

Mirko Budiša, dipl.ing.kem.tehn.

Ratko Vasiljević, dipl.ing.geol.

Dražen Jergović, ing.elek.

Stjepan Vulinović, tehn.

MJERENJE EMISIJA I SASTAVA ODLAGALIŠNOG PLINA NA ODLAGALIŠTIMA KOMUNALNOG OTPADA

Na odlagalištima komunalnog otpada udio biorazgradljive organske tvari može dosegnuti i do 60% od ukupne količine otpada. Razgradnjom biorazgradljive faze nastaje odlagališni plin, koji se u većoj mjeri sastoji od ugljičnog dioksida (CO₂) i metana (CH₄). Radi se o izrazitim stakleničkim plinovima, pa je potrebo spriječiti njihovo slobodno izlaženje u atmosferu. Stoga sva uređena odlagališta otpada moraju imati sustav prikupljanja i obrade odlagališnih plinova odnosno uređeni i kontrolirani sustav otplinjavanja. Također, otplinjavanje je potrebno kako bi se spriječila pojava požara i eksplozija budući da metan u omjeru s zrakom od 5-15% čini eksplozivnu i zapaljivu smjesu. Emisije odlagališnog plina ovise o više faktora, prvenstveno o količini odloženog komunalnog otpada i starosti otpada i njihovo periodičko praćenje je zakonska obaveza. U radu su prikazani rezultati mjerenja emisija i sastava odlagališnog plina na dva manja, uređena odlagališta komunalnog otpada „Vinogradine“ kraj Požege i „Duplja“ Novi Vinodolski.

Ključne riječi: odlagališni plin, mjerenje, emisije, odlagališta otpada, staklenički plinovi

MEASUREMENT OF EMISSIONS AND COMPOSITION OF THE LANDFILL GAS AT LANDFILLS OF MUNICIPAL WASTE

Mirko Budiša, Ratko Vasiljević, Stjepan Vulinović and Dražen Jergović

Abstract

The proportion of municipal landfill biodegradable organic matter can reach up to 60% of the total quantity of waste. Decomposition of biodegradable phase occurs disposed gas, which is largely composed of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). It is about strong greenhouse gases, and the need to prevent them from freely rise into the atmosphere. Therefore, all regulated landfills must have a system of collection and treatment of landfill gas that is regulated and controlled system degassing. Also, degassing is required in order to prevent the occurrence of fires and explosions since the ratio of methane in the air from 5-15% were explosive and incendiary mixture. Emissions of landfill gas depends on several factors, primarily on the amount of disposed municipal waste and age of waste and their periodic monitoring is a legal obligation. The paper presents the results of measuring emissions and composition of landfill gas at two small, well-maintained municipal landfills "Vinogradine" near Pozega and "Duplja" Novi Vinodolski.

Keywords: disposed gas, measuring, emission, landfill waste, greenhouse gases

UVOD

Po svom osnovnom sastavu odlagališni plin čine uglavnom metan, ugljični dioksid, dušik i kisik. Međutim, ovisno o sastavu otpada koji se odlaže, odlagališni plin može sadržavati u vrlo niskim koncentracijama sumporovodik, amonijak, merkaptane, disulfide, BTX-spojevi te druge nemetanske ugljikovodike.

Na odlagalištima otpada, odlagališni plin može nastati kroz tri procesa – bakterijskom dekompozicijom, hlapljenjem i kemijskim reakcijama [1].

Većina odlagališnog plina proizvodi se bakterijskom dekompozicijom organskog dijela otpada u uvjetima anaerobne biološke razgradnje. Biološka razgradnja predstavlja egzotermni proces, pri čemu dolazi do stalnog oslobađanja toplinske energije.

Proces biorazgradnje otpada i nastajanje odlagališnog plina provodi se u pet osnovnih faza. U svakoj fazi odlagališni plin ima drugačiji kemijski sastav [2].

Odlagališni plinovi mogu nastati kada određeni otpad, prvenstveno organskog sastava, prelazi iz tekućeg ili čvrstog stanja u paru. Ovaj proces poznat je kao hlapljenje što u većini slučajeva rezultira emisijama NMVOC spojeva (ne-metanskih lakohlapivi organski spojevi) Odlagališni plinovi, uključujući i NMVOC, mogu nastati i međusobnim reakcijama određenih otpadnih tvari i kemikalija koje su odložene na odlagalištu. Tipičan sastav odlagališnog plina prikazan je u donjoj tablici[1].

Tablica 1: Tipični sastav odlagališnog plina

Plin	Volumni udio (%)	Osnovne karakteristike
Metan (CH ₄)	45-60	Bezbojan je i bez mirisa.
Ugljični dioksid (CO ₂)	40-60	Bezbojan je, bez mirisa i blago kiseo.
Dušik (N ₂)	2-5	Bezbojan je, bez mirisa i okusa.
Kisik (O ₂)	0.1-1	Bezbojan je, bez mirisa i okusa.
Amonijak (NH ₃)	0.1-1	Bezbojan plin s lako uočljivim, neugodnim mirisom.
Ne-metanski ugljikovodici (NMVOC)	0.01-0.6	NMVOC čine organski spojevi (oni koji sadrže ugljik), isključujući metan. NMVOC koji se najčešće nalaze na odlagalištima uključuju: akrilonitril, 1,2,-dikloretan 1,2-cis dikloretilen, diklormetan, ugljični sulfid, etil-benzen, heksan, metil-etil-keton, tetrakloretilen, toluen, trikloretilen, vinil-klorid i ksileni.
Sumporovodik –sulfidi (H ₂ S)	0-1	Sulfidi (npr. vodikov sulfid, dimetil sulfid, merkaptani) plinovi su koji se prirodno pojavljuju koji odlagalištu daju neugodan miris pokvarenih jaja. Sulfidi mogu uzrokovati neugodne mirise čak i na vrlo malenim koncentracijama.
Vodik (H ₂)	0-0.2	Bezbojan plin bez mirisa.
Ugljični monoksid (CO)	0-0.2	Bezbojan plin bez mirisa

Odlagališni plinovi, posebice metan sa zrakom čini eksplozivnu i zapaljivu smjesu, te je u većim koncentracijama opasan za ljudsko zdravlje. Istovremeno je njegov doprinos efektu staklenika više od 10 puta veći od ugljičnog dioksida. Granice eksplozivnosti za metan su 5 i 15 vol%. To znači da do izgaranja metana u smjesi sa zrakom i do eksplozije neće doći ako je njegova koncentracija niža od 5 i viša od 15 vol%. Nastala smjesa ima točku zapaljenja na oko 540 °C. Obzirom da je metan u odlagališnom plinu zastupljen s više od 50% vrlo je vjerovatan nastanak eksplozivne smjese a time i mogućnost eksplozija i požara. Granice eksplozivnosti pojedinih komponenti odlagališnog plina prikazani su u donjoj tablici [1].

Tablica 2: Granice eksplozivnosti pojedinih komponenti odlagališnog plina

Plin	Donja granica eksplozivnosti	Gornja granica eksplozivnosti
Benzen	1,2%	7,8%
Vodik	4,0%	75,0%
Sumporovodik	4,3%	46,0%
Metan	5,0%	15,0%

Da bi se iz gore navedenih razloga spriječilo slobodno i nekontrolirano izlaženje odlagališnih plinova u atmosferu, zakonska obveza je osigurati njegovo sakupljanje i obradu. Također, zakonska je obaveza upravitelja odlagališta neopasnog otpada da osigura praćenje emisija odlagališnog plina što predstavlja jedan od oblika kontrole rada odlagališta otpada. Ovaj rad obrađuje rezultate mjerenja sastava odlagališnih plinova i volumnih udjela pojedinih plinskih komponenti koji su dobiveni mjerenjem na uređenim odlagalištima Vinogradine kraj Požege i Duplja u Novom Vinodolskom. Također dana je usporedba rezultata mjerenja u pogledu sastava i volumnih udjela pojedinih plinskih komponenti. Mjerenja su provedena tijekom 2009.god., kvartalno tj. jednom u tri mjeseca.

OSNOVNO O ODLAGALIŠTIMA

Odlagalište „Vinogradine“ kod Požege

Odlagalište Vinogradine se nalazi sjeverno od grada Požege. Lokacije je okružena šumom akacije. S istočne strane lokacije nalazi se asfaltna cesta Požega-Alilovci. S glavnom prometnicom povezana je pristupnom asfaltiranom cestom do ulaza u odlagalište.

Prostor odlagališta sastoji se iz dvije cjeline: ulazno-izlazna zona i prostor oko odlagališta te radna zona-prostor za odlaganje otpadaka. Ukupna površina unutar ograde je 10 ha od čega je 5,7 ha predviđeno za prostor za odlaganje otpada. Odlagalište je u upotrebi od 1989. godine, a do sada je pod otpadom oko 3,7 ha površine. Godišnje se odloži oko 15.000,0 t. komunalnog i proizvodnog neopasnog otpada iz tri grada i 5 općina Požeško-slavonske županije bez prethodne obrade [3].

Sanacijom koja je započela 2004.g. odlagalište je iz neuređenog prešlo u kategoriju uređenog odlagalištu sa brtvenim slojevima i pasivnim sustavom otplinjavanja odlagališnog plina iz tijela odlagališta. Na tako uređenim kazetama odlagališta «Vinogradine» moguće je odlagati otpad do 2017 god. pod pretpostavkom da nema izdvojenog skupljanja otpada. Otpad se odlaže bez prethodne obrade.



Slika 1: Zračni snimak odlagališta „Vinogradine“ (foto: M. Bešlić)

Odlagalište „Duplja“ Novi Vinodolski

Odlagalište Duplja nalazi se u zaleđu Novog Vinodolskog, 7 kilometara od grada, na površini od cca 8 ha. Odlaganje otpada započelo je 1969 god. u krškoj vrtači.

Nakon sanacije odlagališta, od svibnja 2005. do lipnja 2007. godine na privremenu kazetu za odlaganje otpada (gornja ploha) površine 1600 m² odloženo je ukupno 32.786,85 tona otpada. Od srpnja 2007. prestaje se sa odlaganjem otpada na privremenoj kazeti, te je otvorena nova kazeta površine 6000 m² kapaciteta 50000 m³ (donja ploha). Do 31. prosinca 2009. godine na odlagalištu je odloženo ukupno 35291,85 tona otpada. Otpad se odlaže bez prethodne obrade [4].

U sklopu sanacij odlagališta, osiguran je kapacitet za odlaganje komunalnog i proizvodnog neopasnog otpada do 2013.god. za kada se očekuje otvaranje županijskog centra „Mariščina“. Odlagališne plohe imaju uređen donji brtveni sloj s sustavom prikupljanja i recirkuliranja procjednih voda. Također, paralelno s razvojem i punjenjem odlagališnih ploha gradi se pasivni sustav otplinjavanja odlagališnog plina.



Slika 2: Nova kazeta za odlaganje otpada na odlagalištu „Duplje“ Novi Vinodolski(foto: D. Jergović)

UREĐAJ ZA MJERENJE EMISIJA ODLAGALIŠNIH PLINOVA

Mjerenje emisija odlagališnih plinova provedeno je prijenosnim uređajem GA2000Plus Gas Analyser. Uređaj služi za mjerenje volumnih udjela metana, ugljičnog dioksida, kisika infracrvenom absorpcijom te koncentracija vodika i sumporovodika. Osim navedenog, uređaj ima nastavke za mjerenje zračnog i relativnog tlaka, brzine strujanja plinova (protok) i temperature zraka. Uz uređaj je isporučen i software koji omogućuje programiranje i optimizaciju uređaja za više različitih lokacija mjerenja. Analizator posjeduje potvrdu o godišnjoj kalibraciji sukladno EN ISO 17025 normi.

PLINSKI BUNARI I UZORKOVANJE ODLAGALIŠNIH PLINOVA

Budući da se radi o manjim odlagalištima otpada, trenutna količina nastalog odlagališnog plina nije dovoljna da se termički obrađuje odnosno koristi za proizvodnju elek. energije putem plinskih motora. Stoga su na oba odlagališta otpada ugrađeni pasivni sustavi otplinjavanja. Pasivnim otplinjavanjem se iskorištava vlastiti pritiska plina u tijelu odlagališta za njegovo izlaženje preko otvora na plinskim bunarima i ne postoji dodatna potrošnja energije za otplinjavanje. Najveći nedostatak pasivnog otplinjavanja je njegova ovisnost o promjenama atmosferskog tlaka. Pri naglom padu tlaka iz tijela odlagališta se mogu oslobađati veće količine plina, dok pri povišenju atmosferskog tlaka oslobađanje odlagališnog plina u atmosferu može i izostati. Također, pasivno otplinjavanje je direktno ovisno o postojećim uvjetima u odlagalištu i njegovom tehničkom uređenju.

Mjerenje emisija odlagališnog plina obavlja se na plinskim bunarima koji su prethodno predviđeni za mjerenja, na način da se uzorkivač putem plastične cjevčice postavi u gornji otvor plinskog bunara na dubinu cca 1.5 m. Poželjno je da se uzorkivač umetne što je moguće više u unutrašnjost plinskog bunara kako bi utjecaj okolne atmosfere sveo na minimum a time rezultati bili što vjerodostojniji.



Slika 3 Mjerenje emisija odlagališnog plina na bunaru za pasivno otplinjavanje (foto: D. Jergović)

Kako je na odlagalištu „Vinogradine“ tehnologijom predviđeno odlaganje otpada u etažama visine od 2,5 m to će jedan dio metana otići u atmosferu kroz glinu. Međutim kako bi se otplinjavanje olakšalo, predviđena je ugradnja okomitih šljunčanih kanala promjera oko 100 cm koji se nalaze na međusobnoj udaljenosti od 20 do 40 m. Pri zatvaranju odlagališta, u šljunčane kanale ugrađuje se perforirane cijevi promjera 100 mm. [3].



Slika 5. Detalj polinskog bunara na odlagalištu „Vinogradine“ kraj Požege(foto: D. Jergović)

Sustav za otplinjavanje odlagališta „Duplja“ Novi Vinodolski, sastoji se od drenažnog sloja za sakupljanje plinova od prirodnog kamena i šljunka debljine 30 cm položenog na geotekstilu i 4 okomita šljunčana kanala promjera 100 cm (na dijelu gdje kanal prolazi kroz završni pokrovni sloj promjer se povećava na 200 cm) koji se nalaze na udaljenosti cca 20 m (prema nacrtima)

Kanali su formirani od žičane mreže omotane geotekstilom da ne dolazi do prodiranja otpada i gline iz obodnih nasipa etaža u plinodrenažu. Oko tako izvedenih odzračnika ugrađen je bentonitni tepih na dijelu prolaska kroz drenažni sloj za vode. U sredini odzračnika ugrađena je HDPE perforirana glatka cijev $\text{Ø} 110 \text{ mm}$ [4].



Slika 6 i 7. Detalj polinskog bunara na odlagalištu „Duplja“ Novi Vinodolski (foto: S. Vulinović)

OBRADA REZULTATA MJERENJA

Nakon nekoliko minuta mjerenja, a pošto što se stabiliziraju, rezultati se automatski pohranjuju u lokalnu memoriju uređaja. Brojčane rezultate je moguće očitati i na sučelju uređaja. Pri svakom mjerenju dobiju se sljedeći rezultati: Volumni udio metana (CH_4), Volumni udio ugljičnog dioksida (CO_2), Volumni udio kisika (O_2), Područje nastanka zapaljive plinske smjese (CH_4 %LEL); Maksimalna vrijednost za volumni udio metana (MAX CH_4), Maksimalna vrijednost za volumni udio ugljičnog dioksida (MAX CO_2), Minimalna vrijednost za volumni udio kisika (MAX O_2), koncentracija (ppm) sumporovodik (H_2S); koncentracija (ppm) vodika (H_2), barometarski tlak plinova (*BARO*), temperatura plinova (*TEMP*), relativni tlak (*REL. PRESSURE*) i brzina strujanja plinova (*ANEM. VEL.*). Rezultati se iz memorije uređaja prebace na računalo i obrade u tabličnom i grafičkom obliku.

REZULTATI MJERENJA EMISIJA ODLAGALIŠNOG PLINA

Na odlagalištu „Vinogradine“ mjerenje emisija odlagališnog plina obavljeno je na četiri plinska bunara. U donjim tablicama dani su rezultati mjerenja emisija odlagališnih plinova i sastava odlagališnih plinova po pojedinom kvartalu mjerenja [5].

Tablica 1: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Vinogradine u I kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4
Metan (CH ₄)	% (v/v)	22,6	1,5	34,8	36,8
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	21,6	3,7	32,5	35,2
Kisik (O ₂)	% (v/v)	6,4	16,7	2,6	0,8
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	0	0	0	0
Vodik (H ₂)	ppm	8	0	14	8

Tablica 2: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Vinogradine u II kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4
Metan (CH ₄)	% (v/v)	0,2	4,7	0,3	1,8
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	1,0	23,8	0,8	1,1
Kisik (O ₂)	% (v/v)	18,5	1,1	18,1	18,6
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	0	0	0	1
Vodik (H ₂)	ppm	0	19	0 14	0

Tablica 3: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Vinogradine u III kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4
Metan (CH ₄)	% (v/v)	55,2	55,4	7,1	5,5
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	45,5	48,7	9,3	8,6
Kisik (O ₂)	% (v/v)	0,5	0,4	14,0	13,7
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	20	13	0	0
Vodik (H ₂)	ppm	33	43	35	5

Tablica 4: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Vinogradine u IV kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4
Metan (CH ₄)	% (v/v)	3,7	22,7	33,4	60,8
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	5	25,9	22,7	39
Kisik (O ₂)	% (v/v)	16,5	4,6	8,4	0,2
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	0	0	0	12
Vodik (H ₂)	ppm	5	14	9	39

Na odlagalištu „Duplja“ mjerenje emisija odlagališnog plina obavljeno je na pet plinskih bunara. U donjim tablicama dani su rezultati mjerenja emisija odlagališnih plinova i sastava odlagališnih plinova po pojedinom kvartalu mjerenja [6].

Tablica 5: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Duplja“ u I kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4	Uzorak 5
Metan (CH ₄)	% (v/v)	16,1	3,9	4,4	1,1	18,2
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	14,6	4,6	5,4	1,8	12,4
Kisik (O ₂)	% (v/v)	11,8	17,6	15,6	17,3	13,6
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	1	0	2	0	11
Vodik (H ₂)	ppm	92	311	28	5	32

Tablica 6: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Duplja“ u II kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4	Uzorak 5
Metan (CH ₄)	% (v/v)	4,0	6,3	13,2	11,7	28,9
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	4,2	5,1	10,8	9,9	21
Kisik (O ₂)	% (v/v)	16,3	17,5	13,8	13,5	9,9
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	1	0	2	0	6
Vodik (H ₂)	ppm	21	16	50	39	24

Tablica 7: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Duplja“ u III kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4	Uzorak 5
Metan (CH ₄)	% (v/v)	5,5	12,5	11,4	2,5	16,9
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	4,8	11,5	10,9	3,4	12,7
Kisik (O ₂)	% (v/v)	18,0	14,2	13,9	17,2	14,3
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	0	6	1	1	6
Vodik (H ₂)	ppm	15	63	75	46	4

Tablica 8: Rezultati mjerenja emisija odlagališnog plina na odlagalištu „Duplja“ u IV kvartalu 2009.god.

Mjerni parametar	Mjerna jedinica	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3	Uzorak 4	Uzorak 5
Metan (CH ₄)	% (v/v)	3,2	4,4	14,4	2,5	22,8
Ugljični dioksid (CO ₂)	% (v/v)	4,1	4,0	13,5	3,4	18,8
Kisik (O ₂)	% (v/v)	17	18,3	13,2	16,9	11,9
Suporovodik (H ₂ S)	ppm	4	0	1	0	16
Vodik (H ₂)	ppm	0	16	20	7	0

ZAKLJUČNO

Odlagališta otpada „Vinogradine“ i „Duplja“ su uređena odlagališta otpada, s izgrađenim sustavom prikupljanja i otplinjavanja odlagališnog plina iz tijela odlagališta. Mjereni sastav i količina odlagališnog plina bila je promjenjiva po pojedinim periodima mjerenja. Takve oscilacije je i za očekivati budući da količina i sastav odlagališnog plina ovise o više čimbenika. U prvom redu ovise o sastavu otpada i starosti otpada, sadržaju vlage, temperaturi, gustoći otpada, veličini odlagališta, odnosno količini odloženog otpada, dnevnoj prekrivki, sabijanju otpada te intenzitetu oborina i atmosferskom tlaku.

U raznoj stručnoj literaturi može se naći podatak kako od 1t otpada može teoretski nastati do 450 m³ odlagališnog plina, dok se stvarna količina može očekivati u rasponu od 30-180 m³.

Budući da glavne komponente odlagališnog plina, metan (CH_4) i ugljikov dioksid (CO_2) sa aspekta utjecaja na okoliš spadaju u stakleničke plinove koji pridonose globalnim klimatskim promjenama potrebno ih je obrađivati. Nekontroliranim oslobađanjem odlagališnog plina ne samo da se zagađuje atmosfera već se nepovratno gube i goleme količine energije u obliku metana kao mogućeg pogonskog goriva [7].

Kako se u predmetnom slučaju radi o manjim odlagalištima, energetska iskoristivost odlagališnog plina nije u potpunosti opravdana. Otplinjavanje je stoga potrebno provoditi prvenstveno u svrhu sprječavanja nastanka eksplozija i odlagališnih požara [8]. Na predmetnim se odlagalištima otpad odlaže tehnologijom sanitiranog odlaganja, te se stoga može očekivati jednolična i vremenski ujednačena proizvodnja odlagališnog plina u svim dijelovima odlagališta. Stoga pasivno otplinjavanje putem plinskih bunara predstavlja optimalan način otplinjavanja predmetnih odlagališta kako bi se onemogućili uvjeti za nastanak eksplozija i požara. Navedena mjerenja emisija odlagališnih plinova su potvrdila svrhu i funkcionalnost tako instaliranog sustava otplinjavanja.

LITERATURA:

1. David R. Lide, Editor-in-Chief; CRC Handbook of Chemistry and Physics, 72nd edition; CRC Press; Boca Raton, Florida; 1991; ISBN 0-8493-0565-9
2. N. Mustapić, I. Polović, B. Staniša: Mogućnosti energetskog iskorištavanja odlagališnog plina (SIGURNOST 50 (2) 113 - 122 (2008))
3. Glavni projekt sanacije odlagališta otpada I kategorije „Vinogradine“ (IPZ Uniprojekt MFC d.o.o., Zagreb, 2001.)
4. Studija utjecaja na okoliš sanacije odlagališta Duplje: (IPZ Uniprojekt MFC d.o.o., Zagreb, 2002.)
5. Izvješće o provedenom ispitivanju sastava odlagališnog plina na odlagalištu otpada „Vinogradine“ (ECOINA d.o.o. 2009.)
6. Izvješće o provedenom ispitivanju sastava odlagališnog plina na odlagalištu otpada „Duplja“ (ECOINA d.o.o. 2009.)
7. Herenda, J.: Odlagališni plin u funkciji sanacije i izgradnje odlagališta komunalnog otpada s osvrtom na plinske stanice s bakljom. (VIII. Međunarodni simpozij gospodarenja otpadom, Zagreb, 2004.)
8. M. Budiša: Požari na odlagalištima komunalnog otpada (Gospodarstvo i okoliš, 2008.)