

SASTAV ODLAGALIŠNOG PLINA NA ODLAGALIŠTU OTPADA PRUDINEC/JAKUŠEVAC

COMPOSITION OF LANDFILL GAS ON PRUDINEC/JAKUŠEVAC LANDFILL

Dinko Vujević¹, Maja Čalopek², Marija Novosel³, Aleksandra Anić Vučinić¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za inženjerstvo okoliša, Hallerova aleja 7, HR-42000 Varaždin, HRVATSKA dvujevic@gfv.hr

² Preventa, Ured Čakovec, Bana Josipa Jelačića 5, HR-40000 Čakovec, HRVATSKA

³ Zagrebački holding d.o.o., Podružnica ZGOS, Zeleni trg 3, HR-10000 Zagreb, HRVATSKA

Sažetak: Nagli razvoj urbanizacije i industrijalizacije utjecao je na povećanje problema sakupljanja i odlaganja čvrstog otpada. Neadekvatno rješavanje tog problema može negativno utjecati na zdravlje ljudi i kvalitetu čovjekova okoliša. Na velikim odlagalištima komunalnog otpada stvaraju se znatne količine odlagališnog plina što može imati potencijalno velik utjecaj na kakvoću zraka posebno ako se otpad odlaže na neadekvatan način. U okviru ovog rada provedena je analiza sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac u Zagrebu, za razdoblje od 2008. do 2011. godine. S obzirom na sanaciju smetlišta Prudinec/Jakuševac i njegovu transformaciju u uređeno odlagalište otpada I. kategorije, a sve u skladu s hrvatskim propisima i normama Europske unije, napravljen je veliki korak u zaštiti okoliša te otvorena mogućnost energetske iskoristivosti nastalog odlagališnog plina.

Cljučne riječi: komunalni čvrsti otpad, odlagališni plin, kakvoća zraka, odlagalište Prudinec/Jakuševac, zaštita okoliša.

Abstract: The rapid urban and industrial development has influenced the accumulation of problems in the sector of solid waste collecting and disposal. Non-efficient solving of this problem could negatively impact human health and quality of the environment. On the big municipal waste landfills the large amounts of landfill gas has been produced and can have potentially significant impact on air quality especially if the waste is disposed on non-adequate way. Within this work, the analysis of the landfill gas composition on the Prudinec/Jakuševac landfill in Zagreb, in the period from 2008. up to 2011. has been performed. Due to sanitation improvement of Prudinec/Jakuševac landfill and its transformation in arranged waste landfill of the I. category in accordance with Croatian law and European Union standards, a large step in environmental protection was made and the possibility of the use of formed landfill gas as a source of energy has founded.

Keywords: municipal solid waste, landfill gas, air quality, Prudinec/Jakuševac landfill, environmental protection.

Received: 30.01.2014 / Accepted: 13.05.2014

Stručni rad

1. UVOD

U području zaštite okoliša, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj, nastanak otpada i postojeća odlagališta otpada jedan su od temeljnih problema s kojima se suočava moderno društvo. Naime, odlaganje otpada je još uvijek najčešći postupak zbrinjavanja otpada, u svijetu i Republici Hrvatskoj. Proizlazi da je odlaganje alternativa svim drugim postupcima zbrinjavanja otpada. Otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti i u svim gospodarskim djelatnostima, a predstavlja gubitak energije i materijala. Emisija kemijskih spojeva i tvari koji nastaju razlaganjem otpada u zrak, vodu i tlo može negativno utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Stalni porast količina otpada rezultat je gospodarskog rasta i rastuće potrošnje materijala. Tehnike zbrinjavanja ostataka drastično zaostaju za tehnikama proizvodnje materijalnih dobara. U svijetu nema države koja je u potpunosti riješila probleme zbrinjavanja vlastitog otpada. Otpad koji se odlaže često je vrlo aktivan pa tako procesom raspadanja organskog dijela otpada nastaje odlagališni plin. Stoga je sustav otplinjavanja važan element kojeg mora imati svako uređeno odlagalište.

Na velikim odlagalištima komunalnog i sličnog proizvodnog otpada stvaraju se velike količine odlagališnog plina. Zbog sigurnosti, odlagališni plin mora se redovito skupljati, a s druge strane zbog ekonomičnosti i smanjenja negativnih utjecaja na okoliš ocjenjuje se racionalnim i opravdanim iskorištavati odlagališni plin.

U okviru ovog rada prikazani su rezultati analize sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac u Zagrebu, za razdoblje od 2008. do 2011. godine. Obradom plinova koji nastaju na odlagalištu otpada te praćenjem njegovog sastava napravljen je veliki korak u zaštiti okoliša te otvorena mogućnost energetske iskoristivosti nastalog odlagališnog plina.

2. ODLAGALIŠTA OTPADA

Odlagalište otpada (deponija, smetlište) je građevina namijenjena za trajno odlaganje otpada, kao organizirane komunalne djelatnosti. U sklopu odlagališta otpada mogu

se nalaziti i građevine za skladištenje te obradu otpada. Odlagališta su grupirana prema kategorijama, odnosno pravnom statusu, veličini, vrstama odloženog otpada, stanju aktivnosti, utjecaju na okoliš i opremljenosti. Aktivna odlagališta mogu se razvrstati u pet kategorija na temelju pravnog statusa (tj. posjedovanje lokacijske, građevinske i uporabne dozvole). Odlagališta se tako dijele na: legalna uređena odlagališta, službena odlagališta otpada, odobrena odlagališta, dogovorna odlagališta i "divlja" odlagališta otpada. Tipičan izgled jednog uređenog odlagališta otpada prikazan je na slici 1., dok je na slici 2. prikazano "divlje" odlagalište otpada.



Slika 1. Uređeno odlagalište otpada,
http://hr.wikipedia.org/wiki/Odlagali%C5%A1te_otpad,
29.01.2014.



Slika 2. „Divlje“ odlagalište otpada,
http://hr.wikipedia.org/wiki/Odlagali%C5%A1te_otpad,
29.01.2014.

Odvoženje otpada na velika odlagališta još je uvijek najviše korišten način za postupanje s otpadom u Europi i svijetu. Međutim, mnoga od tih odlagališta otpada nisu opremljena prikladnim sustavima za sprječavanje emisija štetnih tvari u okoliš.

Odlagališta otpada su mjesta na kojima se otpad s vremenom potpuno neutralizira, razgradi i mineralizira te se pritom odvijaju više ili manje intenzivni kemijski, fizikalni i biološki procesi razgradnje. Pritom se oslobađa vodena para, različiti plinovi i toplina. Brzina i intenzitet

tih procesa ovisi o sastavu otpada, sadržaju vlage, udjelu i vrsti organskih tvari, meteorološkim uvjetima, načinu odlaganja otpada, gradnji odlagališta itd.

Danas se velika prednost daje modelu sanitarnog deponija uz sve veću primjenu reciklaže, tj. odvajanja korisnog otpada i to na mjestima njegovog nastanka, a koji se tada koristi kao sekundarna sirovina. Pravilno projektirana i izgrađena odlagališta otpada predstavljaju objekte koji daju najveću sigurnost glede negativnog utjecaja na okoliš, ali uz uvjet da su provedene sve mjere vezane uz planiranje, realizaciju, eksploataciju i uređenje. Osnovni problemi odlagališta otpada su procjedne vode i stvaranje odlagališnog plina.

U cilju smanjivanja opasnosti odlaganja otpada, prije tridesetak godina započeo je razvoj i primjena niza sofisticiranih tehnika odlaganja otpada. Danas suvremena uređena/sanitarna odlagališta otpada koriste čitav niz elektronske i druge opreme. Pokazalo se da se novim tehničkim rješenjima smanjuje, ali nikako ne i posve otklanja rizik od odlaganja neobrađenog komunalnog i sličnog proizvodnog otpada.

Sve veći tehnički zahtjevi za izvedbu odlagališta, da bi ono bilo što sigurnije za okoliš, stalno povećavaju troškove odlaganja otpada, a sve veće količine i sve niža nasipna gustoća otpada zahtijevaju sve veće površine zemljišta za odlaganje neobrađenog otpada.

Izgradnjom novih uređenih odlagališta te sanacijom postojećih odlagališta smanjuje se rizik od pojave požara i eksplozija na odlagalištima, stvara se mogućnost za ostvarivanje nove vrijednosti (eksploatacija odlagališnog plina) te smanjuje negativni utjecaj na okoliš. Stoga uređeno odlagalište otpada pretpostavlja i nadzirano prikupljanje te obradu odlagališnog plina, jer se na taj način omogućava zaštita ozonskog sloja, izbjegavanje efekta staklenika te proizvodnja električne i toplinske energije iz prikupljenog odlagališnog plina.

2.1. Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac

Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac služi kao odlagalište komunalnog, neopasnog i industrijskog otpada grada Zagreba i njegove okolice. Udaljeno je 5 km zračne linije od središta Zagreba, a nalazi se na desnoj obali rijeke Save, na udaljenosti 400 m od prvih stambenih objekata naselja Jakuševac, po kojem je dobilo ime. Smjer pružanja odlagališta je sjeverozapad-jugoistok, duž nasipa rijeke Save od kojega je odvojeno lokalnom cestom. Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac prostire se na oko 90 ha, a dnevno se odlaže oko 1000 t otpada (slika 3.) (Barčić 2010).

Na području današnjeg odlagališta otpada nekontrolirano odlaganje otpada započelo je 1965. godine, a 1995. godine prostor odlagališta zauzima 80 ha. Tako je u tom razdoblju na neprimjeren način odloženo 4,5 milijuna m³ otpada, a do 2000. godine volumen odloženog otpada iznosio je 8 milijuna m³. Zbog zanemarivanja problema odlagališta, postalo je najveće neuređeno odlagalište otpada u jugoistočnom dijelu Europe (Barčić 2010).



Slika 3. Odlagalište otpada Prudinec/Jakuševac, <http://www.zgos.hr/>, 29.01.2014.

Godine 1995. pristupilo se sanaciji odlagališta. Glavni dio sanacije neuređene deponije otpada u uređeno sanitarno odlagalište odvijao se u razdoblju od 1996. do 2003. godine (slika 4. i 5.) Potpuni završetak svih planiranih radova sanacije trebao je biti dovršen do kraja 2011. godine. U tom razdoblju je vrlo skupim zahvatom pod nagomilani otpad ugrađena nepropusna podloga, čime je površina smanjena s 80 na 57 ha, a brdo je naraslo do visine od 45 metara. Za održavanje odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac zadužen je Zagrebački holding – podružnica ZGOS d.o.o.



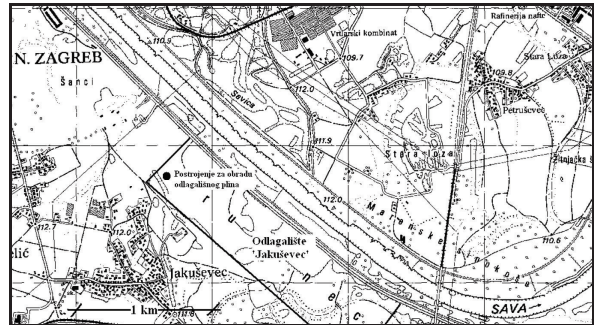
Slika 4. Odlagalište prije završetka sanacije, 2000. godina (Barčić 2010)



Slika 5. Radovi na sanaciji odlagališta (Barčić 2010)

Područje odlagališta danas je organizirano na sljedeći način: ulaz na odlagalište, plato za međuodlaganje (privremeno skladištenje), reciklaža građevnog otpada, gospodarenje plinom, tijelo odlagališta s platom za dnevno odlaganje, pročišćavanje procjednih voda, biokompostana, automatski uređaj za pranje kotača te monitoring.

Postrojenje za obradu odlagališnih plinova smješteno je na sjeveroistočnom dijelu odlagališta otpada Jakuševac (slika 6.), uz postrojenje za obradu građevinskog otpada. Udaljeno je oko 300 metara jugoistočno od ulaza na odlagalište.



Slika 6. Lokacija postrojenja za obradu odlagališnog plina

2.2. Odlagališni plin

Odlagališni plin nastaje na svakom odlagalištu neobrađenog komunalnog otpada. U odlagališta komunalnog otpada ulazi nepoznat i promjenjiv kemijski sastav različitih tvari. Zbog toga u tijelu odlagališta dolazi do nedovoljno poznatih biokemijskih procesa i razgradnje organske mase. Kako su ti procesi vrlo složeni, oni ovise o nizu čimbenika kao što su: vrsta i količina odloženog materijala, količina zraka/kisika u tijelu odlagališta, količina vode u tijelu odlagališta, atmosferski uvjeti (temperatura i tlak zraka, sadržaj vlage u zraku, smjer i brzina vjetra), način i vođenje otplinjavanja, tehnika odlaganja otpada, vrijeme odlaganja i sl.

Na svakom odlagalištu neobrađenog komunalnog otpada koje se može opisati kao složeni bioreaktor, uz emisije odlagališnog plina generira se i određena količina visoko opterećenih procjednih voda. Sve biološke aktivnosti ovise o sadržaju biološki razgradivih organskih tvari u odloženom otpadu. Isušivanjem tijela odlagališta dolazi do procesa mumifikacije, tj. zastoja bioloških procesa (npr. kod izgradnje gornjeg brtvenog sloja). Tek kada voda ponovno uđe u tijelo odlagališta ponovno se pokrenu bioreakcije i emisije odlagališnog plina, kao i procjednih voda.

Odlagališni plin nastaje kroz tri procesa, ukratko opisanih u nastavku.

I. Bakterijska dekompozicija:

Većina odlagališnog plina proizvodi se bakterijskom dekompozicijom, koja se javlja kada se organski otpad razgradi bakterijama koje su prirodno prisutne na odlagalištu i tlu koje se koristi za zatrpavanje otpada. Organski otpad uključuje hranu, vrtni otpad, ostatke od čišćenja ulica, tekstil te drvo i papirni otpad. Bakterije

razgrađuju organski otpad u četiri faze, a sastav plinova mijenja se kroz svaku fazu

II. Hlapljenje:

Odlagališni plinovi mogu nastati kada se određeni otpad, prvenstveno organskog sastava, mijenja iz tekućeg ili čvrstog stanja u paru. Ovaj proces poznat je kao hlapljenje. Postojanje NMOC (engl. Non-Methan Organic Compounds ili ne-metanski organski spojevi) na odlagalištu može rezultirati hlapljenjem određenih kemikalija koje nastaju na odlagalištu.

III. Kemijske reakcije:

Otpadni plinovi, uključujući i NMOC, mogu se proizvesti reakcijama određenih kemikalija koje su prisutne na odlagalištu.

Najvažniji biološki procesi u tijelu odlagališta komunalnog otpada odvijaju se u četiri glavne faze, ukratko opisane u nastavku.

Prva faza: uključuje aerobno biološko stvaranje viših molekula ostatnih tvari. Ako u tijelo odlagališta prodire ili ulazi zrak, ta faza se može produljiti. Kako je zrak zarobljen u odloženom otpadu, nakon odlaganja sadržaj kisika i dušika u plinu je visok. No, već nakon 2-3 tjedna prekrivanja sadržaj kisika smanjuje se s 20 % na 0 %. Sadržaj dušika se također smanjuje i to kroz prvih 8 tjedana s 80 % na 40 %, a kroz dvije godine i do 0 %.

Druga faza ili kiselo truljenje: započinje kada u tijelu odlagališta nestaje kisika te time ugibaju aerobni mikroorganizmi i počinju se razvijati anaerobni mikroorganizmi. Dolazi do nestabilne anaerobne biološke faze u kojoj nastaju kiseline. Najčešće su to nisko masne kiseline. Vrijednost pH pada na 5,5. U ovoj fazi još nema stvaranja metana, ali valja spomenuti kako sadržaj CO₂ može porasti do 80 %. Kemijska reakcija razgradnje organske tvari u anaerobnim uvjetima može se prikazati:



Treća faza ili stabilna metanogena faza: ponekad započinje već 4-6 mjeseci nakon odlaganja. Povećava se proizvodnja metana, jer su metanogeni mikroorganizmi vrlo aktivni. Proizvedeni bioplin sadrži 50-70 % metana, odnosno 30-50 % CO₂. Vrijednost pH se povećava na 7 do 8,5. Nakon šest godina dolazi do smanjenja proizvodnje metana za 50 %, a nakon toga smanjenje je sve brže.

Četvrta ili završna metanogena odumiruća faza: koja je okarakterizirana smanjenjem proizvodnje plina, a time i smanjenjem pretlaka u tijelu odlagališta. U toj fazi ugibaju anaerobni mikroorganizmi i ubrzano se smanjuje proizvodnja odlagališnog plina (Milanović & Novosel 2011).

Prethodno teoretski opisani biološki procesi izravno su povezani s proizvodnjom odlagališnog plina. No, često se događa da u praksi dolazi do većih odstupanja. Valja napomenuti da su za sve biološke procese ključni faktori upravo voda i zrak.

Načelno kroz nekih 15-25 godina iz 1 tone odloženog komunalnog otpada nastaje 100-200 m³ odlagališnog plina. Tipičan sastav odlagališnog plina prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Tipičan sastav odlagališnog plina [13]

TVAR	VOLUMNI UDIO, %
Metan	45 – 60
Ugljični dioksid	40 – 60
Dušik	2 – 5
Kisik	0,1 – 1
Amonijak	0,1 – 1
NMOC	0,01 – 0,6
Sulfidi	0 – 1
Vodik	0 – 0,2
Ugljični monoksid	0 – 0,2

Kao što je iz tablice 1. vidljivo, odlagališni plinovi sastoje se od mješavine različitih plinova. Prema volumnom udjelu, plinovi idealno sadrže 40 % do 60 % metana i 40 % do 60 % ugljičnog dioksida. Odlagališni plinovi također sadrže male količine dušika, kisika, amonijaka, sulfida, vodika, ugljičnog monoksida i nemetanskih organskih spojeva (NMOC) kao što su trikloreten, benzen i vinil klorid.

Glavne komponente odlagališnog plina metan (CH₄) i ugljikov dioksid (CO₂), plinovi su bez boje i mirisa. Gledajući s aspekta utjecaja na atmosferu oba spadaju u skupinu stakleničkih plinova te pridonose globalnim klimatskim promjenama tj. globalnom zatopljenju.

NMOC čine organski spojevi (oni koji sadrže ugljik), isključujući metan, a mogu se pojaviti u prirodi ili proizvesti sintetskim kemijskim procesima. NMOC koji se najčešće nalaze na odlagalištima uključuju: akrilonitril, 1,2,-dikloreten, 1,2,-cis dikloretilen, diklormetan, ugljični sulfid, etil-benzen, heksan, metil-etil-keton, tetrakloretilen, toluen, trikloretilen, vinil-klorid i ksilene.

Sulfidi (npr. sumporovodik, dimetil sulfid, merkaptani) plinovi su koji se prirodno pojavljuju i odlagalištu daju neugodan miris pokvarenih jaja. Time utječu na kakvoću zraka u užem području odlagališta otpada. Uz to, sulfidi mogu uzrokovati neugodne mirise čak i ako su prisutni u vrlo malenim koncentracijama.

Kako u odlagališnom plinu ima najviše metana, on se može i energetski iskoristiti, ali taj povišeni sadržaj metana predstavlja i potencijalnu opasnost od eksplozija na odlagalištima. Zbog toga na uređenom (sanitarnom) odlagalištu odlagališni plin treba sakupljati te odvoditi do plinskog postrojenja za isisavanje i obradu. Zato se plinsko postrojenje često sastoji i od opreme za iskorištavanje odlagališnog plina.

Gospodarenje otpadom te aktivnosti na odlagalištima otpada regulirana su Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13), Pravilnikom o gospodarenju otpadom (NN 23/14) i Pravilnikom o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13). U okviru kontrole, a sukladno članku 19. Pravilnika o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07), osoba

koja upravlja odlagalištima opasnog i neopasnog otpada mora osigurati mjerenja emisija odlagališnog plina.

Mjerenja koncentracije odlagališnih plinova u zrak obuhvaćaju mjesečna mjerenja koncentracije CH₄, CO₂ i O₂ u odlagališnom plinu za vrijeme rada odlagališta, a nakon zatvaranja svakih 6 mjeseci. Mjerenje ostalih odlagališnih plinova (H₂S i H₂) provodi se ovisno o sastavu odloženog otpada ili ako je to propisano u dozvoli za obavljanje djelatnosti odlaganja otpada. Ta se mjerenja moraju provesti na reprezentativnom broju uzoraka, a učinkovitost sustava za skupljanje odlagališnog plina mora se redovito provjeravati. Ukoliko se rezultati mjerenja sastava i koncentracije odlagališnog plina ponavljaju, vrijeme između dvaju uzastopnih mjerenja može se produžiti, ali ne smije biti duže od šest mjeseci.

2.3. Sustav otplinjavanja

Zbog izbjegavanja štetnih emisija i energetskog iskorištavanja plina, uređeno odlagalište otpada pretpostavlja i nadzirano prikupljanje te obradu odlagališnog plina. Na taj se način omogućava zaštita ozonskog sloja, izbjegavanje efekta staklenika te proizvodnja električne i toplinske energije iz prikupljenog odlagališnog plina.

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. Tehnologija plinskih stanica godinama se razvijala, a obrada je odlagališnih plinova izgaranjem postala općeprihvaćena. Razvitku tehnologije prilagođavali su se zakonodavstvo i prateći propisi te je tako usvojen niz normi i smjernica (Samokovlija Dragičević 2011).

Dana 26. travnja 1999. godine donesena je 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 1997. godine donijela Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07) u kojem je u općim uvjetima, pod točkom 4. propisano da ukoliko na odlagalištu nastaje odlagališni plin, potrebno je osigurati sustav za njegovo sakupljanje, obradu i korištenje. Ukoliko se sakupljeni odlagališni plinovi ne mogu upotrijebiti za dobivanje energije, treba ih spaliti na području odlagališta ili spriječiti njihovu emisiju u zrak.

Prema pronađenim podacima od ukupno 149 nadziranih odlagališta samo pet ima izveden sustav za prikupljanje i obradu odlagališnih plinova. Što bi značilo da je od ukupno 1,2 milijuna tona komunalnog otpada koji se na godinu proizvede u Hrvatskoj, otplinjavanjem obuhvaćeno približno 330.000 t/godišnje (od toga čak 90% na odlagalištu Jakuševac u Zagrebu). Od preostalih 870.000 t/godišnje otpada, 35% obuhvaća biorazgradive tvari koje aktivno sudjeluju u proizvodnji odlagališnih plinova. Takvi odlagališni plinovi će se prije ili poslije osloboditi iz tijela odlagališta i imati negativan utjecaj na

bliži i dalju okolicu odlagališta (Samokovlija Dragičević 2011).

Prema Europskoj direktivi o odlaganju otpada (1999/31/EC, 1882/2003, 1137/2008) smatra se da je potrebno otplinjavati svako odlagalište komunalnog otpada s više od 10.000 m³ otpada na godinu. Od jedne tone otpada može za 15-20 godina postojanja odlagališta nastati 150-300 m³ plina. U prosjeku se računa s 10-25 m³ plina po toni otpada na godinu (Samokovlija Dragičević 2010).

Za otplinjavanje se koriste dva sustava, a to su pasivni i aktivni. Pasivni sustavi su pogodni za mala odlagališta (do 40.000 m³) i tamo gdje se ne očekuje znatno širenje plinova. Kod pasivnih sustava u tijelu odlagališta izvode se drenirani plinski zdenci pomoću kojih plin lakše odlazi u atmosferu. Tako se smanjuje pretlak u tijelu odlagališta, a odlagališni plin migrira u okoliš na mjestima plinskih zdenaca.

Aktivni su sustavi za veće količine i opasne vrste plinova koje treba spaliti. Kod aktivnih sustava uz plinske zdence izvode se plinovodi koji su spojeni s plinskim postrojenjem. U plinskom postrojenju puhalo iz plinovoda plinskih zdenaca odsisava plin te se on obrađuje na visokotemperaturnoj plinskoj baklji ili iskorištava za proizvodnju električne energije, ali su za to potrebni još i dodatni uređaji i instalacije. Ni aktivnim sustavom otplinjavanja nije moguće u potpunosti spriječiti neke neočekivane migracije plina u okoliš (Samokovlija Dragičević 2010).

Kada se ne provodi otplinjavanje (prirodni uvjeti), u tijelu odlagališta stvara se pretlak (3 mbar i više). Tada odlagališni plin postupno migrira u okoliš. Takve nekontrolirane migracije smanjuju se sustavom pasivnog otplinjavanja.

Sustav otplinjavanja odlagališta otpada Prudinec sastoji se od sustava za otplinjavanje iz tijela odlagališta (68 plinskih zdenaca + mreža plinovoda s kondenznim loncima) plinskog postrojenja, dvije visokotemperaturne baklje s puhalima kapaciteta 1.500 m³/h, dva plinska motora s generatorima kapaciteta 525 m³/h/motoru i ukupne električne snage svakog generatora 1 MW. Plinsko postrojenje na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac prikazano je na slici 7.



Slika 7. Sustav otplinjavanja i plinsko postrojenje (MTEO JAKUŠEVAC), <http://www.zgos.hr/>, 29.01.2014.

3. METODOLOGIJA

Analiza sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova provedena je od strane poduzeća ECOINA d.o.o. u okviru projekta „Monitoring sanitarnog odlagališta Jakuševac“. Svi poslovi vezani uz mjerenja sastava odlagališnog plina su izvedeni temeljem pismenog zahtjeva, a na teret podnositelja zahtjeva/naručitelja: „ZAGREBAČKI HOLDING“ d.o.o u svrhu posebnih indikativnih mjerenja sastava uzoraka odlagališnog plina na ulaznom cjevovodu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova (MTEO) na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac. Praćenje sastava odlagališnog plina obavlja se kontinuirano, a u ovom radu prikazani su rezultati mjerenja za razdoblje od 2008. godine do 2011. godine.

Prema ugovoru, predviđeno mjesto uzorkovanja je cjevovod na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnog plina. U ovom cjevovodu odlagališni plin ima podtlak koji iznosi – 25 mbar (0,025 bar). Osim na ovoj lokaciji za provjeru je uzet dodatni uzorak plina iz tlačnog cjevovoda neposredno prije obrade u postrojenju. Plin u tlačnom cjevovodu je nadtlačen na + 95 mbar (1,095 bar).

Prilikom uzorkovanja uzimana su dva uzorka. Prvi uzorak u tlačnom cjevovodu (UZORAK 1), a drugi na ulazu u postrojenje (UZORAK 2) pri tlakovima koji su varirali od 19,59 mbar do 158,13 mbar (UZORAK 1) i od 25,70 mbar do 158,63 mbar (UZORAK 2).

Pokazatelji o sastavu odlagališnog plina koji su u okviru mjerenja praćeni uključivali su metan (CH₄), ugljični dioksid (CO₂), kisik (O₂), vodik (H₂), sumporovodik (H₂S) te tlak i temperaturu zraka.

3.1. Korištena mjerna oprema i instrumentarij

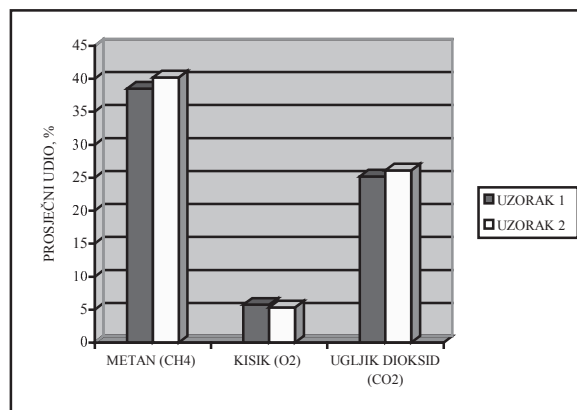
Sva mjerenja provedena su uređajem GA2000Plus Gas Analyser, čiji je proizvođač Geotechnical Instruments iz Velike Britanije.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Analiza odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2008. godinu

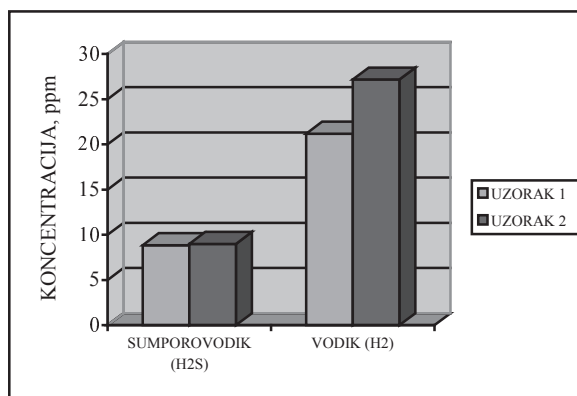
U okviru analize sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2008. godinu mjereni pokazatelji uključivali su metan (CH₄), ugljični dioksid (CO₂), kisik (O₂), vodik (H₂) i sumporovodik (H₂S). Rezultati analize prikazani su slikom 8. i 9.

Iz slike 8. koja prikazuje prosječne udjele metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2008. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako udio metana u UZORKU 1 iznosi 38,53 %, kisika 5,74 %, a ugljik dioksida 25,21 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da je udio metana 40,20 %, kisika 5,31 %, a ugljik dioksida 26,13 %.



Slika 8. Prosječni udjeli metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2008. god.

Dobivene vrijednosti su nešto ispod vrijednosti tipičnog sastava odlagališnog plina, što je vidljivo ako se usporede s vrijednostima prikazanim u tablici 1. Vrijednosti za metan su za oko 5 % ispod vrijednosti koja odgovara tipičnom sastavu odlagališnog plina. Isto je i sa ugljik dioksidom, čije su vrijednosti za oko 14 % ispod propisanih vrijednosti, dok su vrijednosti za kisik oko 5 % iznad propisanih vrijednosti.



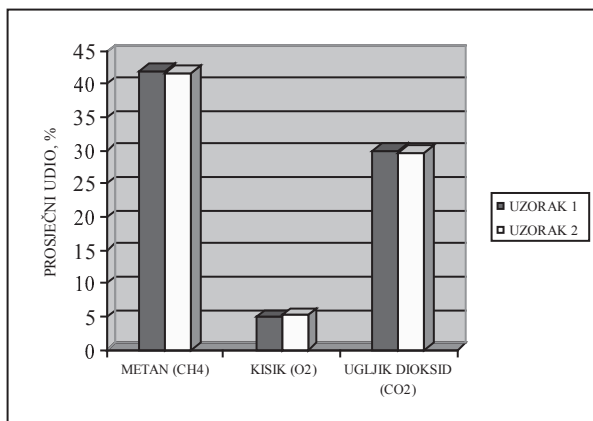
Slika 9. Prosječne koncentracije sumporovodika i vodika, u ppm tijekom 2008. god.

Iz slike 9. koja prikazuje prosječne koncentracije sumporovodika i vodika u ppm tijekom 2008. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako koncentracija sumporovodika u UZORKU 1 iznosi 8,86 ppm ili 0,0009 %, a vodika 21,17 ppm ili 0,0021 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da koncentracija sumporovodika iznosi 9,0 ppm ili 0,0009 %, a vodika 27,17 ppm ili 0,0027 %.

Mjereni odlagališni plin tijekom 2008. god. u postrojenju za obradu nema očekivani sastav posebice glede udjela ugljičnog dioksida, metana i kisika, a razlog tome je što se 1995. godine pristupilo sanaciji odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac koja je trebala u potpunosti biti dovršena do kraja 2011. godine. Kako su ovdje prikazani rezultati za 2008. godinu, očito je kako potpuna stabilizacija još nije postignuta te rezultati odstupaju od propisanih vrijednosti. Udjeli ostalih komponenti odlagališnog plina koji su manje zastupljeni ili su zastupljeni u tragovima u granicama su očekivanog.

4.2. Analiza odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2009. godinu

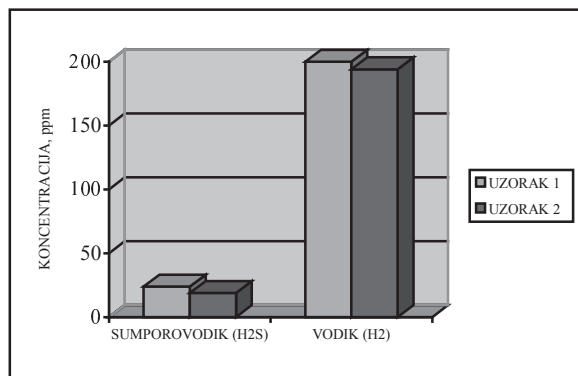
U okviru analize sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2009. godinu mjereni pokazatelji također su uključivali metan (CH_4), ugljični dioksid (CO_2), kisik (O_2), vodik (H_2) i sumporovodik (H_2S). Rezultati analize prikazani su slikom 10. i 11.



Slika 10. Prosječni udjeli metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2009. god.

Iz slike 10. koja prikazuje prosječne udjele metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2009. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja također vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako udio metana u UZORKU 1 iznosi 42,03 %, kisika 4,85 %, a ugljik dioksida 30,07 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da je udio metana 41,70 %, kisika 5,18 %, a ugljik dioksida 29,74 %.

Dobivene vrijednosti još su uvijek nešto ispod vrijednosti tipičnog sastava odlagališnog plina, što je vidljivo ako se usporede izmjerene vrijednosti s podacima prikazanim u tablici 1. Međutim, ipak se primjećuje trend približavanja vrijednostima koje odgovaraju tipičnom sastavu odlagališnog plina, osobito glede sadržaja metana i ugljik dioksida. Vrijednosti za metan još uvijek su oko 3 % ispod vrijednosti koja odgovara tipičnom sastavu odlagališnog plina. Vrijednosti ugljik dioksida su za oko 10 % ispod propisanih vrijednosti, a kisika oko 5 % iznad propisanih vrijednosti.



Slika 11. Prosječne koncentracije sumporovodika i vodika, u ppm tijekom 2009. god.

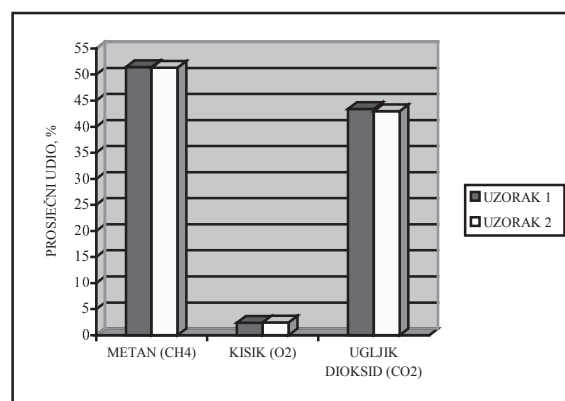
Iz slike 11. koja prikazuje prosječne koncentracije sumporovodika i vodika u ppm tijekom 2009. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako koncentracija sumporovodika u UZORKU 1 iznosi 23,92 ppm ili 0,0024 %, a vodika 119,83 ppm ili 0,02 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da koncentracija sumporovodika iznosi 18,92 ppm ili 0,0019 %, a vodika 194,0 ppm ili 0,019 %.

Mjereni odlagališni plin tijekom 2009. god. u postrojenju za obradu nema očekivani sastav posebice glede udjela ugljičnog dioksida, kisika i metana, a razlog tome je što sanacijski radovi na odlagalištu još uvijek nisu u potpunosti bili dovršeni. Udjeli ostalih komponenti odlagališnog plina koji su manje zastupljeni ili su zastupljeni u tragovima također su u granicama očekivanog.

4.3. Analiza odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2010. godinu

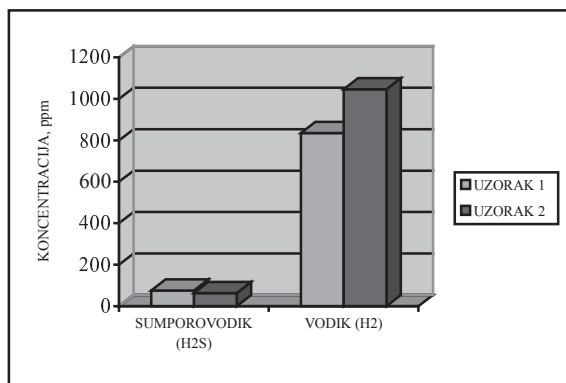
U okviru analize sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2010. godinu mjereni pokazatelji uključivali su metan (CH_4), ugljični dioksid (CO_2), kisik (O_2), vodik (H_2) i sumporovodik (H_2S). Rezultati analize prikazani su slikom 12. i 13.

Iz slike 12. koja prikazuje prosječne udjele metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2010. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja također vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako udio metana u UZORKU 1 iznosi 51,46 %, kisika 2,40 %, a ugljik dioksida 43,40 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da je udio metana 51,30 %, kisika 2,46 %, a ugljik dioksida 42,97 %.



Slika 12. Prosječni udjeli metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2010. god.

Iz slike 12. koja prikazuje prosječne udjele metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2010. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja također vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako udio metana u UZORKU 1 iznosi 51,46 %, kisika 2,40 %, a ugljik dioksida 43,40 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da je udio metana 51,30 %, kisika 2,46 %, a ugljik dioksida 42,97 %.



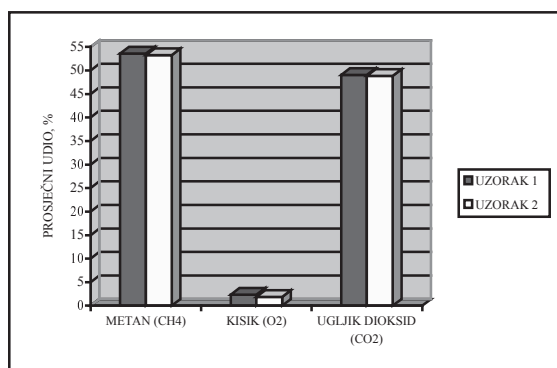
Slika 13. Prosječne koncentracije sumporovodika i vodika, u ppm tijekom 2010. god.

Iz slike 13. koja prikazuje prosječne koncentracije sumporovodika i vodika u ppm tijekom 2010. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako koncentracija sumporovodika u UZORKU 1 iznosi 75,43 ppm ili 0,0075 %, a vodika 834,5 ppm ili 0,083 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da koncentracija sumporovodika iznosi 63,14 ppm ili 0,0063 %, a vodika 1046,5 ppm ili 0,1 %.

Mjereni odlagališni plin tijekom 2010. god. u postrojenju za obradu ima očekivani sastav posebice glede udjela ugljičnog dioksida i metana. Udjel kisika u ulaznom dijelu postrojenja je nešto povećan (za oko 1,5 %), što je razumljivo obzirom na tehnologiju prikupljanja i obrade odlagališnog plina. Također i udjeli ostalih komponenti odlagališnog plina koji su manje zastupljeni ili su zastupljeni u tragovima u granicama su očekivanog. Navedeno ukazuje da su u tijelu odlagališta postignuti uvjeti za odvijanje stabilne mikrobiološke razgradnje organske faze.

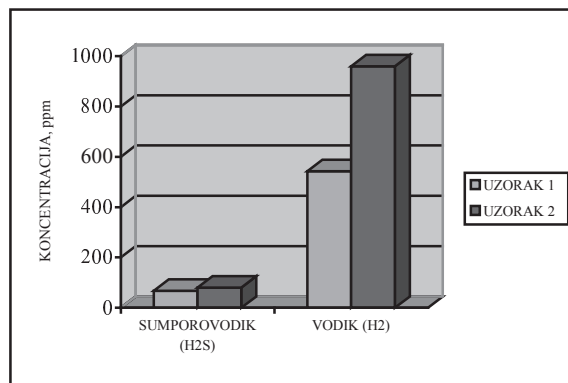
4.4. Analiza odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2011. godinu

U okviru analize sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za 2011. godinu mjereni pokazatelji uključivali su metan (CH₄), ugljični dioksid (CO₂), kisik (O₂), vodik (H₂) i sumporovodik (H₂S). Rezultati analize prikazani su slikom 14. i 15.



Slika 14. Prosječni udjeli metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2011. god.

Iz slike 14. koja prikazuje prosječne udjele metana, kisika i ugljik dioksida u % tijekom 2011. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja također vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako udio metana u UZORKU 1 iznosi 53,61 %, kisika 2,37 %, a ugljik dioksida 49,07 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da je udio metana 53,29 %, kisika 1,87 %, a ugljik dioksida 48,87%.



Slika 15. Prosječne koncentracije sumporovodika i vodika, u ppm tijekom 2011. god.

Iz slike 15. koja prikazuje prosječne koncentracije sumporovodika i vodika u ppm tijekom 2011. godine vidljivo je da su udjeli praćenih pokazatelja vrlo slični za UZORAK 1 i UZORAK 2. Tako koncentracija sumporovodika u UZORKU 1 iznosi 68,0 ppm ili 0,0068 %, a vodika 543,29 ppm ili 0,054 %. Izmjerene vrijednosti za UZORAK 2 pokazuju da koncentracija sumporovodika iznosi 80,71 ppm ili 0,0080 %, a vodika 966,43 ppm ili 0,096 %.

Mjereni odlagališni plin tijekom 2011. god. u postrojenju za obradu ima očekivani sastav posebice glede udjela ugljičnog dioksida i metana. Također i udjeli ostalih komponenti odlagališnog plina koji su manje zastupljeni ili su zastupljeni u tragovima u granicama su očekivanog.

5. ZAKLJUČAK

Metan i ugljikov dioksid najzastupljeniji su spojevi u sastavu odlagališnog plina, a nastali su raspadom organske frakcije komunalnog otpada. Metan je u odnosu na CO₂ bitno štetniji staklenički plin, a u koncentracijama većim od 4,4 vol.% i manjim od 16,5 vol.% je eksplozivan.

U okviru ovog rada provedena je analiza sastava odlagališnog plina na ulazu u postrojenje za obradu odlagališnih plinova za razdoblje od 2008. godine do 2011. godine. Stupanj povećanja ili smanjenja koncentracija kreće se ovisno o udjelu biološke komponente preostale u otpadu nakon obrade i prisutnim meteo - uvjetima. Tako isušivanjem tijela odlagališta dolazi do mumifikacije, tj. zastoja bioloških procesa. Međutim, čim voda ponovno dođe u tijelo odlagališta ponovno dolazi do oživljavanja bioreakcija. Važnu ulogu ima i sanacija odlagališta kojoj se na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac pristupilo 1995. godine. Poznato je kako odlagališta otpada funkcioniraju kao golemi

kemijski i biološki reaktori, pa je zato za potpunu stabilizaciju potrebno dugo vremensko razdoblje. Tako se i na odlagalištu otpada Prudinec/Jakuševac koncentracije metana i ostalih praćenih komponenata odlagališnog plina iz godine u godinu sve više približavaju vrijednostima koje odgovaraju tipičnom sastavu odlagališnog plina.

Za 2008. godinu su smanjene vrijednosti metana i ugljik dioksida, a povećane vrijednosti kisika s obzirom na propisane vrijednosti. Ista je situacija i u 2009. godini. Kroz 2010. godinu i 2011. godinu mjereni pokazatelji su u granicama dozvoljenih vrijednosti, osim kisika čije su koncentracije u 2010. godini još uvijek malo iznad propisanih vrijednosti. Udjeli ostalih komponenti odlagališnog plina, tj. sumporovodika i vodika, koji su manje zastupljeni, u granicama su očekivanog za čitavo mjereno razdoblje.

6. ZAHVALE

Autori iskazuju posebnu zahvalnost tvrtki Zagrebački holding, podružnici ZGOS d.o.o. na ustupanju podataka korištenih za izradu ovog rada.

7. LITERATURA

Barčić D (2010) Utjecaj odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac na onečišćenje okoliša. Sumar list 134:347-358

Direktiva o odlagalištima. Dostupno na www.mzoip.hr/doc/IPPC/Odlagalista.pdf. Datum pristupa 25.03.2014.

Milanović Z, Novosel M (2011) Odlagališni plin i druge opasnosti na odlagalištu otpada. Udruga gospodarenje otpadom, Zagreb

Samokovlija Dragičević J (2010) Uvjeti za gradnju odlagališta otpada. Građevinar 62:345-351

Samokovlija Dragičević J (2011) Otplinjavanje odlagališta kmunalnog otpada. Građevinar 63:211-215