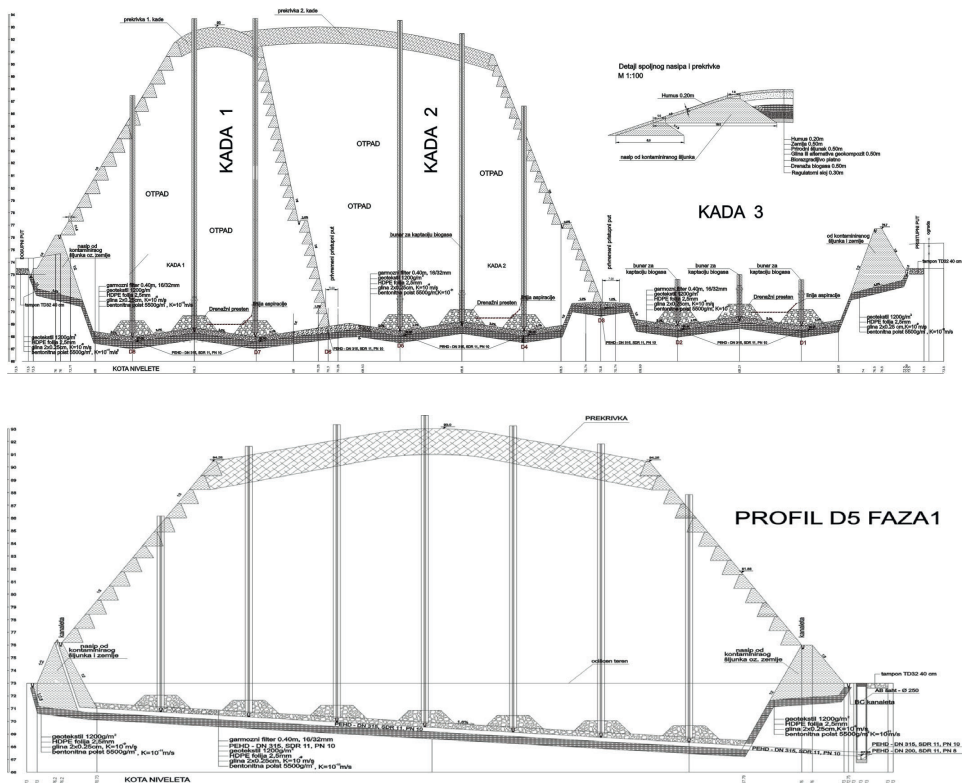
gasa, njegovo odvođenje na kontrolisan način i u prvoj fazi njegovo sagorevanje (tretman) [1].

2. KOLIČINA DEPONIJSKOG GASA

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 treba da 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.



Slika 1. Deponija „Livade” – poprečni presek kroz sanitarne kade

Procene koje se odnose na proizvodnju deponijskog gasa na jednoj kontrolisanoj deponiji, zahtijevaju poznavanje brojnih parametara koji se odnose na dinamiku punjenja deponije, hemijsko-fizičke karakteristike otpada, na način deponovanja i prekrivanje otpada, na lokalne klimatske i hidrogeološke uslove.

Kada se odrede količine otpada koje će se godišnje donositi na deponiju, i kada se proceni proizvodnja po jednoj toni otpada, moguće je pristupiti određivanju 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 [2].

Proračun je urađen posebno za svaku kadu. Treba napomenuti da je proračun za prvu kadu podeljen u dva dela: stari otpad, skupljen na prostoru deponije prilikom njene sanacije koji se tu deponovao u prethodnih 50 godina i novopriljeni otpad. Ovo je urađeno obzirom na znatno drugačije karakteristike otpada ka stvaranja deponijskog gasa. Proračunom su sada obuhvaćene tačne količine otpada koje su lagerovane do 2013 godine a čija je količina određena vaganjem na deponiji. Izvod iz proračuna je dat u tabeli 1.

Tabela 1. Izvod iz proračuna proizvodnje deponijskog gasa

Godina	Ukupno otpada na deponiji [t]	Kaptirana količina deponijskog gasa u Nm ³ /h			
		Kada 1	Kada 2	Kada 3	Deponija ukupno
2009	347420	135,7	34,0	–	169,7
2010	430740	130,9	111,4	–	242,3
2016	795870	123,9	323,6	38,0	485,5
2020	955870	107,3	265,0	172,1	544,4
2024	1115870	93,0	216,9	282,0	591,9
2030	1115870	83,5	186,7	242,7	513,0

3. MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA DEPONIJSKOG GASA

Deponijski gas, koji se proizvodi anaerobnom digestijom, sastavljen je kao mešavina stotina različitih gasova. Po zapremni, može se reći da se sastoji prevashodno od dva gasa: 40–60% metana (CH₄) i 40–60% ugljendioksida (CO₂). U kombinaciji sa tim gasovima često su prisutni i kiseonik (O₂) i azot (N₂), 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, ugljenmonoksida i nemetanskih organskih komponenti (NMOCs).

Iskustva u mnogim zemljama pokazuju da je deponijski gas moguće iskoristiti kao zamenu drugim energetske izvorima. Kako je energetska vrednost deponijskog gasa koji sadrži 50% metana oko 17500 kJ/m³, odnosno oko 5 kWh/m³ na

raspolaganju je veliki energetska 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 [3–9].

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 uređajima 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 koristiti 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 visoko kvalitetnog 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 pomoću gorivnih ćelija na deponijski gas. Ovakve jedinice se lako kombinuju, malih su kapaciteta, imaju tih rad i vrlo mali uticaj na životnu sredinu.

4. ŠTA SA GASOM SA DEPONIJE „LIVADE”?

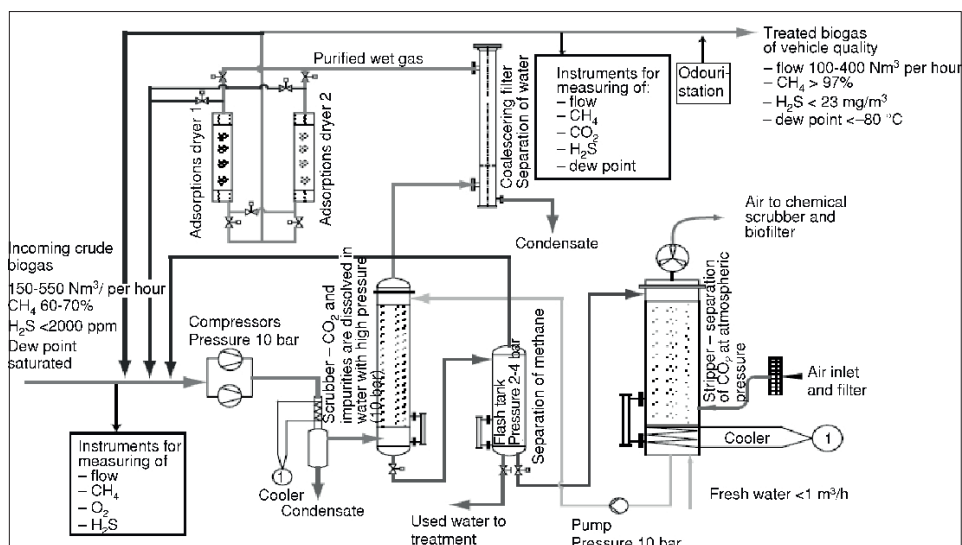
Problem korišćenja deponijskog gasa sa gradske deponije je nedostatak bilo kakvih potrošača u blizini. Ukoliko se želi korišćenje deponijskog gasa na licu mesta onda se moraju razmotriti i neke druge, sofisticirane a recentne opcije njegove potencijalne primene. U tom smislu za nas može biti posebno interesantan sektor transporta, u prvom redu pitanje mogućnosti zadovoljenja energetske potreba komunalnog voznog parka i voznog parka angažovanog na opsluživanju same deponije.

Osim uobičajene primene za proizvodnju toplotne i/ili električne energije, deponijski gas se poslednjih godina sve češće koristi za dobijanje goriva za pogon drumskih vozila. Razlozi za to nisu samo u težnji da se obezbedi veći udeo obnovljivih izvora energije u sektoru transporta (kako propisuju evropske direktive), niti

su samo ekološke prirode, već takav vid konverzije deponijskog gasa može imati i čisto ekonomsko opravdanje [10].

Kao pogonsko gorivo za transportna sredstva, deponijski gas se može koristiti u vidu komprimovanog prirodnog gasa (CNG – *Compressed Natural Gas*) i utečnog prirodnog gasa (LNG – *Liquefied Natural Gas*). Pre toga se, naravno, kroz postupak prečišćavanja i obogaćivanja gas mora dovesti na standard motorskih gasnih goriva – mora sadržati više od 95% metana i manje od 23 mg/m³ vodonik-sulfida.

Tehnološki postupak (jedna od varijanti) prečišćavanja deponijskog gasa za dobijanje CNG-a razrađen je u sklopu švedskog Växkraft projekta, slika 2, [11].



Slika 2. Växkraft tehnološki postupak prečišćavanja/obogaćivanja deponijskog gasa

U početnoj fazi ovim postupkom se povećava sadržaj metana u gasu (na 60–70%), a potom se sirovi gas propušta kroz vodu koja apsorbira CO₂ i druge nečistoće (metan se u vodi ne rastvara). Na kraju se filtriranjem i sušenjem uklanja vlaga iz gasa. Postupak se može ponavljati dok se ne dobije gas – (bio)metan potrebnog kvaliteta. Kada se komprimuje, tako dobijen (bio)metan ima isti sastav i tehničke karakteristike kao CNG, pa se sa njim može mešati i ubacivati direktno u transportno-distributivnu mrežu gasovoda.

I u standardnim motorima sa unutrašnjim sagorevanjem komprimovani (bio)metan se može koristiti kao čist ili pomešan sa CNG-om, bez potrebe za bitnijim intervencijama (prepravkama) na motoru. Jedino vozila sa pogonom na CNG (biometan) moraju biti opremljena posebnim rezervoarom za gas i sistemom za dovoz tog goriva do motora.

U zemljama sa razvijenom infrastrukturom i tržištem gasa, vozila sa pogonom na CNG našla su svoje mesto, posebno u sektoru javnog gradskog prevoza (razlozi su pre svega ekološki). U Švedskoj, na primer, ima preko 17.000 vozila javnog prevoza koja rade na CNG, a većina od njih za pogon koristi upravo (bio)metan dobijen iz deponijskog gasa. Proračuni su pokazali da samo deponija u blizini grada Västeråsa, koja ima kapacitet poput naše deponije „Livade” (do 500 Nm³/h deponijskog gasa), godišnje daje oko 23 GWh energije (u vidu biometana), što je dovoljno da autobusi javnog prevoza pređu 4,4 miliona kilometara, odnosno da se uštedi 1800 m³ dizela. Zamenom te količine dizela (kao fosilnog goriva) biometanom dobijenim iz deponijskog gasa, pored ekonomskog efekta postiže se i smanjenje emisije gasova staklene bašte na godišnjem nivou od 4600 tona CO₂eq, [11].

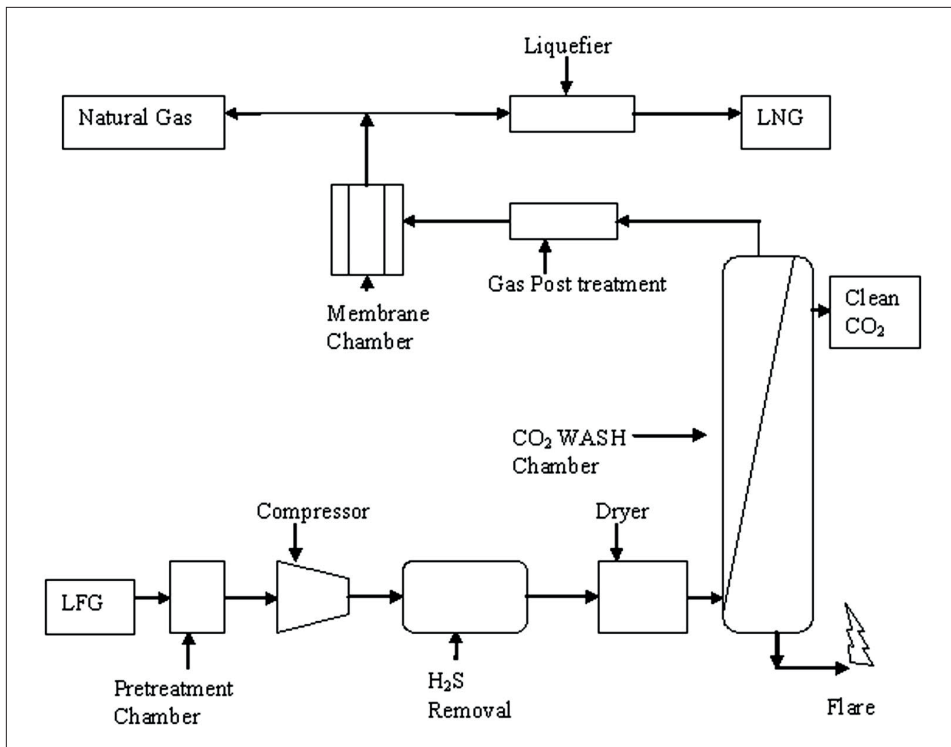
Ako tržište prirodnog gasa, međutim, nije dovoljno razvijeno ili ne postoji, kao što je slučaj kod nas, onda nema uslova da se ovaj vid konverzije deponijskog gasa ni ekonomski ni ekološki valorizuje. Zato je za nas možda interesantnije da se razmotri drugi slučaj – mogućnost konverzije deponijskog gasa u tečni prirodni gas (LNG), i njegove primene kao goriva za komunalna vozila koja opslužuju deponiju.

Tehnologija dobijanja LNG-a iz deponijskog gasa razrađena je u SAD-u sredinom prošle decenije (Acricion Technologies Inc.), i bazirana je na tzv. *CO₂ Wash* postupku, slika 3, [12].

CO₂ Wash je novi, sofisticirani pristup tretmanu deponijskog gasa, zasnovan na različitim reakcijama komponenti deponijskog gasa na sniženim temperaturama. U prvoj fazi postupka uklanjaju se neželjene komponente, kao što su vodonik-sulfid i vodena para; zatim se kroz postupak hlađenja odvajaju metan i CO₂, dok se isparive organske komponente (VOCs) odvođe da sagorevaju na plamenu. Metan bez kontaminanata na kraju se utečnjava, i na taj način dobija gorivo adekvatne čistoće koje se može koristiti u transportnim sredstvima. Pri tome se gorivo može proizvoditi i tankovati u neposrednoj blizini deponije (za ovako dobijen LNG nije potrebna razgranata distributivna infrastrukturna mreža kao za CNG), što ga čini posebno pogodnim za podmirivanje potreba voznog parka deponije.

CO₂ Wash postupak omogućava konvertovanje cca. 80% metana u LNG. Ako se uzme da deponijski gas prosečno sadrži oko 50% metana, i da naša sanitarna deponija može da radi sa kapacitetom od 500 Nm³/h deponijskog gasa i stepenom kaptacije od 50%, proizilazi da se na ovaj način dnevno može dobiti približno 3800 litara visoko kvalitetnog tečnog goriva za pogon komunalnih vozila.

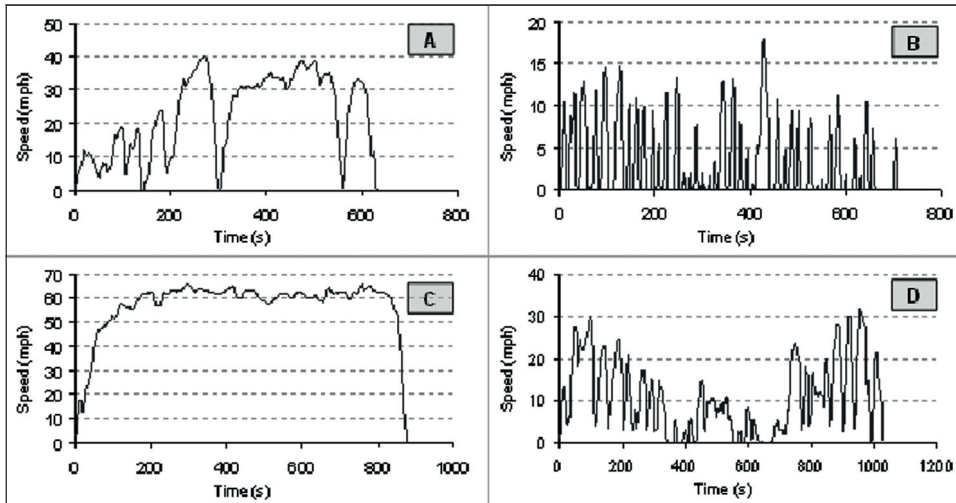
Za kompletnu analizu ekonomske opravdanosti, pored ovog parametra, lokalnih uslova i troškova izgradnje i rada postrojenja za preradu deponijskog gasa u LNG, treba uzeti u obzir i potrebu za obnovom voznog parka (dizel vozila – vozila sa pogonom na LNG) i uslove rada komunalnih vozila, kao i eventualne državne podsticaje za upotrebu goriva ne-fosilnog porekla i smanjenje emisije gasova staklene bašte.

Slika 3. Shematski prikaz Acirion's CO₂ Wash procesa

Kod razmatranja obnove voznog parka treba imati u vidu da je nabavna cena komunalnih vozila na LNG za oko 30% viša od cene odgovarajućih dizel vozila. Ali se ne mora planirati istovremena zamena svih postojećih komunalnih dizel vozila novim vozilima na LNG – zamena se može prilagoditi isteku amortizacionog veka svakog pojedinačnog vozila, koji u slučaju komunalnih vozila za prevoz otpada obično nije duži od 10 godina.

I specifičan režim rada komunalnih vozila za prevoz otpada, slika 4, ima reperkusije na parametre ekonomske analize opravdanosti, pre svega kroz potrošnju goriva i tehničko stanje ovih vozila.

Specifično za ova vozila jesu česta pokretanja i zaustavljanja na kratkim distancama, te stajanja u mestu u fazi sakupljanja otpada. Na dijagramu na slici 4B to se reflektuje kao niz ubrzavanja, usporavanja i rada na praznom hodu, u veoma kratkim vremenskim intervalima. Sa režimom sakupljanja otpada smenjuju se tipični režimi gradske vožnje (slika 4A) i slobodne vožnje na putu od sanitarne deponije i ka njoj (slika 4C), kao i režim rada na samoj deponiji (slika 4D), karakterističan isključivo za komunalna vozila ove namene. Uz to, i opterećenje komunalnih vo-



Slika 4. Tipičan režim rada komunalnih vozila za prevoz otpada
 A – gradska vožnja, B – sakupljanje otpada,
 C – slobodna vožnja, D – rad na deponiji

zila neprestano se menja tokom celog radnog ciklusa, kao rezultat prikupljanja (ili odlaganja) novih količina otpada. Pri proceni prosečne potrošnje goriva, i planiranju troškova održavanja i remonta mehaničkih i hidrauličnih komponenti, ove karakteristike komunalnih vozila za prevoz otpada moraju biti uzete u obzir.

Ostali parametri potrebni za preliminarnu analizu ekonomske opravdanosti konvertovanja deponijskog gasa u LNG, za slučaj sanitarne deponije „Livade”, u ovom trenutku nisu poznati. Ako kod nas nisu, u slučaju teksaških deponija sličnih kapaciteta jesu – analize vršene tokom 2008. godine pokazale su da je, u poređenju sa situacijom kada se sa deponijskim gasom ništa ne čini („spaljivanje na baklji”), konvertovanje gasa u LNG za pogon komunalnih vozila, sa ekonomskog aspekta, 40% povoljnije, dok je konvertovanje deponijskog gasa u električnu energiju povoljnije za nekih 18%, [12]. Pri tome su uzeti u obzir: kapitalni troškovi izgradnje, rada i održavanja postrojenja (za električnu energiju, odnosno za proizvodnju LNG-a), kapitalni troškovi konverzije voznog parka (dizel/LNG), operativni troškovi i troškovi održavanja voznog parka (dizel/LNG), benefiti od smanjenja štetne emisije, i tržišne cene energenata (električna energija/LNG).

5. ZAKLJUČAK

Glavna komponenta deponijskog gasa je metan (40–60%) koji se po direktivi IPPC smatra zagađivačem koji globalnom zagrevanju doprinosi 21 puta više od

ugljendioksida. 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 energetske valorizovati.

Iskustva iz mnogih zemalja pokazuju da je deponijski gas moguće iskoristiti kao zamenu drugim energetske izvorima. Jedan od mogućih načina upotrebe je iskoristiti deponijski gas kao pogonsko gorivo za vozni park deponije kako je u radu prikazano.

LITERATURA

- [1] Dragović B.: „Projekat sistema za kaptaciju deponijskog gasa na Gradskoj deponiji Livade u Podgorici”, Green House Podgorica, Jun 2008.
- [2] US EPA: „Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User’s Guide”, May 2005.
- [3] 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.
- [4] Ivanović V. i dr: „Kaptacija i korišćenje deponijskog gasa”, Energija-Ekonomija-Ekologija, Broj 3–4, Godina XI, mart 2009, str 251–256.
- [5] Ivanović V. i dr: „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] Ivanovic V., Ivanovic D.: „Instability in production of landfill gas during landfill building”, *MTM – Machines, Technologies, Materials*, Issue 4–5/2010, p. 52–56.
- [7] UK Environment Agency: „Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines”, August 2004.
- [8] Deniz Dolgen at al: „Energy Potential of Municipal Solid Wastes”, Energy Sources, Taylor and Francis, 2005, pp 1483–1492.
- [9] PREGA: „Dhaka City Solid Waste to Electric Energy Project”, Draft Final Report, Vol. 58, April 2005.
- [10] NSCA Report: „Biogas as a road transport fuel”, An assessment of the potential role of biogas as a renewable transport fuel, Research undertaken for the National Society for Clean Air and Environmental Protection, 2006.
- [11] Houdkova L. at al: „Biogas – a Renewable Source of Energy”, Thermal Science, Vol. 12, No. 4, 2008, pp. 27–33.
- [12] Zietsman J. at al: „Feasibility of Landfill Gas as a Liquefied Natural Gas Fuel Source for Refuse Trucks”, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 58, May 2008, pp 613–619.

POSSIBLE APPLICATIONS OF LANDFILL GAS AS AN
ALTERNATIVE FUEL FOR THE ROAD TRANSPORT

Abstract: Landfill gas, obtained by anaerobic decomposition of municipal waste has a significant energy potential. Therefore, in many developed countries this gas is used in addition to or instead of other traditional energy sources.

By building sanitary landfill „Livade” in Podgorica, the conditions were made for landfill gas capturing. This is usually the first stage in controlling methane emissions from the landfill and its economic and energetic valorization.

This paper analyzes one of the possible uses of landfill gas – as an alternative fuel for propulsion of road transport vehicles, especially those from the vehicle fleet of the landfill.

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