

OTPLINJAVANJE ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

Nakon što su prepoznati svi negativni utjecaji odlagališnih plinova, u Europi se početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća započelo s prikupljanjem i izgaranjem odlagališnih plinova na plinskim bunarima i plinskim stanicama. Godinama se tehnologija plinskih stanica razvijala, a obrada je odlagališnih plinova izgaranjem postala općeprihvaćena. Razvitku tehnologije prilagođavali su se zakonodavstvo i prateći propisi, pa je usvojen niz norma i smjernica. Na kraju je 26. travnja 1999. donesena Europska direktiva o odlaganju otpada (1999/31/EC) u kojoj je u aneksu 1., članka 4., izričito navedeno: "Ako se prikupljeni plin ne može iskoristiti za proizvodnju energije, mora se spaliti."

Hrvatska je također svojim zakonodavnim rješenjima i propisima pratila kretanja u politici gospodarenja

DEGASSING OF MUNICIPAL WASTE LANDFILL SITES

Municipal waste disposal sites rank among the greatest polluters of air because they generate waste gases, methane in particular. This fact has been widely recognised in Europe and, to reduce the amount of this pollution, it is currently recommended that these gases be either incinerated or used as a source of energy. Using as an example the Sarajevo waste landfill, currently one of the best improved disposal sites in Southern Europe, possibilities are examined for cost-effective construction of a smaller residual-gas-operated power plant, which would supply electricity to the national electricity grid, and would at the same time provide thermal energy. It has been established that the waste of animal origin is the greatest generator of methane, and that the separate collection of waste, and sanitary waste disposal, influence to a great extent the quantity and quality of gas generated through degassing activity. In conclusion, it is emphasised that money is not the only factor of high significance in waste management, as indirect benefits, such as lower air pollution rate, and reduced consumption of fossil fuel, are also highly significant.

otpadom i u otplinjavanju, pa je 1997. Pravilnikom o uvjetima za postupanje s otpadom (članak 19.) regulirano praćenje sastava, količine, prikupljanja i obrade odlagališnih plinova. Iako je taj Pravilnik na snazi već sedam godina, stanje je na odlagališ-

tima u Hrvatskoj s prikupljanjem i obradom odlagališnih plinova pomalo obeshrabrujuće.

Od ukupno 149 nadziranih odlagališta samo pet ima izveden sustav za prikupljanje i obradu odlagališnih plinova. To znači da je od ukupno 1,2 milijuna tona komunalnog otpada što se na godinu proizvede u Hrvatskoj, otplinjavanjem obuhvaćeno približno 330 tisuća (od toga čak 90 posto na odlagalištu Jakuševac u Zagrebu). Od preostalih 870 tisuća tona otpada 35 posto otpada na biorazgradive tvari koje aktivno sudjeluju u proizvodnji odlagališnih plinova koji će se prije ili poslije osloboditi iz tijela odlagališta i štetno utjecati na bližu i dalju okolicu. Stajališta su to grupe stručnjaka (Marin Herenda, dipl. ing. prom., i Josip Herenda, dipl. ing. građ., iz *H-Projekta d.o.o.* iz Zagreba) koja su prikazana još 2004. na 8. međunarodnom skupu o gospodarenju otpadom u Zagrebu. Tadašnje stanje nije bilo zadovoljavajuće, a u međuvremenu nije mnogo ni napredovalo.



Pogled iz zraka na odlagalište Jakuševac

Na primjeru zagrebačkog odlagališta Prudinec može se ukratko opisati što znači osmišljeno otplinjavanje i kakve koristi može donijeti. Tu se sustav otplinjavanja odlagališta otpada sastoji od otplinjavanja iz tijela odlagališta, 68 plinskih zdenaca i mreže plinovoda s loncima za kondenziranje. Plinsko se postrojenje sastoji od dvije visoke baklje s pu-

ganskim raspadanjem pa ga odvode u stanicu za prikupljanje. Prikupljeni se bioplin potom podzemnim plinovodom vodi do postrojenja za obradu. Od kraja 2004. do kraja 2009. na plinskom postrojenju proizvedeno je 28,14 milijuna kWh električne energije, a iz odlagališta je iskorišteno gotovo 23 milijuna m³ otpadnog plina.



Odlagalište otpada Smiljevići pokraj Sarajeva (1 – najstariji dio, 2 – privremena ploha za odlaganje, 3 – novi sanirani dio)

halima kapaciteta 1500 m³/h, dva plinska motora s generatorima kapaciteta 525 m³/h, a ukupna je električna snaga svakog generatora 1 MW (megavat). U dovezeni otpad koji se odlaže na predviđenim plohama utiskuju se kao sonde perforirane cijevi koje prihvaćaju plin nastao or-

Prikupljanje metana s odlagališta i njegovo iskorištavanje kao energenta smanjuju količine tog plina ispuštenog u atmosferu. Odlagališta su najveći antropogeni izvori metana, gotovo 40 posto njegove ukupne emisije. Stoga je prikupljanje odlagališnih plinova jedan od najraširenijih

načina iskorištavanja otpada u energetske svrhe, a posljednjih se godina broj postrojenja u svijetu znatno povećao. Primjerice, u SAD-u je 1992. bilo 110 postrojenja za iskorištavanje odlagališnih plinova, a 2005. godine 140, dok je u Kanadi od 9 u 1992. broj postrojenja porastao na 17 u 2005. godini.

Investicije uglavnom ovise o količini proizvedene energije i udaljenosti na koju se može isporučiti. Za odlagalište prosječne dubine 10 m, za prikupljanje plina valja uložiti 20.000 do 40.000 dolara po hektaru, a u sustav za evakuaciju 100 do 450 dolara po prostornom metru plina na sat.

Hrvatska pokušava rješavati probleme gospodarenja komunalnim otpadom, a zbog međunarodnih obveza za zaštitu atmosfere pokušava iskorištavati ili spaljivati odlagališne plinove. Stoga je svako iskustvo iz nama susjednih zemalja vrlo zanimljivo i poticajno. Na 11. međunarodnom simpoziju o gospodarenju otpadom, održanom krajem prošle godine u Zagrebu, pozornost je sudionika izazvao stručni rad o iskorištavanju plinova na sarajevskom odlagalištu koji su predstavili mr. sc. Abid Mulaomerović, prof. dr. sc. Tarik Kupusović i mr. sc. Sanda Midžić Kurtagić.

Sadržaj metana u plinskoj mješavini na starom saniranom odlagalištu nije bio dovoljan za iskorištavanje iako je 6 godina nakon prestanka odlaganja protok plina bio znatan. Međutim izmjereni protok plina na sarajevskom odlagalištu upućuje na opravdanost gradnje manje elektrane. Količina je plina na sanitarnoj plohi dovoljna za iskorištavanje i po količini i po postotnim udjelu metana u plinskoj mješavini. Odlaganje znatnih količina organskog otpada, posebno životinjskog podrijetla, utječe na povećanu proizvodnju plina s većom koncentracijom metana koja je približno ista nakon prestanka odla-

ganja i primjene reciklaže. Reciklaža je utjecala na protok plina, ali ne odviše u odnosu na sanitarnu plohu. Prosječna je vrijednost za razdoblje u kojemu se mjerilo na sanitarnoj plohi bila $127 \text{ m}^3/\text{h}$, a nakon reciklaže na privremenoj plohi $107 \text{ m}^3/\text{h}$.

Od 1996. sarajevsko se odlagalište sanira i pokušava pretvoriti u sanitarno. Do 2009. ostvareni su svi planirani radovi koji su se obavljali u fazama prema prednostima. Radovi su uključivali stabilizaciju odlagališta, odvodnju otpadnih voda, otplinjavanje, gradnju infrastrukturnih građevina, zatvaranje gornje plohe i primjenu tehnologije sanitarnog odlaganja, motrenje i obradu procjednih voda. Na kraju je došlo do iskorištavanja odlagališnog plina što svrstava to odlagalište među najsuvremenije u jugoistočnoj Europi. Usporedno sa sanacijom unaprijeđen je i sustav prikupljanja otpada, pa se postupno uvode i reciklaže u pojedine dijelove grada odnosno odvajanja papira i kartona na mjestu nastanka. Ističemo da smo svojedobno pisali o sanaciji sarajevskog odlagališta za koji su dio dokumentacije pripremili i stručnjaci iz Hrvatske (Građevinar, 2./2007.).

Prijašnja su istraživanja pokazala da sastav i količina odlagališnog plina ovise o sastavu i starosti otpada te tehnologiji odlaganja. Stoga su sve promjene na sarajevskom odlagalištu utjecale i na povećanu proizvodnju metana. Regionalno odlagalište u Smiljevićima nalazi se u prirodnoj depresiji i u funkciji je od 1962., iz razdoblja kada nije bilo odgovarajućih propisa pa stoga ni tehnički ni tehnološki nije odgovaralo svojoj namjeni. Odlagalište nije imalo odgovarajuće pripremljenu podlogu, nije postojao sustav odvodnje površinskih i procjednih voda, a nije bilo riješeno ni otplinjavanje. To je proizvelo mnogo problema, poput destabilizacije tijela odlagališta, nekontroliranog otjecanja procjednih voda

u potok Lepenicu, neprekidno tinjanje i izgaranje smeća i sl.

Da bi se odredili potencijal sarajevskog odlagališta za proizvodnju odla-



Dio odlagališta Smiljevići pokraj Sarajeva

Sve je kulminiralo 1996. eksplozijom odloženog otpada pri čemu je odronjeno gotovo 500.000 m^3 odloženog otpada u dužini od 700 m po padini prirodne depresije. Nakon toga je kanton Sarajevo pristupio hitnoj sanaciji odlagališta koja se provodi do danas. Radi stabilizacije odlagališta, sprječavanja tinjanja i eventualnih eksplozija, na starom je dijelu odlagališta izveden sustav međusobno povezanih bušotina (promjera 800 mm i na rastojanju 30 - 45 m). Nakon stabilizacije započelo je zatvaranje najstarijega dijela odlagališta. Istodobno je u podnožju uređena nova ploha za sanitarno odlaganje. Nova je ploha izgrađena primjenom multibarijernog sustava izolacije i vertikalnim sustavom otplinjavanja (cijevi promjera 110 mm).

Na novoj je plohi odlaganje započelo 1998., a tijekom 1999. ugrađen je horizontalni cjevovod i postavljena baklja za spaljivanje plina (kapaciteta $60 - 300 \text{ m}^3/\text{h}$). Za godinu je dana odloženo gotovo 300.000 tona komunalnog otpada.

gališnog plina i isplativost ulaganja u sustav iskorištavanja, trebalo je procijeniti količine plina. Procjena je obavljena na temelju sastava i starosti čvrstog otpada koji se u prošlosti odlagao na to odlagalište. Za procjenu količine uporabljen je tzv. multifazni model koji razlikuje tri frakcije čvrstog otpada – sporo, srednje i brzo razgradljive materije. Pritom je posebno opisana proizvodnja plina za svaku frakciju. Prednost je tog modela što se razmatra tipičan sastav otpada jer sve vrste otpada sadrže takve tipične frakcije. Uočeno je da se veće količine plina formiraju u prvim godinama nakon odlaganja, a potom opadaju.

Procijenjeno je da se iskoristiva količina odlagališnog plina od 2000. do 2030. kreće od najviše 1000 do $1800 \text{ m}^3/\text{h}$ i najmanje $750-1500 \text{ m}^3/\text{h}$, a u razdoblju 2030.-2050. pada ispod $300 \text{ m}^3/\text{h}$. To upućuje na mogućnost učinkovitog iskorištavanja odlagališnog plina za proizvodnju električne energije. Odlagališni plin s prosječnim sadržajem metana od 50 pos-

to ima donju toplotnu vrijednost od 5 kWh/m³, što ga čini dobrim gorivom za pogon specijalnih plinskih motora za tu namjenu. Kako plinsko postrojenje može proizvesti od 75 do 1500 kW električne energije, uz koncentraciju metana 50-55 posto, za isplativost je potrebno 50-750 m³/h odlagališnog plina.

Postrojenje je za proizvodnju električne energije pušteno u pogon 2001. Kapacitet mu je 300 kW električne i 432 kW toplotne energije uz potrošnju od 200 m³/h odlagališnog plina. Dosad je postrojenje proizvelo 3,6 milijuna kWh električne energije i ta je minielektrana preko transformatorske stanice uključena u energetski sustav Bosne i Hercegovine i distribuirana se u javnoj mreži.

Radi učinkovitog rada minielektrane odnosno kontinuiranoga dotoka plina odgovarajućega sastava i potrebne količine, u razdoblju 2003.-2009. organizirano je motrenje na tri eksperimentalne odlagališne plohe. Odbir je površina bio uvjetovan ispitivanjem utjecaja sastava otpada i tehnologije odlaganja na produkciju metana. Odabrani su sanirani dio odlagališta na gornjem dijelu (gdje je prestalo odlaganje i gdje je bila eksplozija), tehnički pripremljena ploha na donjem dijelu (s tehnologijom sanitarnog odlaganja) i eksperimentalna ploha zbog razlike u sastavu otpada (razdoblje prije i poslije uvođenja reciklaže) jer se pretpostavljalo da i to utječe na sastav i količinu plina. Na starom je dijelu odlagališta, gdje se gotovo 40 godina otpad samo istresao, postavljeno 30 polietilenskih sonda za prikupljanje plina, a ukupna se količina mjerila i na glavnom izlaznom cjevovodu tog dijela odlagališta. Mjerenja su se obavljala jednom na mjesec, a prema potrebi i češće.

Sadržaj je metana na sondama varirao od nule do 65 posto, a na nekima je bio neznatan. Takav je rezultat objašnjen činjenicom da su te sonde

izvedene na području gdje se nekoliko godina prije zatvaranja odlagao samo inertni otpad ili na prostoru gdje je nakon eksplozije došlo do izgaranja organskog otpada. Sonde na kojima je metan registriran otplinjavale su područje na kojem se odlagao otpad u razdoblju do 1997. U 6 je godina prosječni sadržaj metana u plinskoj mješavini smanjen za 50 posto. Protok se plina u istom razdoblju dvostruko smanjio, a protok metana za četiri puta.



Sonde za otplinjavanje na odlagalištu Smiljevići

Na novoj je plohi s tehnologijom sanitarnog odlaganja izvedeno sedam sonda. Taj je dio odlagališta uključen ponajprije stoga što je bez prekida bio u sustavu za otplinjavanje. Prosječni je sadržaj metana blago varirao između 51 i 56 posto, a promjena je sadržaja metana pratila razlike u protoku plina. Protok plina u prve je četiri godine porastao 1,5 puta, a protok metana 1,6 puta. Potom je zabilježen pad količine plina i metana iako su i nakon šest godina veće od početnih vrijednosti.

Sanitarna je ploha služila kao privremena ploha za odlaganje tijekom sanacije i na njoj se odlagao otpad u 1999. i 2000. godini dok je trajala priprema sanitarne plohe u dnu odlagališta, a prethodno nije bio izgrađen multibarijerni sustav. Otpad se

odlagao primjenom sanitarne tehnologije odlaganja, dakle razastirao, zbijao i svakim danom prekrivao inertnim materijalom. No prije toga, dok se nije primjenjivalo odvajanje otpada na mjestu nastanka niti se posebno odlagao otpad organskog podrijetla, na toj se plohi povremeno odlagao i otpad životinjskog podrijetla. No nakon uvođenja reciklaže i gradnje posebnoga pogona za gospodarenje otpadom životinjskog podrijetla 1999. godine, sastav se

otpada promijenio, a to je utjecalo na sastav i količinu plina.

Otplinjavanje se te plohe obavljalo s 11 sonda na kojima se i mjerilo, a promjena je sastava otpada znatno utjecala na protok plina. Protok se u prve dvije godine postupno smanjivao, dok je u razdoblju 2000.-2003. smanjen za 2,8 puta što se i očekivalo s obzirom na prestanak odlaganja životinjskog otpada. U razdoblju 2003.-2004. protok je ukupnog plina bio približno 100 m³/h, ali je protok metana bio stalan u cijelom razdoblju promatranja.

Sve u gospodarenju otpadom ima svoju cijenu. Toplinska obrada otpada uz istodobno iskorištavanje dobivene energije, sudjeluje s više od 70 posto u ukupnom obrađenom

krutom komunalnom otpadu svijeta. U tome s više od 90 posto prednjače najrazvijenije zemlje. Količina toplinski obrađenog otpada u državama Europske unije stalno raste. Krajem 2002. u EU je približno 360 energana na otpad većih od 10.000 tona koje su toplinski obrađivale blizu 50 Mt komunalnog otpada na godinu (približno 20 posto ukupne količine komunalnog otpada). Pritom je proizvedeno gotovo 25 TWh/god električne energije i odgovarajuća količina toplinske energije, a time je smanjena potrošnja fosilnih goriva

(mazuta i prirodnog plina) za približno 10 Mten (tona ekvivalent nafte) na godinu, što je pridonijelo smanjivanju emisije stakleničkih plinova pri njihovu izgaranju.

Dva su osnovna tipa energana na otpad s obzirom na sustav izgaranja komunalnoga i sličnog otpada. Najviše ih je izvedeno s postrojenjem za izgaranje na roštilju, a u posljednje se vrijeme pojavljuju i energane s izgaranjem u lebdećem sloju ("fluid - bed"), osobito za zajedničko izgaranje otpada s ugljenom. Za razliku

od toga s uobičajenim se sustavima prikupljanja odlagališnog plina na odlagalištima komunalnog otpada aktivnim otplinjavanjem može skupiti 50-60 posto proizvedenoga odlagališnog plina, što prema količini odloženog otpada na većim odlagalištima u Hrvatskoj iznosi gotovo 80 Mm³ plina na godinu. Iz te količine odlagališnog plina moglo bi se na godinu proizvesti do 180 GWh električne energije i 270 GWh toplinske energije.

Jadranka Samokovlija Dragičević