Protueksplozijska zaštita kod postrojenja za dobivanje bioplina iz otpada

Trezić, Mario

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:481294

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij rudarstva

PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA KOD POSTROJENJA ZA DOBIVANJE BIOPLINA IZ OTPADA

Diplomski rad

Mario Trezić
R-92

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA KOD POSTROJENJA ZA DOBIVANJE BIOPLINA IZ OTPADA

MARIO TREZIĆ

Završni rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

Bioplin je smjesa nekoliko plinova, pri čemu metan i ugljikov dioksid čine 90 % ukupne smjese, a prisutne su i manje količine sumporovodika, dušika, vodika i kisika. Dobiva se iz procesa anaerobne digestije u digestoru ili raspadanjem organske tvari na odlagalištu otpada. U ovom radu prikazane su opasnosti do kojih može doći na postrojenjima bioplina, zone opasnosti kod dobivanja bioplina iz digestora i kod dobivanja bioplina s odlagališta te primjeri uređaja i oprema koja se koristi kod bioplinskih postrojenja. Potencijalno ugroženi prostori moraju se svrstati u zone opasnosti. Osim osnovne norme (HRN 60079-10) za klasifikaciju prostora može se koristiti niz od pet dokumenata ICoP (Industry Codes of Practice). Svrha ICoP dokumenata je da daju detaljne smjernice kako provesti klasifikaciju prostora na bioplinskim postrojenjima, vodeći računa o svim posebnostima prostora gdje se može javiti bioplin. U radu su prikazane jednadžbe i primjer proračuna opsega zone.

Ključne riječi: bioplin, metan, otpad, klasifikacija prostora, protueksplozijska zaštita

Diplomski rad sadrži: 61 stranice, 11 tablica, 28 slika, 1 prilog i 57 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski.

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6,Zagreb

Voditelj: . Dr.sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr.sc. Dalibor Kuhinek, docent RGNF
Dr.sc. Želimir Veinović, docent RGNF
Dr.sc. Trpimir Kujudžić, izvanredni profesor RGNF

Datum obrane: 17. srpnja 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrbu.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

EXPLOSION PROTECTION AT WASTE BIOGAS PLANTS

MARIO TREZIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mining Engineering and Geotechnics,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Biogas is a mixture of several gases, wherein carbon dioxide and methane make up 90 % of the total composition, and there are also small quantities of hydrogen sulphide, nitrogen, hydrogen and oxygen. Biogas is obtained from anaerobic digestion process in the digester or it can be obtained by decomposition of organic substances in the waste landfill. In this thesis are described the dangers that can occur in biogas plants, the danger zones where biogas is obtained from the digester and biogas from landfills and examples of devices and equipment used for biogas plants. Potentially endangered areas must be classified as danger zones. In addition to the basic standard (EN 60079-10) for the area classification a series of five documents ICOP (Industry Codes of Practice) is used. The purpose of the ICoP documents is to provide detailed guidance on how to make area classification in biogas plants, taking into account for all relevant information on area where biogas can appear. In this thesis are given relevant equations and examples of zone radius calcualtion.

Keywords: biogas, methane, waste, classification of hazardous area, explosion protection

Thesis contains: 61 pages, 11 tables, 28 figures, 1 enclosure and 57 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor

Reviewers: PhD Dalibor Kuhinek, Assistant Professor
PhD Želimir Veinović, Assistant Professor
PhD Trpimir Kujundžić, Associate Professor

Date of defense: July 17, 2015

Veliku zahvalnost dugujem mentoru docentu dr. sc. Daliboru Kuhineku na velikoj pomoći i podršci. Zahvaljujem se svim ostalim asistentima, docentima i profesorima na strpljenju i stečenom znanju.

Najviše hvala mojoj obitelji, curi, dragim prijateljima i kolegama koji su mi pomagali tijekom studija.

SADRŽAJ

POPIS TABLICA..... III
POPIS SLIKA..... IV
POPIS PRILOGA..... V
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA VI
POPIS KRATICA VII
1. UVOD.....1
2. SVOJSTVA BIOPLINA IZ OTPADA.....2
2.1. Metan.....4
2.2. Ugljikov dioksid.....4
2.3. Sumporovodik.....5
2.4. Ugljikov monokisd.....5
2.5. Vodik.....6
3. POSTROJENJA ZA DOBIVANJE BIOPLINA I SIGURNOST NA POSTROJENJIMA.....7
3.1. Bioplin iz digestora.....8
3.1.1. Digestori i spremnici za bioplin ..…….....10
3.2. Bioplin s odlagališta otpada (LFG).....12
3.3. Sigurnost na postrojenju bioplina.....14
3.3.1. ATEX direktive.....14
3.3.2. ICoP.....15
3.4. Opasnosti na postrojenju bioplina.....16
3.4.1. Opasne komponente.....16
3.4.2. Nesreće uzrokovane električnim instalacijama.....16
3.4.3. Rizik od požara.....17
3.4.4. Zaštita vode.....20
3.4.5. Buka.....21
3.5. Sigurnost i zaštita ljudi 22
3.5.1. Antistatička oprema.....23
3.5.2. Utapanje.....24
3.6. Bioplin u Hrvatskoj.....24
4. PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA.....27

4.1.Zoniranje kod dobivanja bioplina iz digestora.....31
4.2. Zoniranje kod dobivanja bioplina s odlagališta.....33
4.2.1. Zoniranje bušotina na odlagalištu otpada.....33
4.2.2. Zoniranje cijevi na odlagalištu otpada.....37
4.3. Proračun raspona zona opasnosti..... 43
4.3.1.Proračun određivanja radijusa zona na postrojenjima za dobivanjeLFG.....43
4.3.2.Proračun volumenskog intenziteta otpuštanja.....44
4.3.3. Proračun radijusa zone za vanjsko otpuštanje na otvorenom prostoru.....46
4.3.4. Primjer proračuna rasprostiranja zone oko mjesta propuštanja ventila.....46
4.3.5. Primjer proračuna rasprostiranja zone oko mjesta propuštanja bentonitne .....brtve.....48
4.4. LFG u procjeđenim tekućinama.....48
5. UREĐAJI I OPREMA.....51
5.1. Senzori.....51
5.2.Detektori ispuštanja metana.....52
5.3. Analizatori plinova.....53
5.4. Zaustavljači plamena.....54
6. ZAKLJUČAK.....56
7. LITERATURA.....57
PRILOG

POPIS TABLICA

Tablica 2-1. Prosječni sastav bioplina iz digestora (Bachmann 2012)……..……2
Tablica 2-2. Karakteristike sastava plinova (Al Seadi et al. 2008.)..... 3
Tablica 2-3. Karakteristike sastava bioplina (Al Seadi et al. 2008.)..... 3
Tablica 3-1. Organski otpad pogodan za biološki tretman (Al Seadi et al., 2008.)..... 7
Tablica 3-2. Sigurne udaljenosti površinskih i podzemnih fiksiranih spremnika plina (Chrebet i Martinka 2012.). 17
Tablica 3-3. Sigurne udaljenosti podzemnih i tlom prekrivenih spremnika plina (Chrebet i Martinka 2012.). 17
Tablica 3-4. Sigurne udaljenosti spremnika plina oko jastučastog ili balonskog oblika kao i oko pokrova (*foil hoods*) za zadržavanje plina iznad skladišta tekućeg gnojiva i bioreaktora (Chrebet i Martinka 2012.). 18
Tablica 3-5. Mogući izvori zapaljenja u industriji gospodarenja otpadom (ESA ICOP 1 2005). 20
Tablica 4-1. Razvrstavanje opasnih mjesta (Direktiva 199/92/EZ 1999)..... 30
Tablica 4-2. Označavanje zona (HRN EN 600790-10; ESA ICOP 2 2005) 31
Tablica 4-3. Radijus zone x oko bušotine uzrokovan propuštanjem bentonitne brtve (ESA ICOP 2 2005)..... 38

POPIS SLIKA

Slika 3-1. Cirkuliranje bioplina (Chrebet i Martinka 2012). 8
Slika 3-2. Postrojenje za bioplin (CORTEM 2015). 9
Slika 3-3. Podzemni digestor (PHGDF 2015). 10
Slika 3-4. Spremnik za bioplin s dvostrukom membranom (Zafar 2015) 11
Slika 3-5. Postojenje za dobivanje LFG (MWE 2015). 13
Slika 3-6. LFG sastav u odnosu na vrijeme za aerobnu i anaerobnu razgradnja otpada s odlagališta (U.S. Army Corps of Engineers 2013). 13
Slika 3-7. Znak upozorenja od požara i eksplozije (EPA 2011). 19
Slika 3-8. Zak upozorenja od buke (EPA 2011). 22
Slika 3-9. Antistatička kuta (RECCO 2015) 24
Slika 4-1. Način označavanja ugroženih prostora eksplozivnom atmosferom (LABELSOURCE 2015). 27
Slika 4-2. Ovisnost energije paljenja o koncentraciji metana (Marinović 2005). 28
Slika 4-3. Utjecaj tlaka na donju i gornju granicu eksplozivnosti metana (Marinović 2005)…….. 29
Slika 4-4. Utjecaj temperature na donju i gornju granicu eksplozivnosti metana (Marinović 2005). 29
Slika.4-5. Zone opasnosti kod bioreaktora (Chrebet i Martinka 2012) 32
Slika 4-6. Zone opasnosti kod spremnika bioplina (Chrebet i Martinka 2012). 33
Slika 4-7. Zona opasnosti kod bušotine tipa 2 (ESA ICOP 4 2006) 34
Slika 4-8. Zone opasnosti kod bušotine tipa 3 (ESA ICOP 4 2006) 35
Slika 4-9. Zone opasnosti kod bušotine tipa 4 (ESA ICOP 4 2006) 37
Slika 4-10. Zone opasnosti kod igličasti bušotina (ESA ICOP 2 2005) 38
Slika 4-11. Zone opasnosti kod horizontalnih plinskih bušotina (ESA ICOP 2 2005) 39
Slika 4-12. Zone opasnosti kod mjesta za prikupljanje procjednih tekućina (ESA ICOP 2 2005) 40
Slika 4-13. Zone opasnosti kod sabirnika za prikupljanje plina (ESA ICOP 2 2005) 42
Slika 4-14. Zone opasnosti kod KO lonca (ESA ICOP 2 2005) 43
Slika 5-1. VRS senzor (Honeywell 2012) 51
Slika 5-2. Prijenosni laser-Inspectra® (GAZOMAT 2015) 52
Slika 5-3. Analizator plinova, a) (BINDER 2015), b) analizator kiska (MTL 2015) 53
Slika 5-4. Zaustavljači plamena s tlačnim i vakuumskim ventilima (BCASS 2012) 55
Slika 5-5. Zaustavljač plamena (BCASS 2012)…….……..…… 55

POPIS PRILOGA

PRILOG 1. Obrazac za bilježenje podataka i klasifikaciju prostora (ESA ICOP 2 2005, EN HRN 60079-10)

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA

Simbol	Značenje	Jedinica
g	brzina masenog protoka	kg/s
Q_{lg}	volumska brzina protoka odlgališnog plina	m^3/s
x	radijus zone	m
$E_{\%}$	donja granica eksplozivnosti	(%) v/v
p	tlak plina	bar (Pa)
V	volumen plina	m^2
n	broj molova	kmol
T	apsolutna temperatura	K
M	molekularna masa	kg/kmol
m	masa	kg
t	vrijeme	s

POPIS KRATICA

AD – anaerobna digestija

ATEX -ATmosphere Explosible (direktive koji se odnose na eksplozivne atmosfere)

C/N – Omjer ugljika i dušika

DSEAR - The Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations (propisi opasnih tvari i eksplozivnih atmosfera)

ESA - Environmental Services Association (Britnska udruga za zaštitu okoliša)

EU – Europska unija

HDPE - High-density polyethylene (polietilen visoke gustoće)

HRN EN – Europske norme, prihvaćene u Hrvatskoj

ICoP - Industry Codes of Practice (dokumenti za klasifikaciju bioplinskih postrojenja)

LFG – Landfill gas (bioplin s odlagališta)

OIE – Obnovljivi izvor energije

1. UVOD

Načini obrade biorazgradivog otpada su kompostiranje (aerobna obrada) i/ili proizvodnja bioplina (anaerobna obrada). Proizvodnju bioplina smatra se prihvatljivijim načinom oporabe otpada jer kod kompostiranja nema energetskog iskorištavanja otpada. Bioplin je smjesa nekoliko plinova, pri čemu metan i ugljikov dioksid čine 90 % ukupne smjese.

Bioplin iz AD (anaerobne digestije) koristi se u kogeneraciji, a pročišćeni bioplin u transportu. U Europi je najčešće korišten za kogeneraciju dok se u nordijskim zemljama koristi i za pogon vozila javnih poduzeća. Takvo korištenje je vrlo zanimljivo s ekološkog stajališta. Za iskorištavanje toplinske energije iz kogeneracije potrošač ne smije biti previše udaljen.

U bioplinskim postrojenjima može se pojaviti eksplozivna atmosfera. Postrojenja u čijim se radnim procesima javlja eksplozivna atmosfera trebaju ispunjavati sve sigurnosne zahtjeve. U organizaciji bioplinskih postrojenja se unosi sve više planiranih aktivnosti da bi se povećala sigurnost i spriječilo bilo kakva oštećenja i nastajanje kvarova koji mogu biti uzročnici paljenja potencijalno nastale eksplozivne atmosfere. Kvar koji nastane u opremi ne znači odmah i pojavu uzročnika paljenja, ali se kvarovi radi prevencije moraju razmatrati kao potencijalni uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere.

U ovom radu prikazane su opasnosti do kojih može doći na postrojenjima bioplina, zone opasnosti kod dobivanja bioplina iz digestora i dobivanja bioplina s odlagališta te primjeri uređaja i opreme kakvi se koriste kod bioplinskih postrojenja.

2. SVOJSTVA BIOPLINA IZ OTPADA

Bioplin nastaje mikrobiološkom razgradnjom organske tvari, uglavnom u područjima gdje su dostupne organske sirovine. Glavna područja primjene su poljoprivreda, industrija, biootpad i postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda.

Prema tablici 2-1., prosječni sastav bioplina iz digestora se najčešće sastoji od metana (CH_4), ugljikovog monoksida (CO_2), vodene pare (H_2O), sumporovodika (H_2S), dušika (N_2) i vodika (H_2) (Bachmann et al. 2012). Prosječni sastav bioplina s odlagališta otpada ima udio metana od 50 % do 60 % i udio ugljikovog dioksida od 40 % do 50 % dok se ostali spojevi kao i kod bioplina iz digestora javljaju u malim udjelima (Bjelić at al. 2014). U tablicama 2-2. i 2-3. uspoređene su osnovne komponete bioplina s ostalim plinovima.

Tablica 2-1. Prosječni sastav bioplina iz digestora (Bachmann 2012).

Komponenta	Kemijska formula	Udio
Metan	CH_4	50 % do 70 %
Ugljikov dioksid	CO_2	25 % do 45 %
Vodena para	H_2O	zasićeno
Sumporovodik	H_2S	200 ppm do 10000 ppm
Dušik	N_2	0 % do 3 %
Vodik	H_2	0 % do 1 %

Tablica 2-2. Karakteristike sastava plinova (Al Seadi et al. 2008.).

	Jedinica	Bioplin	Prirodni plin	Propan	Metan	Vodik
Toplinska vrijednost	kWh/m³	6	10	26	10	3
Gustoća	kg/m³	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Gustoća (u odnosu na zrak)		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Temperatura paljenja	°C	700	650	470	600	585
Granica eksplozivnosti	Volumen %	6,0 do 12,0	4,4 do 15,0	1,7 do 10,9	4,4 do 16,5	4,0 do 77,0

Tablica 2-3. Karakteristike sastava bioplina (Al Seadi et al. 2008.).

	Jedinica	CH4	CO2	H2S	CO	H
Gustoća	kg/m³	0,72	1,85	1,44	1,57	0,084
Omjer gustoće u odnosu na zrak		0,55	1,53	1,19	0,97	0,07
Temperatura zapaljenja	°C	600	-	270	605	585
Raspon eksplozivnosti	Volumen %	4,4 do 16,5	-	4,3 do 45,5	10,9 do 75,6	4,0 do 77
MDK vrijednost	ppm	nema vrijednost	5 000	10	30	nema vrijednost

2.1. Metan

Metan je plin bez mirisa i boje ili tekućina bez mirisa i boje u svojem kriogenom obliku. Tekućina će brzo ispariti u plin na standardnim temperaturama i tlakovima. Kao plin će djelovati zagušljivo te može izazvati značajne zdravstvene problem živim bićima istiskivanjem kisika iz atmosfere. Treba se koristiti odgovarajuće vjetrenje. Lokalno vjetrenje je poželjno jer smanjuje koncentraciju u prostoru u kojem ispuštanje nastaje. Po potrebi može se instalirati automatski nadzor opreme za otkrivanje prisutnosti potencijalno eksplozivne smjese zrak-plin i razine kisika jer je metan lakši od zraka. Uređaji za mjerenje bi trebali biti instalirani u blizini stropa (AIRGAS 1996).

Među opasnosti koje proizlaze iz prijenosa i korištenja plina iz nekonvencionalnih izvora, kao što su AD (anaerobna digestija), glavni rizik za cjelovitost mreže plina iz biometana je prisutnost viših razina kisika nego što se nalaze u prirodnom plinu. Kada je u kombinaciji s vlagom unutar željeznih cijevi može povećati rizik od korozije. Poznato je da se kod biometana sa sadržajem kisika do 1 % ne očekuje da će utjecati na proces izgaranja u većini sustava. Druga ključna komponenta sustava kontrole rizika proizvođača biometana će biti učinkovito uklanjanje svih drugih nečistoća, kao što su siloksani i jaki mirisi, prije nego što će se plin ubrizgavati u mrežu, a daljnji rad je potrebno dokazati da se to može postići kroz postojeće jedinice za obradu biometana (ADBA 2011).

Prema Marinoviću (2010) metan pripada grupi plinova IIA, temperaturnom razredu T1. Temperatura paljenja metana je 538 ˚C, a temperatura vrelišta -161˚C. Donja volumna granica eksplozivnosti metana je 5,0 % pri 20 ˚C, a gornja volumna granica eksplozivnosti je 15,0 % pri 20 ˚C.

2.2. Ugljikov dioksid

Ugljikov dioksid je plin bez boje, mirisa, okusa te ne gori. Posebna svojstva ugljikovog dioksida su inertnost reakcija te velika topivost u vodi. Prirodni izvori ugljikovog dioksida su prvenstveno vulkanske aktivnosti dok su antropogeni izvor industrijski otpadni plinovi (MESSER 2015).

Ugljikov dioksid obično predstavlja prijetnju za život zbog gušenja, kada istiskuje kisik u zraku do niskih razina. Pri koncentraciji od 15 % predstavlja neposrednu opasnost zbog toksikoškog utjecaja na organizam (Harper 2011).

Ugljikov dioksid nije zapaljiv plin.

2.3. Sumporovodik

Bioplin gotovo uvijek sadrži sumpor u obliku sumporovodika. Taj plin je mirišljav, otrovan i izvor korozije metala i kad izgara u motoru nastaje sumporov dioksid (SO_2). Svi proizvođači motora daju smjernice gdje navode dodatne uvjete za održavanje koji se moraju nametnuti za bilo koju razinu sumporovodika u plinu (ADBA 2011).

Prirodno se javlja kod sirove nafte i prirodnog plina, a može se javiti kod raspada organske tvari od ljudskog i životinjskog otpada. Teži je od zraka te se skuplja u nižim slojevima u zatvorenima i slabo prozračenima prostorima kao što su podrumi, šahtovi, kanalizacijski odvodi te telefonski i električni kanali (OSHA 2015).

Prema Marinoviću (2010) sumporovodik pripada grupi plinova IIA, temperaturnom razredu T3. Temperatura paljenja vodika je 260 ˚C, a temperatura vrelišta -60 ˚C. Donja volumna granica eksplozivnosti ugljikovog monoksida je 4,0 % pri 20 ˚C, a gornja volumna granica eksplozivnosti je 45,5 % pri 20 ˚C.

2.4. Ugljikov monokisd

Ugljični monoksid (CO) antropogeno nastaje nepotpunim sagorijevanjem fosilnih goriva kao što su ugljen, plin, drvo ili sve vrste ulja ili benzina dok u prirodi nastaje šumskim požarima ili erupcijama. Potpunim sagorijevanjem nastao bi samo ugljik (C) i nešto minerala u obliku pepela, ali nepotpunim izgaranjem nastaje ugljični monoksid (CO). Udisanje velikih količina CO je opasno jer smanjuje mogućnost krvi da prenosi kisik po tijelu i to tako da izbacuje kisik u hemoglobinu. Oštećenja u ljudskom tijelu izazvana s CO ne ovise samo o količini već i o vremenu koliko je udisan pa je kod trovanja s CO najvažnije što prije zatražiti liječničku pomoć jer sve dok postoji CO u tijelu on polako guši tijelo. Izloženost nižim koncentracijama liječi se jednostavno davanjem kisika dok se teža otrovanja liječe u tzv. hiperbaričnim komorama (Vitale 2015).

Prema Marinoviću (2010) ugljikov monoksid pripada grupi plinova IIB, temperaturnom razredu T1. Temperatura paljenja ugljikovog monoksida je 605 ˚C,a temperatura vrelišta -191 ˚C. Donja volumna granica eksplozivnosti ugljikovog monoksida je 12,5 % pri 20 ˚C, a gornja volumna granica eksplozivnostije 74,2 % pri 20 ˚C.

2.5. Vodik

Vodik je plin bez boje, okusa i mirisa. Najjednostavniji i najlakši element u svemiru, sastavljen od jednog protona i elektrona. U zemljinoj kori je vodik treći element po zastupljenosti, nalazi se u vodi i u svim organskim spojevima. Zbog njegove energetske gustoće ima prednost pred ostalim gorivima jer jednaka težina vodika sadrži tri puta veću energijsku vrijednost koju ima benzin. Kod samog gorenja ispušta ogromnu energiju, a nusprodukt je čista (gotovo pitka voda). Još jedna velika ekološka prednost je, da kod sagorijevanja ne nastaju staklenički plinovi koji pripomažu zagrijavanju našega planeta. Najveći nedostatak vodika je njegovo dobivanje i skladištenje. (LINDE 2015).

Vodik se dobiva elektrolizom ili katalitičkom reformacijom prirodnog plina (Fišter 2011).

Prema Marinoviću (2010) vodik pripada grupi plinova IIC, temperaturnom razredu T1. Temperatura paljenja vodika je 560 ˚C, a temperatura vrelišta -253 ˚C. Donja volumna granica eksplozivnosti ugljikovog monoksida je 4,0 % pri 20 ˚C, a gornja volumna granica eksplozivnosti je 75,0 % pri 20 ˚C.

3. POSTROJENJA ZA DOBIVANJE BIOPLINA I SIGURNOST NA POSTROJENJIMA

Različiti tipovi biomase mogu se iskoristiti kao supstrat anaerobne digestije. Postupak kodigestije, kada se za process anaerobno digestije upotrebljava homogena mješavina dvaju ili više različita supstrata se najčešće koristi za dobivanje bioplina. Korištenje životinjskih ekskremenata za anaerobnu digestiju ima prednosti jer prirodno sadrže anaerobne bakterije, imaju visoki sadržaj vode (koja služi kao otapalo za druge tvari i omogućuje dobro miješanje s drugim supstratima) te su jeftini i lako dostupni (sakupljaju se kao otpad sa stočarskih gospodarstava). Organski otpad pogodan za biološki tretman je prikazan u tablici 3-1. (Al Seadi et al. 2008).

Tablica 3-1. Organski otpad pogodan za biološki tretman (Al Seadi et al. 2008.)

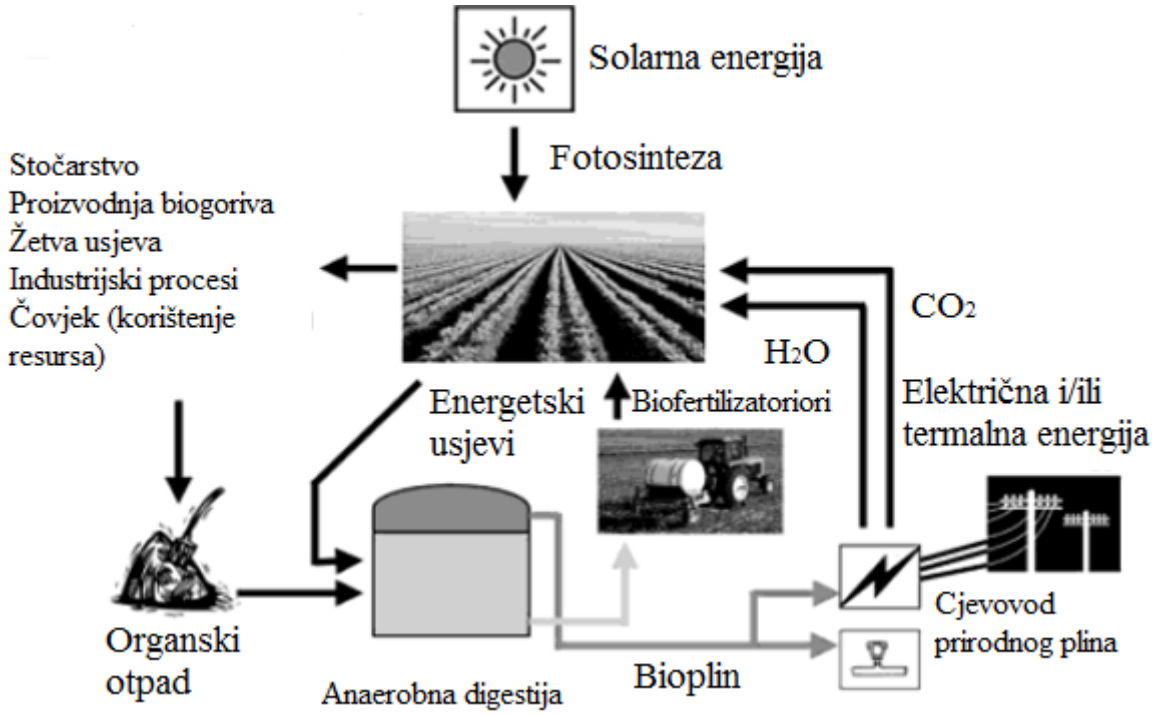
Opis otpada	
Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribarstva, pripremanja i prerade	Otpad iz poljoprivrede, hortikulture, šumarstva, lovstva i ribarstva
	Otpad od pripreme i prerade mesa, ribe i ostalih namirnica životinjskog porijekla
	Otpad od pripreme i prerade voća, povrća, žitarica, jestivih ulja, kakaa, čaja i duhana; otpad od konzerviranja, proizvodnje i ekstrakcije kvasca, pripreme melase i ostaci fermentiranja
	Otpad iz proizvodnje šećera
	Otpad iz mliječne industrije
	Otpad iz pekarske i slastičarske industrije
	Otpad iz proizvodnje alkoholnih i bezalkoholnih pića (osim kave, čaja i kakaa). Otpad iz obrade drva i proizvodnje
Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, celuloze, papira i kartona	Otpad iz obrade drva i proizvodnje panela, furnira i namještaja
	Otpad iz prerade celuloze i proizvodnje papira i kartona
Otpad iz kožarske, krznarske i tekstilne industrije	Otpad iz industrijske prerade kože i krzna
	Otpad iz tekstilne industrije
Ambalaža; apsorbensi, materijali za brisanje i upijanje, filtarski materijali i zaštitna odjeća koja nije specificirana na drugi način	Ambalažni otpad (uključujući odvojeno prikupljani ambalažni komunalni otpad)
Otpad iz uređaja za obradu otpada, gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu	Ostatak nakon anaerobnog tretmana otpada
	Otpad iz procesa obrade otpadnih voda koji nije drugačije specificiran
	Otpad od pripreme vode za opskrbu građana i pripreme industrijske vode
Komunalni otpad (otpad iz kućanstava, trgovine, zanatstva i slični otpad iz proizvodnih pogona i institucija), uključujući odvojeno prikupljene frakcije	Otpad iz različitih frakcija
	Otpad iz vrtova i gradskih parkova (uključujući i otpad s groblja)
	Ostali komunalni otpad

3.1. Bioplin iz digestora

Bioplin dobiven od poljoprivrednog, gradskog i industrijskog otpada može pridonijeti održivoj proizvodnji energije pogotovo kada se očuvani nutrijenti u procesu vraćaju u poljoprivrednu proizvodnju (slika 3-1.). Potrebna je mala potrošnja energije u procesu, a čisto dobivena energija iz proizvodnje bioplina je visoke vrijednosti u odnosu na druge tehnologije za dobivanje energije. Tehnologija za proizvodnju metana je skalarna i primjenjuje se na globalnoj razini u širokom rasponu od organskih otpadnih sirovina najčešće od životinjskog gnojiva (Chrebet i Martinka 2012).

Bioplin nastaje mikrobiološkom razgradnjom organske tvari procesom anaerobne digestije. Proces se odvija u anaerobnim uvjetima odnosno bez prisutnosti kisika. Proces anaerobne digestije provodi se u digestorima ako služi za dobivanje bioplina.

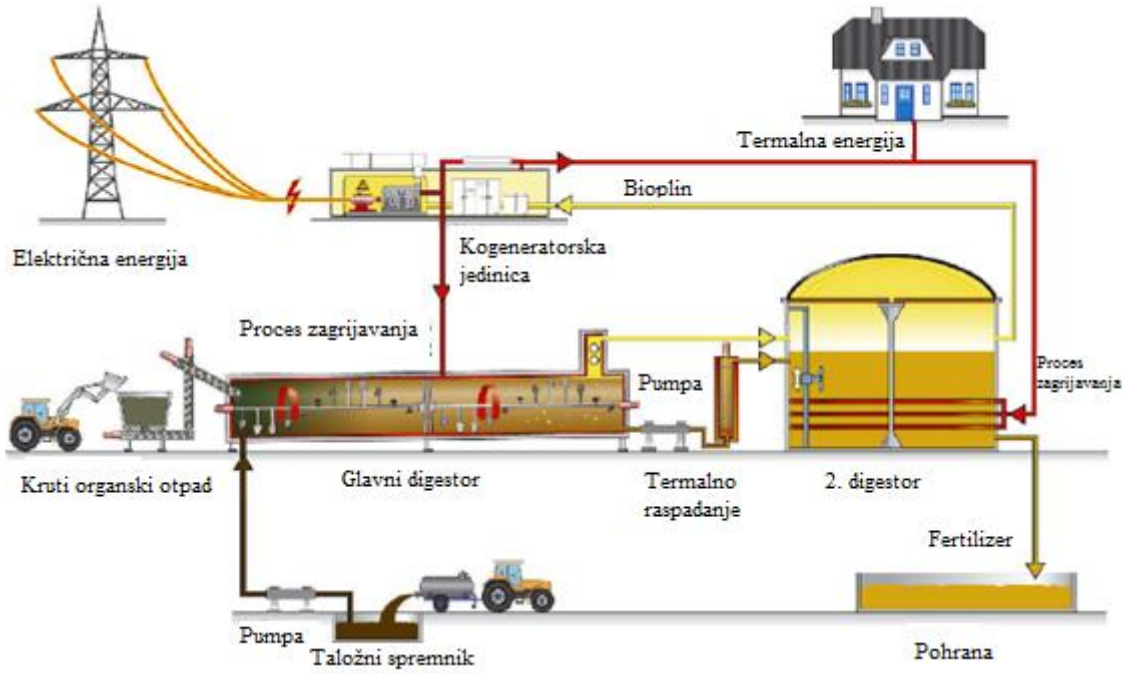
Različite skupine mikroorganizama su uključene u proizvodnju metana te se moraju utvrditi pogodni uvjeti da bi svi mikroorganizmi bili u ravnoteži. Neki od tih parametara koji se moraju utvrditi: pH, temperatura, miješanje, supstrat, C / N (omjer ugljika i dušika) omjer i hidraulično vrijeme zadržavanja. Digestija je spor proces i treba najmanje tri tjedna za mikroorganizme da se prilagode novim uvjetima kada dođe do promjena supstrata ili temperature (Rajendran et al. 2012).



Slika 3-1. Cirkuliranje bioplina (Chrebet i Martinka 2012).

Ovisno o vrsti sirovine, vrijeme retencije varira od nekoliko sati do nekoliko tjedana. U poljoprivrednim digestorima vrijeme retencije najčešće je u rasponu od 60 do 120 dana. Produkti anaerobne digestije su bioplin koji se može iskoristiti za proizvodnju električne energije, toplinske energije i biogoriva te digestat koje je gnojivo s poboljšanim karakteristikama gnojidbe u odnosu na stajski gnoj.

Postrojenja bioplina (slika 3-2.) se sastoje od primarnog spremnika za miješanje, spremnika za dezinfekciju, od jednog ili više toplinskih digestora, digestora za konačnu pohranu te ako je potrebno i od sekundarnog digestora. Nakon što se bioplin proizvede mora se obraditi i skladištiti prije nego što se ponovo koristi. Kogenerator se sastoji od plinskog motora sa toplinskim izmjenjivačem topline i generatorom. Generator na temelju količine bioplinske energije, generira električnu struju s korisnošću od oko 30 % i oko 60 % toplinske energije. Struja se plasira u mrežu, a toplina djelomično služi za zagrijavanje digestera. Višak topline može se koristiti npr. za grijanje stambenih objekata, poljoprivrednih objekata ili za druge proizvodne pogone (CORTEM 2015).



Slika 3-2. Postrojenje za bioplin (CORTEM 2015).

3.1.1. Digestori i spremnici za bioplin

Anaerobni digestori se mogu klasificirati u sljedeće kategorije:jedno stupanjski, više stupanjski i obročni.

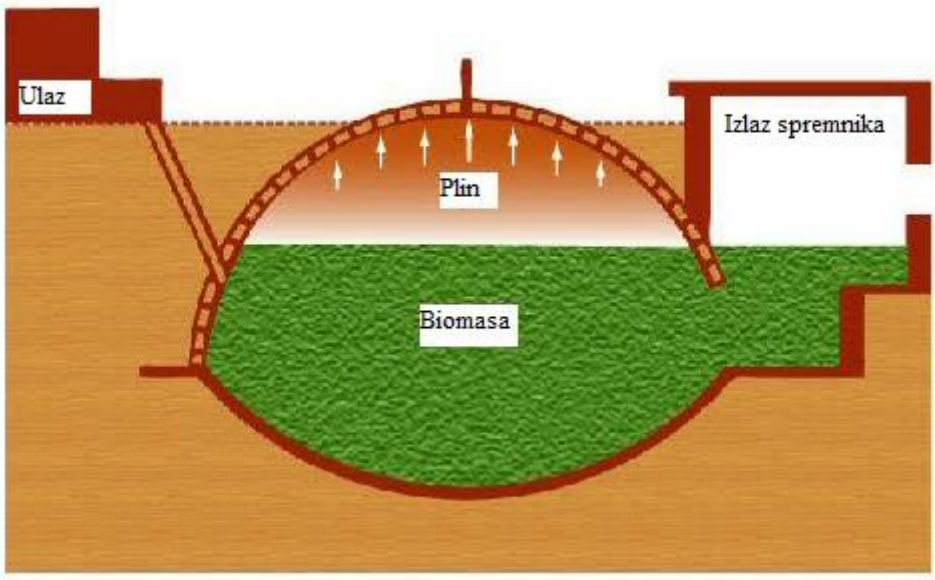
Temperaturni opseg digestije, mezofilne ili termofilne vrste kao i sadržaj čvrste komponente definira koju vrstu reaktora će se koristiti (Monnet 2003).

U većini bioplinskih postrojenja vrijeme zadržavanja biomase iznosi oko 20 dana u anaerobnom reaktoru. U tom vremenu samo dio organske tvari se razgrađuje, a određena količina taloga ostaje koji sadrži više ili manje vode ovisno o primijenjenoj tehnologiji. Ostaci iz mokre fermentacije termofilnih vrste imaju veći sadržaj vode od onih iz mezofilnih ili suhih procesa (Deublein i Steinhauser 2008).

Digestori su oblikovani poput silosa, rovova, bazena ili laguna te se izrađuju od gline, plastike, čelika ili cigle i instaliraju se iznad ili ispod površine tla. U Europi zbog klimatskih uvjeta digestori moraju biti toplinski izolirani i grijani (Al Seadi et al. 2008).

Digestor mora biti projektiran, izgrađen i smješten na način kako bi se uklonili svi izvori paljenja. Ventil na završetku dimnjaka ispušnog motora mora biti udaljen najmanje 3 m od najbližeg izvora plina. To se također odnosi na peć za spaljivanje otpada i ventil bojlera peći gdje postoji minimalna udaljenost između ovih i višenamjenskih peći (BSSS 2013).

Na slici 3-3. prikazan je statički podzemni digestor kakav se koristi u nižim predjelima Himalaje (Indija) zbog toga što podzemna digestorska komora pruža dobru izolaciju od hladnoće (PHGDF 2015).

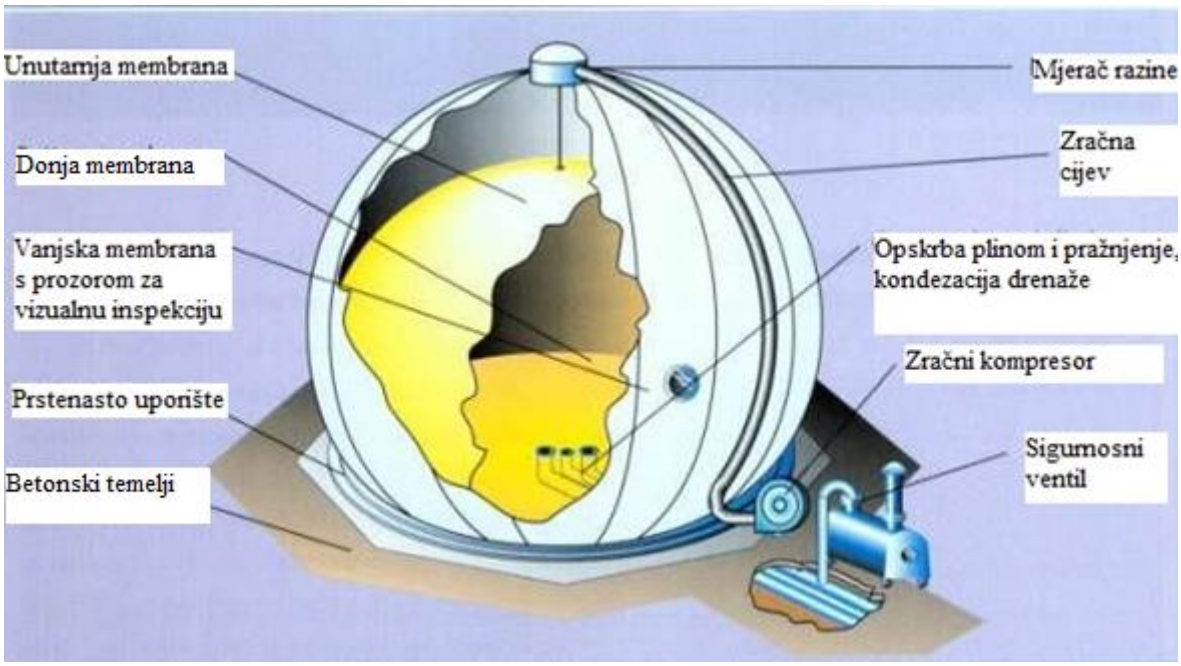


Slika 3-3. Podzemni digestor (PHGDF 2015).

Oprema za skladištenje bioplina mora biti nepropusna za plin, također oprema mora biti otporna na UV-zračenje, temperaturne oscilacije i vremenske nepogode ako je skladištenje bioplina sastavni dio građevinskog objekta.

Prema namjeni, konstruiraju se niskotlačni spremnici s pretlakom manjim od 0,3 bara čija konstrukcija treba omogućiti promjenu volumena plinskog prostora kako bi se kompenzirale razlike u proizvodnji i potrošnji (to se postiže različitim konstrukcijama spremnika) te srednjetlačni i visokotlačni spremnici koji se grade za tlakove do nekoliko stotina bara, kao stabilni, pokretni ili prenosivi. U visokotlačnim spremnicima se plin prije tlačenja u spremniku treba pročistiti i odvlažiti. Plin se tlači pomoću kompresora predviđenog za rad sa zapaljivim i eksplozivnim plinom. Spremnici za bioplin se izrađuju kao tankostjene posude, cilindričnog ili sfernog oblika (Baličević et al. 2013).

Spremnici za bioplin mogu biti integrirani sa digestorom ili odvojeni od digestora. Najveća prednost integriranog spremnika s digestorom su manji troškovi sustava. Na slici 3-4. prikazan je spremnik za bioplin s dvostrukom membranom (Zafar 2015).



Slika 3-4. Spremnik za bioplin s dvostrukom membranom (Zafar 2015).

3.2. Bioplin s odlagališta otpada (LFG)

LFG (Landfill gas) je plin dobiven raspadanjem, većinom organske tvari, otpada na odlagalištu.

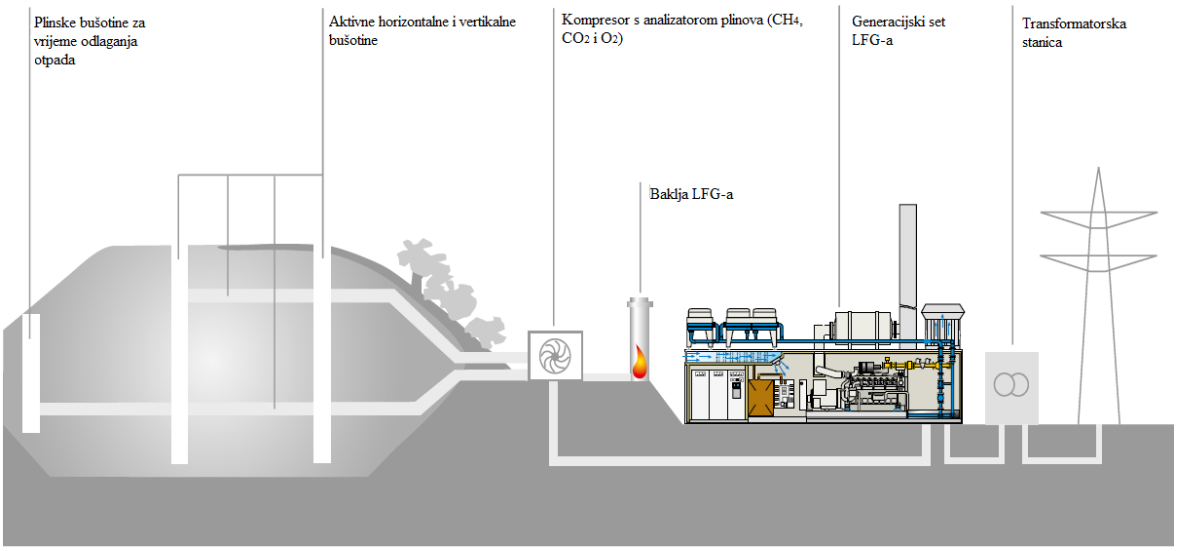
Aktivnosti na odlagalištu uključuju događaje na zemlji za polaganje otpada na način siguran za okoliš. Otpad se obično odlaže u odvojenim ćelijama koje su napunjene sa zbijenim otpadnim materijalima koji se postupno pokrivaju i zatim zapečaćuju sa trajnim pokrovom. Biorazgradivi materijali degradiraju otpuštanje odlagališnog plina koji se uglavnom sastoji od metana i ugljičnog dioksida. Odlagališni plin se prikuplja za izgaranje i pretvorbu energije (ESA ICOP 1 2005).

Otpad iz kućanstava sadrži značajan dio organskih frakcija (30 % do 50 %) . To može biti koristan resurs ako se organska frakcija može koristiti za proizvodnju električne energije. Današnja odlagališta komunalnog otpada stvaraju bioplin i procjedne vode. Zbog količine otpada, proizvodnja bioplina predstavlja vrlo obećavajući način da se riješi problem otpada. Nadalje, čvrsti reziduali fermentacije mogu se ponovno koristiti kao gnojiva. Plin s odlagališta (LFG) je mješavina vode zasićena s plinom koja sadrži 40 % do 60 % metana, a ostatak uglavnom čini ugljični dioksid (CO_2). LFG sadrži različite količine dušika, kisika, vodene pare i stotine drugih onečišćivača. Anorganski onečišćivači također znaju biti prisutni u LFG-u (Asgari et al. 2011).

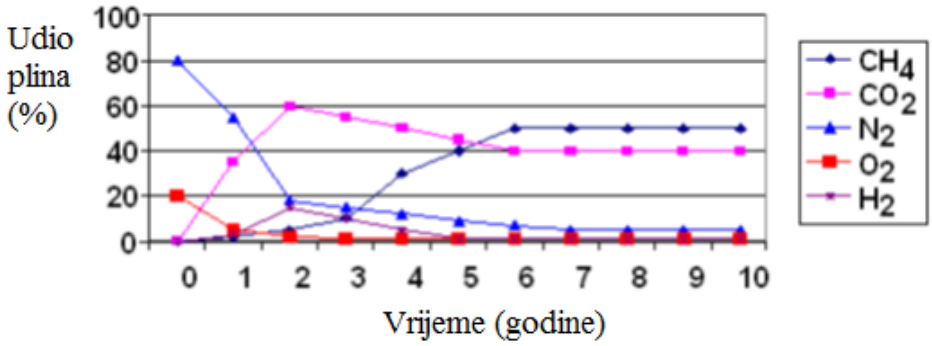
Na proizvodnju bioplina u odlagalištu utječe nekoliko faktora: dostupnost kisika, pH, lužnatosti, hranjive tvari, inhibitori, temperatura i sadržaj vode. Nedostatak kisika je temeljni uvjet za rast anaerobnih bakterija. Metanogene bakterije zahtijevaju vrlo niske redoks potencijale (manje od -330 mV). Također je važan pH raspon, budući da metanogene bakterije rade s najvećom učinkovitošću pri pH između 6 i 8. Te bakterije su vrlo osjetljive na varijacije pH što u različitim operativnim uvjetima može dovesti do niske konverzije H_2 i octene kiseline, s posljedičnim nakupljanjem hlapljivih organskih kiselina i posljedično smanjenje pH, što može zaustaviti proces. Anaeroban ekosustav zahtjeva odgovarajući omjer dušika i fosfora. Ako postoji interes za iskorištavanje bioplina za energetske svrhe, prisutnost inhibitora poput sulfata, ugljičnog dioksida, amonijaka, natrija, kalija, kalcija, magnezija i nekih organskih spojeva treba izbjegavati na odlagalištu. Dodatni važni čimbenik je temperatura: laboratorijska iskustva su pokazala da će porast temperature od 20 °C do 30 °C i 40 °C znatno podići generacijsku stopu metana. Primijećeno je da temperatura izvana na određenoj dubini odlagališta utječe samo na egzotermne fermentacijske reakcije otpada (Rada et al. 2015).

Odmah nakon što je otpad stavljen u odlagalište započinje aerobna razgradnja organskog otpada. Nakon što se iscrpi kisik, započinje anaerobna razgradnja. Bioplin koji ima sadržaj metana od približno 50 % može se koristiti za proizvodnju goriva. LFG postrojenje (slika 3-5. prikazuje predloženi primjer tvrtke *Maxwatt energy system*) sastoji se od sanacijskog sustava i proizvodnog sustava. Sanacijski sustav može se sastojati od vertikalnih perforiranih bušotinskih cijevi, horizontalne perforirane cijevi ili jaraka ili prekriti membranom za skupljanje generiranog plina (Karapidakiset al. 2010).

Anaerobna razgradnja će trajati sve dok se sve hlapive organske kiseline ne potroše ili dok se kisik ne uvede uotpad. Slika 3-6. prikazuje LFG sastav u odnosu na vrijeme za aerobnu i anaerobnu razgradnja otpada s odlagališta (U. S. Army Corps of Engineers 2008).



Slika 3-5. Postojenje za dobivanje LFG (MWE 2015).



Slika 3-6. LFG sastav u odnosu na vrijeme za aerobnu i anaerobnu razgradnja otpada s odlagališta (U. S. Army Corps of Engineers 2008).

3.3. Sigurnost na postrojenju bioplina

Sigurnost bioplinskih postrojenja se postiže udovoljavanjem EU (Europska Unija) direktivama, normama, zakonima i propisima kod projektiranja, izvedbe i održavanjem takvih postrojenja.

Graditelji bioplinskih postrojenja moraju osigurati sukladnost sa strogim sigurnosnim propisima. Obrada, upravljanje uređajima, a posebno komprimiranje eksplozivnog biometana do potrebne opskrbe tlaka zahtijeva mnogo iskustva i uključuje stroge zakonske propise (SDOB 2013).

Tijekom projektiranja i za vrijeme rada bioplinskog postrojenja moraju se provoditi posebne mjere jer je rizik od požara i eksplozije velik u blizini digestora i skladišta bioplina (Al Seadi et al. 2008).

Najvažniji, ali ne i jedini dokumenti protupožarne i PEX zaštite su ATEX direktiva te norma HRNEN 60079-10 i uputa ICoP koje se koriste pri klasifikaciji prostora.

3.3.1. ATEX direktive

Postoje dvije ATEX direktive (**AT**mosphere **EX**plosible), koji se odnose na eksplozivne atmosfere. Direktivom 1999/92/EZ (također poznata kao 'ATEX 137' ili 'ATEX direktive radnog mjesta') uvjetuje poboljšanje zaštite zdravlja i sigurnosti radnika koji su potencijalno ugroženi od eksplozivne atmosfere te Direktivom 94/9/EZ (također poznata kao 'ATEX 95' ili 'ATEX direktiva opreme') o usklađivanju zakona država članica u vezi s opremom i zaštitnim sustavima namijenjenim za uporabu u potencijalno eksplozivnoj atmosferi. Prostori s rizikom od eksplozije klasificiraju se u zone u skladu s vjerojatnošću pojave opasne eksplozivne atmosfere. Ako se opasna eksplozivna atmosfera može pojaviti u prostoru, cijeli prostor može se smatrati ugroženim od eksplozije (Chrebet i Martinka 2012).

Norma HRNEN 60079-10 je opća norma za klasifikaciju prostora. Za posebne primjene postoje i dodatni dokumenti koji daju više smjernica za klasifikaciju posebnih vrsta prostora.

3.3.2. ICoP

Za klasifikaciju bioplinskih postrojenja postoji niz od pet dokumenata ICoP (**I**ndustry **C**odes of **P**ractice) izdani od strane britanske organizacije ESA (**E**nvironmental **S**ervices **A**ssociation). Namjera ICoP-ova je da omoguće upravitelju postrojenja poduzeti procjenu stanja postrojenja prije izgradnje te daju upute kako postrojenje treba biti projektirano, izvedeno i održavano u skladu sa zakonom. Upravitelj preuzima odgovornost za postrojenje, ali može odlučiti da se delegira odgovornost na drugu osobu ili tim te kada želi može zatražiti pomoć od treće strane (ESA ICOP 1 2015).

Osnova PEX zaštite je klasifikacija prostora. Klasifikaciju prostora trebaju provoditi osobe koje imaju znanja o svojstvima plinova koji se javljaju na postrojenju te poznaju procese i opremu. Predlaže se konzultacija sa drugim projektantima inženjerske struke (ESA ICOP 2 2005).

ICoP daje smjernice za razvrstavanje prostora u kojima se može pojaviti eksplozivna plinska atmosfera na bioplinskim postrojenjima te se takvi prostori označuju s zonama 0, 1 i 2. Klasifikaciju prostora treba napraviti kada su dostupni i potvrđeni početni podaci o procesu, nacrti instrumentacije i početni nacrti postrojenja prije početka rada postrojenja. Tijekom životnog vijeka postrojenja trebaju se ažurirati podaci ako dolazi do promjene projekta.

Primjer metode za bilježavanje podataka i razvrstavanje prostora prikazan je u Prilogu 1. Uporaba predloška nije obvezna, ali je prema ICoP-u korisno na mjestima gdje je potrebno provesti protueksplozijsku zaštitu (ESA ICOP 2 2005).

3.4. Opasnosti na postrojenju bioplina

3.4.1. Opasne komponente

Ako je potrebno miješanje različitih materijala iz operativnih razloga, ne bi smjeli biti u kombinaciji koja generira opasnu koncentraciju plina čija reakcija može izazvati nesreću (npr. kisela-bazna reakcija, velike razlike u temperaturi). Posebice, vodikov sulfid koji se može osloboditi zbog dodavanja kiselih komponenti, amonijak se može osloboditi dodavanjem alkalnih sastojaka (Maciejczyk 2014).

Anaerobna digestija oslanja se na mješovitu populaciju bakterija uglavnom nepoznatog podrijetla, ali često otpada i životinjski otpad. Pri obavljanju procesa obrade otpada treba poduzeti mjeru za izbjegavanje kontakta sa sadržajem fermentatora i temeljito se oprati nakon rada oko digestera (osobito prije jela ili pića) (Chrebet i Martinka 2012).

Sanitarne mjere su: kontrola zdravlja stoke (odvojiti životinjsko gnojivo i gnojnicu od stoke koja ima zdravstvenih problema); kontrola sirovine (vrste biomase s visokim rizikom od onečišćenja patogenim organizmima moraju biti isključene iz anaerobne digestije); razdvajanje prije saniranja specifičnih kategorija sirovina je obavezna (propisano je prema Europskoj uredbi EC 1774/2002 koja ovisno o kategoriji nalaže pasterizaciju sirovine na 70 °C tijekom jednog sata ili sterilizaciju pod tlakom na minimalno 133 °C u trajanju od najmanje 20 minuta pod apsolutnim tlakom pare od minimalno 3 bara); kontroliranje provođenja zdravstvenih mjera (u slučaju sirovina koje u skladu s Uredbom EC 1774/2002 ne zahtijevaju odvojenu prethodnu sanaciju, kombinaciju temperature procesa anaerobne digestije i minimalnog garantiranog vremena retencije će osigurati učinkovitu patogenu redukciju/inaktivaciju u digestatu); kontrola patogenih redukcija u digestatu upotrebom indikatorskih organizama (učinkovitost redukcije patogena se ne smije pretpostaviti, mora provjeriti pomoću jednog od akreditiranih metoda pokazatelja organizma) (Maciejczyk 2014).

3.4.2. Nesreće uzrokovane električnim instalacijama

Uzroci nesreća su neispravni električni uređaji ili električki vodovi, neispravna zaštita od groma ili neispravne električne instalacije (Maciejczyk 2014).

Prostori oko električnog ožičenja i upravljačkih elemenata se nadziru s opremom za detekciju plina. Sustav za detekciju plina projektira se tako da isključuje napajanje opreme

koja se štiti kada koncentracija dosegne 40 % od donje granice eksplozivnosti. Opasni prostori sadrže opremu poput električno pogonjenog miksera digestora koji je ugrađen kroz stjenku digestora, kućišta za svjetiljke, senzori procesne instrumentacije i instrumente za detekciju zapaljivih plinova (BSSS 2013).

U slučaju električnog požara, osoba koja gasi požar treba koristiti ABC klasificirani višenamjenski aparat za gašenje požara, a ne gasiti požar na bazi vode, što bi moglo dovesti do strujnog udara. Ako je moguće, struju treba isključiti na objektu prije gašenja požara. Operateri u postrojenju trebaju prepoznati razliku između električnih požara i običnih zapaljivih požara (EPA 2011).

3.4.3. Rizik od požara

Kako bi se smanjio rizik od požara, postrojenje je podijeljeno na sektore zaštite od požara. Moraju se održavati određene udaljenosti između sektora zaštite od požara kao što je prikazano u tablicama 3-2., 3-3. i 3-4. Ovisno o tome koliko je prostora dostupno materijali vanjskih zidova zgrade sadrže protupožarnu opremu ili zaštitu za zidove (Chrebet i Martinka 2012).

Tablica 3-2. Sigurne udaljenosti površinskih i podzemnih fiksiranih spremnika plina (Chrebet i Martinka 2012).

Volumen plina po spremniku	m^3	do 300	300 do 1500	1500 do 5000	više od 5000	Zidni materijal
Udaljenost	m	6	10	15	20	ostali materijali, klasa B
Udaljenost	m	3	6	10	15	negorivi, klasa A
Udaljenost	m	5	5	6	10	požarni retardanti, zadržavanje pare

Tablica 3-3. Sigurne udaljenosti podzemnih i tlom prekrivenih spremnika plina (Chrebet i Martinka 2012).

Volumen plina po spremniku	m^3	do 300	300 do 1500	1500 do 5000	više od 5000
Udaljenost	m	3	6	10	15

Tablica 3-4. Sigurne udaljenosti spremnika plina oko jastučastog ili balonskog oblika kao i oko pokrova (*foil hoods*) za zadržavanje plina iznad skladišta tekućeg gnojiva i bioreaktora (Chrebet i Martinka 2012).

Volumen plina po spremniku	m^3	do 300	300 do 1500	1500 do 5000	više od 5000
Udaljenost	m	4,5	10	15	20

Uzročnici paljenja eksplozivne atmosfere definirani su u normi HRN EN 1127-1. Današnja metodologija protueksplozijske zaštite uočava da se električni uređaji koji su prikazani u normi HRN EN 1127-1, smatraju samo kao jedan od mogućih uzročnika paljenja te navodi se niz drugih koji su vezani za opremu poput gdje se stvaraju vruće površine, mehaničke iskre, adijabatska kompresija, plamen i vrući plinovi, statički elektricitet i dr. Također uzročnici paljenja su vezani za prirodne pojave npr. atmosferska pražnjenja (Rumbak 2010).

Pušenje i otvoreni plamen treba zabraniti u općoj blizini fermentatora na udaljenosti od 25 do 50 metara kao i za sve moguće izvore paljenja smanjiti potencijal od požara ili eksplozije. Izvori paljenja mogu biti prekidači za svjetlo, elektromotori, plamenici i mobiteli. Područje za pušenje treba biti udaljeno najmanje 50 metara od sustava digestora kako bi se osiguralo da posjetitelji i zaposlenici slučajno ne stvore izvor paljenja. Također, trebaju se koristiti znakovi kao što je prikazano na slici 3-7. kako bi se upozorilo sve pojedince na rizik od eksplozije ili rizik požara povezanog sa sustavom AD (EPA 2011).



Slika 3-7. Znak upozorenja od požara i eksplozije (EPA 2011).

U Velikoj Britaniji u prijelaznom razdoblju zaprovedbu ATEX direktive o zaštiti radnika koristio se DSEAR (The **D**angerous **S**ubstances and **E**xplosive **A**tmospheres **R**egulations) koji propisuje od poslodavaca da smanji rizik koliko je to razumno izvedivo. Predlaže se zamjena zapaljivih materijala s nezapaljivima, ali to je često nepraktično u industriji gospodarenja otpadom. Smanjenje količine zapaljivih materijala na mjestu isto tako nije praktično i u slučaju detekcije zapaljivih prašina, ne treba značajno smanjiti rizik jer opasnosti od eksplozije nastaje samo kada prašina nastaje transportom ili se koristi u procesu. U tablici 3-5. prikazani su mogući izvori paljenja koji će biti mogući u industriji gospodarenja otpada (ESA ICOP 1).

Tablica 3-5. Mogući izvori zapaljenja u industriji gospodarenja otpadom (ESA ICOP 1 2005).

Izvor paljenja	Moguće kontroliranje
plamen (npr. pušenje ili zavarivanje)	Nadzor od strane stručnog osoblja, uklanjanje zapaljivih stvari, dozvola za vruće radove, zabrana pušenja na određenim dijelovima postrojenja.
Iskre i vruće površine iz električne opreme	Prigodna i zaštićen oprema, dizajnirana za uporabu u opasnom prostoru ili na drugi način ocijenjena kao sukladana.
Elektrostatski izboj - oprema	Uzemljenje se ostvaruje kao sastavni dio željezne strukture zgrade. Povezivanje na zemlju nije potrebno u normalnim uvjetima, ali može biti potrebno za dijelove koji se nalaze na nevodljivim strukturama
Elektrostatski izboj - osoblje	Unatoč činjenici da moderna odjeća izrađena od sintetičkih tkanina, može lako postati elektrostatički nabijena što nije u cjelini rizik za paljenje pod uvjetom da je nositelj uzemljen pomoću prikladne obuće i površine po kojoj hoda. Međutim, odjeća treba biti što prikladnija za prostore u kojima bi moglo biti eksplozivne atmosfere.
Munja	Zgrade u opasnim prostorima trebaju biti opremljene zaštitom od udara munje.
Iskre i vruće površina koje proizlaze iz inženjerskih djelatnosti	Treba imati dozvolu za rad sustava u takvim djelatnostima.
Kemijske reakcije	Neočekivane egzotermne ili druge potencijalno silovite reakcije se vjerojatno neće dogoditi u industriji gospodarenja otpadom, ali tu mogućnost treba razmotriti.
Ultrazvuk	Vjerojatno neće biti prisutan; ako je prisutan, vjerojatno neće biti na energetskoj razini dovoljnoj da izazove paljenje.

3.4.4. Zaštita vode

Velika opasnost za okoliš nastaje kada voda, zbog s tlaka u postrojenju ili kontaminirana voda oborina, prodiru u tlo ili još gore dođu do podzemne vode. Glavni uzroci mogu biti: nedovoljno zategnuto tlo unutar tvornice/postrojenja; pukotine u spremnicima i/ili u kućištu radilice; korozija cjevovoda (Chrebet i Martinka 2012).

Nova bioplinska postrojenja koja koriste materijal iz poljoprivrede u prostorima zaštite voda smiju imati spremnik volumena od maksimalno 3000 m^3. Postojeća bioplinska postrojenja ne mogu povećati spremnik (volumen), samo kapacitet pohrane digestata.

Svako bioplinsko postrojenje mora skladištiti digestat vise od 9 mjeseci. Svako novo biopostrojenje treba bedem dok postojeća postrojenja moraju izgraditi bedem u roku 5 godina. Bioplinska postrojenja imaju obavezu napraviti reviziju, voditi podatke o detekciji curenja (kod digestor i cijevi) te podatke o zadržavanje kišnice. Specijalizirana tvrtka za izgradnju provjerava primjenjivosti za objekte koji se koriste za skladištenje (Maciejczyk 2014).

3.4. 5. Buka

Zaštita od buke provodi se prema Zakonu o zaštiti od buke, Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, Pravilniku o uvjetima glede prostora, opreme i zaposlenika pravnih osoba koje obavljaju stručne poslove zaštite od buke, Pravilniku o stručnom ispitu iz područja zaštite od buke, Pravilniku o mjerama zaštite od buke izvora na otvorenom prostoru i Pravilniku o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (ZDRAVLJE 2015).

Izloženost visokim razinama buke može dovesti do nezadovoljstva osoblja ili kratkotrajnog gubitka sluha osoblja. U ekstremnim slučajevima ili ako se izloženost buci javlja tijekom dugog vremenskog razdoblja, može se dogoditi trajni gubitak sluha osoblja. Postrojenje je dužno imati uređaj za zaštitu od buke, kao što su slušalice za zaposlenike i posjetitelje koji su izloženi visokim razinama buke. Ručni zvukomjeri su široko dostupni i pružaju jeftin način za brzo određivanje razine buke. Također, poželjno je imati znakove koji upućuju na zaštitu sluha kao što je prikazano na slici 3-8. (EPA 2011).

Najintezivnija buka u prostoru bioplinskih postrojenja je u blizini plinskog motora te kod ispušnih cijevi i ventilacijskih otvora. U blizini kogeneracijskih postrojenja premašuju se granične vrijednosti od 80 dB za radna mjesta (Chrebet i Martinka 2012).



Slika 3-8. Znak upozorenja od buke (EPA 2011).

3.5. Sigurnost i zaštita ljudi

Upravitelji postrojenja trebaju osigurati da su svi radnici upoznati sa sigurnosnim procedurama ii da vanjski izvođači budu potpuno svjesni rizika prije ulaska u prostor. Izvođači moraju biti upozoreni na moguću prisutnost opasnih količina odlagališnog plina pri određenim aktivnostima. Informacije treba priopćiti u fazi ugovaranja kao i kada se izvođači pojave na lokaciji. Pristup lokaciji bez pratnje treba biti odobren od upravitelja postrojenja.

Tvrtke koje koriste odlagalište otpada trebaju biti upoznate sa sigurnosnim procedurama koje su relevantne za njihovo djelovanje. Postoji niz opasnosti od eksplozije povezane sa aktivnostima na odlagalištima otpada najčešće zbog nužne upotrebe vozila ponekad u potencijalnim prostorima otpuštanja odlagališnog plina (ili drugih zapaljivih tvari poput aerosola). Rute pristupnih cesta su napravljene da vozila izbjegnu voziti preblizu ili kroz prostore zona opasnosti.

Posjetitelji su svi oni koji ne sudjeluju u radu, ali koji mogu razgledati lokaciju. Opasnost od eksplozije nije glavni rizik za posjetitelje, budući da vozila ili strojevi predstavljaju daleko veći rizik. Također, pristup lokaciji bez pratnje treba biti odobren od upravitelja postrojenja.

Necertificirana prijenosna oprema (kao što su mobilni telefoni, PAT testeri, ručni instrumenti za uzorkovanje, oprema za ispitivanje, itd.) predstavljaju velik problem. U zonama 0 i 1 ne smije se unositi takva oprema čak i ako je isključena. Iako postoji oprema koja je namijenjena za uporabu u zoni 2, zna se dogoditi da krajnji korisnik nije educiran

za procijenu što smije unositi. Također, dopušteno je korištenje necertificirane opreme u opasnim prostorima pod uvjetom da je prostor bez eksplozivne atmosfere. Necertificirana oprema se može koristit pod uvjetom da postoji kontinuirani monitoring plina ili drugi prikladan način da se osigura da radnik i povezana električna oprema ne dolaze u kontakt sa potencijalnom eksplozivnom atmosferom.

Određenu osobnu električnu opremu radnici mogu nehotice unijeti u opasan prostor i treba voditi računa da se to ne dogodi. Neka od te opreme može biti: digitalni ručni sat, daljinski upravljač (ključ vozila), elektrostimulator srca (s baterijom ispod kože), slušni aparat, radio, elektronički organizator, radio stanica, kamera te mobilni telefon (ESA ICOP 5 2007).

3.5.1. Antistatička oprema

Uobičajena antistatička oprema koja se koristi su antistatičke cipele ili čizme sa unutrašnjom zaštitom za prste, zaštita za oči, čvrsta kaciga, prsluk ili jakna visoke vidljivosti, sredstva za zaštitu od buke te osobni plinski monitori.

Antistatičku obuću i odjeću potrebno je koristiti kada se utvrdi rizik da je neophodna. Obuća koja se koristi na površini koja nema visoki izolacijski otpor, poput betona i zemlje, je općenito dovoljna za korištenje u prostorima u kojima se javljaju zapaljiv plin ili pare. Kada se obavlja rad u opasnom prostoru minimalni je zahtjev da se koristi antistatička obuća, osim ako postoji relevantna dozvola da se ne koristi ili gdje postoji niski rizik od elektrostatskog udara. Antistatička obuća potencijalno je neučinkovita pri hodanju po HDPE geomebrani ili po drugoj izolacijskoj površini. HDPE (**H**igh-**d**ensity **p**olyethylene) je polietilen visoke gustoće (ESA ICOP 5 2007).

Na slici 3-9. prikazana je antistatička kuta tvrtke Recco koja pruža zaštitu od elektrostatičkog izboja te udovoljava standardima norme HRN EN 1149-5 i ima CE certifikat sukladnosti (RECCO 2015).



Slika 3-9. Antistatička kuta (RECCO 2015).

3.5.2. Utapanje

Spremnici za tekućinu i jame za pohranu mogu predstavljati prijetnju od utapanja. Kad god postoji mogućnost od utapanja, plutače, konopi ili ljestve bi trebali biti na raspolaganju. Najveći rizik od utapanja se pojavljuje kada zaposlenici servisiraju opremu koja se nalazi u fermentatorima ili spremnicima. Do slučajnog utapanje može doći kada ljudi koji nisu upoznati s farmom i sustavom za upravljanje gnojivom pogrešno uđu u strukture za skladištenje. Proklizavanje na sintetičkim oblogama ili hodanje na rubu skladišta gnoja su primjeri situacije koje mogu dovesti do slučajnog utapanja (EPA 2011).

3.6. Bioplin u Hrvatskoj

Dobivanje bioplina je jasno objašnjeno u zakonodavnim dokumentima za čiju su primjenu odgovorne različite institucije. Korištenje OIE (obnovljivih izvora energije) je od nacionalnog interesa Republike Hrvatske te Zakon o energiji prepisuje korištenje OIE (Al Seadi et al. 2008).

Prema Zakonu o energiji bioplin ima značenje obnovljivog izvora energije te se smatra plinom. Energetski objekti, uključujući i opremu pod tlakom unutar energetskih objekata, postrojenja, vodovi i priključci na mrežu te postrojenja i instalacije kupaca moraju biti u skladu sa propisanim zahtjevima i uvjetima za sigurnu i kvalitetnu opskrbu energije i to za vrijeme projektiranja, proizvodnje opreme, građenja, ispitivanja i potvrđivanja sukladnosti, pokusnog rada i prvog stavljanja u uporabu, obavljanja energetske djelatnosti i korištenja energije, odnosno pogona i održavanja (Zakon o energiji, NN br. 120/2012).

U Republici Hrvatskoj je do 30.9.2012. godine izgrađeno više bioplinskih postrojenja. Nalaze se u Osječko-baranjskoj županiji (šest postrojenja), u Vukovarsko-srijemskoj županiji (tri postrojenja), u Koprivničko-križevačkoj županiji (dva postrojenja), u Zagrebačkoj županiji (dva postrojenja), u Virovitičko-podravskoj županiji (jedno postrojenje), u Sisačko-moslavačkoj županiji (jedno postrojenje), u Splitsko-dalmatinskoj županiji (jedno postrojenje) te u Bjelovarsko-bilogorskoj (jedno postrojenje) (AGROKLUB 2012).

Proizvodnja i iskorištavanje bioplina u Hrvatskoj je sve do 2007. godine bio nerazvijen sektor kada je donesen podzakonski akt gdje su definirani tarifni sustavi za povlaštene proizvođače (Horvatović at al. 2013). Prvo bioplinsko postrojenje u Hrvatskoj je smješteno na zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševac. BIO MOTO d.o.o. je tvrtka odgovorna za upravljanje i održavanje postrojenja. Instalirana snaga postrojenja je 2036 kW s godišnjom proizvodnjom od oko 7,5 milijuna kWh koji nastaju iz odlagališnog plina. Pogon je započeo s proizvodnjom krajem 2003. uz investiciju od oko 3,8 milijuna €. Ova elektrana pokazuje primjer korištenja urbane biomase gdje odlagalište ima 47 cijevi za sakupljanje plinova koji nastaju razgradnjom otpada i prenose ih u elektranu. Plinovi se razlikuju po kvaliteti i kvantiteti, ali u prosjeku se sastoje od 50 % do 60 % metana, 29 % do 35 % ugljičnog dioksida i nešto kisika. Cijevi sakupe oko 700 kubičnih metara plina dnevno. Plinovi pogone generator koji je prilagođen različitim kvalitetama bioplina. No, kako bi se smanjile varijacije u kvaliteti bioplina, on se djelomično prerađuje (odstranjuje mu se vlaga) prije nego što uđe generator (Kulišić 2009).

U Hrvatskoj su provedena istraživanja na bioplinskom laboratorijskom postrojenju na Agronomskom fakultetu. Sirovine u ovom istraživanju bile su goveđi gnoj, kukuruzna silaža, sjenaža i mješavina jednakih omjera (1/3) svih sirovina. Svaka istraživana sirovina analizirana je u tri ponavljanja, u jednakom vremenskom razdoblju (35 dana) i temperaturi fermentacije (35 °C), pri mezofilnim uvjetima. Provedenim istraživanjima utvrđeno je da

se produkcija bioplina najbolje ostvarivala kod kukuruzne silaže, dok je njegov sastav, s energetsko-ekološkog stajališta, bio prihvatljiv u svim istraživanim uzorcima. Fermentirani ostatci, koji su blago alkalni, sadrže niske udjele suhe tvari od koje je približno 70 % organska tvar. Analizom N:P:K (omjer dušika, fosfora i kalija), vrijednostima biogenih elemenata i teških metala može se zaključiti da se fermentirani ostatci svih ulaznih sirovina mogu primijeniti u poljoprivrednoj proizvodnji (Bilandžija at al. 2013).

Kada se govori o bioplinu i njegovoj proizvodnji, sektor stočarstva se nameće kao jedan od najizglednijih. Isto tako, zbog velike proizvodnje gnojiva, ali i samih enteričkih procesa ovaj sektor predstavlja značajan izvor stakleničkih plinova. Upravo proizvodnja bioplina predstavlja jedan od koraka smanjenja emisija stakleničkih plinova. Hrvatski stočarski sektor prilično kaska za onim europskim, što je posljedica sustavnog neulaganja, ne samo u sektor stočarstva, nego i sektor poljoprivrede generalno. U posljednjih par godina vide se pomaci u načinu ulaganja gdje se grade nove i moderne farme koje zadovoljavaju visoke standarde proizvodnje te se na njima može organizirati ekonomski isplativa proizvodnja električne i toplinske energije iz bioplina. Naravno sve to nije dovoljno kako bi Hrvatska iskoristila sve svoje potencijale, pogotovo ako se uzme u obzir da u Hrvatskoj još masovno nisu rasprostranjena bioplinska postrojenja. Upravo zbog toga, postavlja se pitanje koji je pravi tehnički potencijal u proizvodnji bioplina, odnosno topline i električne energije iz bioplina za sektor stočarstva u Hrvatskoj. Kroz rad Pukšeca i Duića (2010) predstavljena je metodologija izračuna samog potencijala koja je primjenjiva za svaku individualnu farmu te sami potencijali za obiteljska gospodarstva i velike farme. Sam izračun je napravljen za dva najisplativija sektora, a to su: govedarstvo i svinjogojstvo. Najveći izazov je prikupljanje kvalitetnih podataka te razdvajanje malih obiteljskih gospodarstava i većih farmi na kojima bi proizvodnja bioplina mogla biti ekonomski isplativa. Budući da farme u svojem svakodnevnom radu troše velike količine energije dio te energije bi mogle kompenzirati ili u potpunosti zamijeniti iz obnovljivih izvora energije te je zato dobro znati koliki su realni potencijali za bioplin usektoru stočarstva u Hrvatskoj.

4. PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA

Opasnost od eksplozije mora se utvrditi i ocijeniti. Konkretno, mora se utvrditi gdje potencijalno može doći do eksplozivne atmosfere. Potencijalno eksplozivni prostori moraju se svrstati u zone opasnosti. Dokument opasnih zona potrebno je imati na svim bioplinskim postrojenjima.

Dokument protueksplozijske zaštite (Ex dokument) mora biti dovršen prije puštanja u pogon postrojenja. Osnovni zahtjevi koje sadrži dokument protueksplozijske zaštite su identifikacija opasnosti, otkrivanje opasnosti od eksplozije i procjena eksplozivne atmosfere, određivanje prostora tj. zona s potencijalno eksplozivnom atmosferom, definiranje kriterija prema kojima se radni alati smiju koristiti zonama prema direktivi 94/9/EC, određivanje mogućeg izvora zapaljenja, definiranje mjera pomoću kojih se može spriječiti ugrožavanje ili koje treba poduzeti kako bi se odgovorilo na opasnost te procjena učinka eksplozije gdje je potrebno, procjena rizika i mjera za smanjenje rizika, definiranje kriterija za radne uvjete u eksplozivnim prostorima i odvojeni opis organizacijskih mjera za vrijeme normalnog rada, održavanja, kvara, pokretanja i isključivanja procesa.

Potencijalno eksplozivni prostori moraju se označiti na ulaznim strukturama s odgovarajućim znakom koji je prikazan na slici 4-1. (LABELSOURCE 2015).

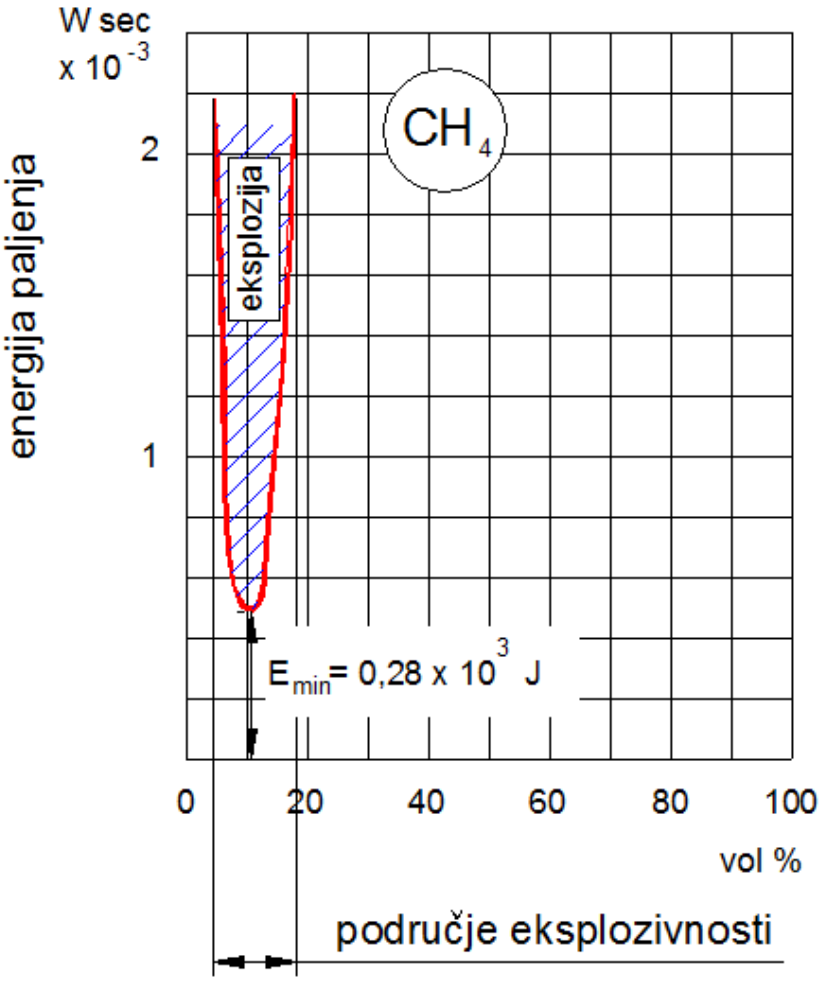


Slika 4-1. Način označavanja ugroženih prostora eksplozivnom atmosferom (LABELSOURCE 2015).

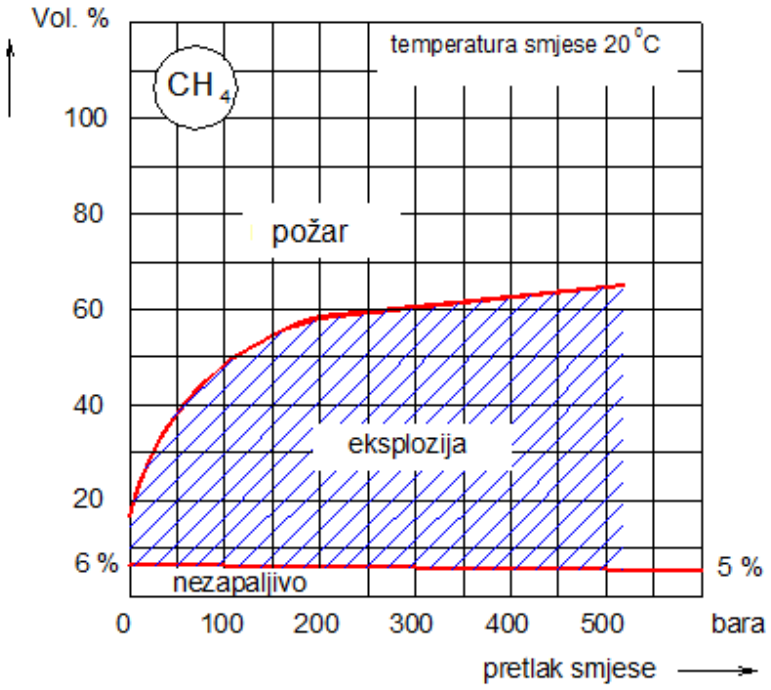
Struktura dokumenta protueksplozijske zaštite opisuje oznaku odjela, imenovanje zadužene osobe, određivanje strukturnih i lokalnih uvjeta, postrojenje i opis procesa, sigurnosno vezane karakteristične vrijednosti za upotrebljene tvari, strategija sigurnosti i zaštitne mjere, zahtjevi u slučaju odstupanja od normalnog rada (npr. održavanje, kvar, hitni slučajevi), jamstvo sigurnosti tj. koordinacija za zaposlene u " rubnim prostorima" (Stachowitz 2005).

Upravitelj snosi odgovornost kako bi se osiguralo da su promjene u sustavu također ažurirane u dokumentaciji, kao što su električna shema, upute za uporabu, Ex dokument, itd. (Maciejczyk 2014).

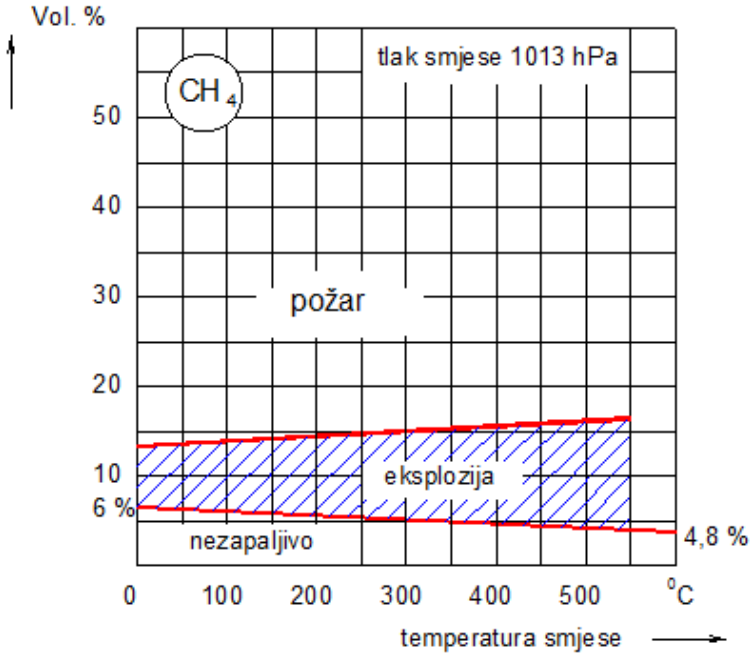
Granica eksplozivnosti metana i ovisnost energije paljenja o koncentraciji je prikazana na slici 4-2. Porast tlaka će povećati raspon između gornje i donje granice gdje gornja granica značajno raste povećanjem tlaka kao što je prikazano na slici 4-3., a s povećanjem temperature povećat će se razmak između donje i gornje granice eksplozivnosti kao što je prikazano na slici 4-4. (Marinović 2005).



Slika 4-2. Ovisnost energije paljenja o koncentraciji metana (Marinović 2005).



Slika 4-3. Utjecaj tlaka na donju i gornju granicu eksplozivnosti metana (Marinović 2005).



Slika 4-4. Utjecaj temperature na donju i gornju granicu eksplozivnosti metana (Marinović 2005).

Prostor u kojem se eksplozivna atmosfera može pojaviti u takvim količinama da je potrebno poduzeti posebne mjere predostrožnosti, da se zaštiti zdravlje i sigurnost dotičnih radnika, smatra se opasnim. Također, prostor u kojem se eksplozivna atmosfera ne očekuje u takvim količinama da je potrebno poduzeti posebne mjere predostrožnosti ne smatra se opasnim. Zapaljive i/ili goreće tvari smatraju se materijalima koji mogu stvoriti eksplozivnu atmosferu osim ako ispitivanje njihovih svojstava pokaže da u smjesama sa zrakom one samostalno ne mogu širiti eksploziju (Direktiva 1999/92/EZ 1999).

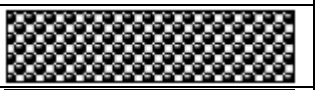
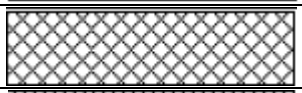
Proces klasifikacije prostora, uključuje utvrđivanje svih zapaljivih tvari (medija), utvrđivanje i ocjenjivanje svih izdanja zapaljivih tvari, procjenu razine vjetrenja i/ili skladištenje i određivanje nastalih vrsta i opseg zona. Određivanje zona omogućuje odabir ispravne opreme, postupaka i procedura koje se primjenjuju za zaštitu zdravlja i sigurnost radnika u pogonu. Razvrstavanje opasnih mjesta je prikazano u tablici 4-1.

U neograničenim otvorenim mjestima se primjenjuje označavanje zona kao što je prikazano u tablici 4-2.

Tablica 4-1. Razvrstavanje opasnih mjesta (Direktiva 199/92/EZ 1999)

Zona	Opis
0	Prostor u kojem je eksplozivna atmosfera koja se sastoji od smjese zraka i zapaljivih tvari u obliku plina, pare ili aerosola stalno prisutna ili je prisutna tijekom dugih razdoblja ili je često prisutna.
1	Prostor u kojem je pojava eksplozivne atmosfere koja se sastoji od smjese zraka i zapaljivih tvari u obliku plina, pare ili aerosola povremeno moguća za vrijeme normalnog rada.
2	Prostor u kojem nije vjerojatno da će se pojaviti eksplozivna atmosfera koja se sastoji od smjese zraka i zapaljive tvari u obliku plina, pare ili aerosola tijekom normalnog rada, a ako se i pojavi, trajat će samo kratko vrijeme.
20	Prostor u kojem je eksplozivna atmosfera u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku stalno prisutna ili je prisutna tijekom dugih razdoblja ili je često prisutna.
21	Prostor u kojem je pojava eksplozivne atmosfere u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku povremeno moguća za vrijeme normalnog rada.
22	Prostor u kojem nije vjerojatno da će se eksplozivna atmosfera u obliku oblaka zapaljive prašine u zraku pojaviti za vrijeme normalnog rada, a ako se i pojavi, trajat će samo kratko vrijeme.

Tablica 4-2. Označavanje zona (HRN EN 600790-10; ESA ICOP 2 2015)

Vrsta ispuštanja	Zona	Oznaka zone
kontinuirano ispuštanje	0	
primarno ispuštanje	1	
sekundarno ispuštanje	2	

4.1. Zoniranje kod dobivanje bioplina iz digestora

Zona 0 nalazi se u prostorima gdje se eksplozivna atmosfera (koja se sastoji od smjese zraka ili plinova ili para ili magle) javlja trajno, dugoročno tj. često.

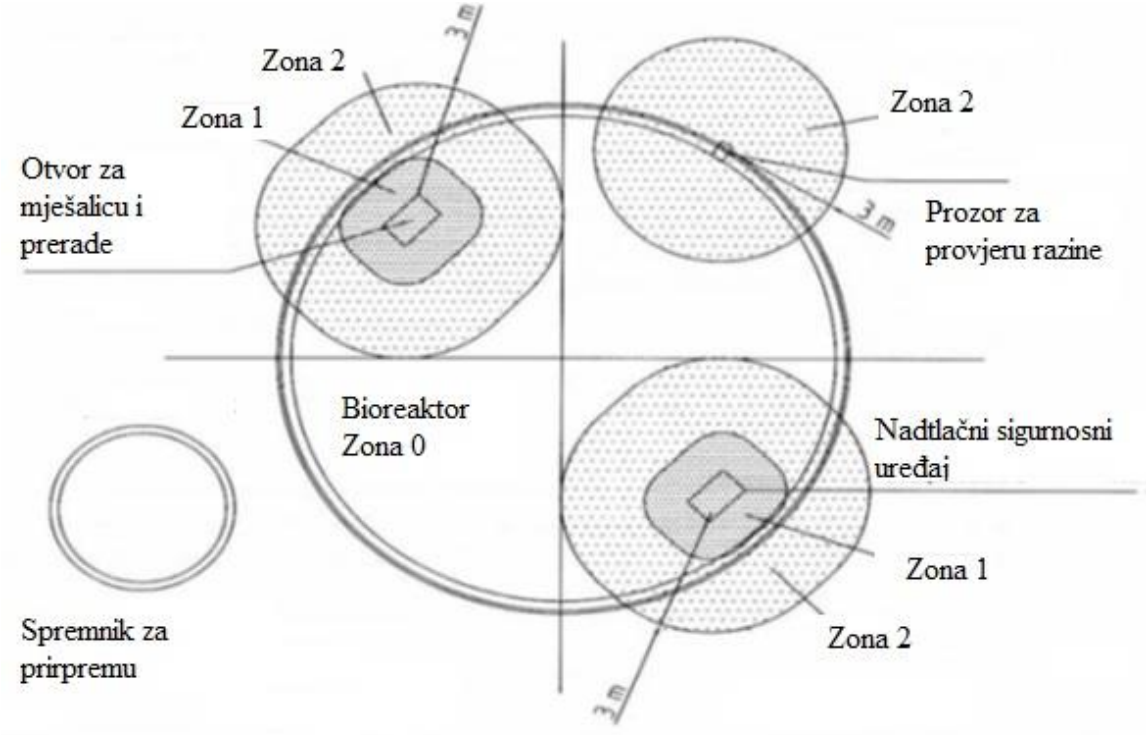
U bioplinskim postrojenjima zona 0 nalazi se u spremniku bioplina, kod dovoda zraka izgaranja motora, ložištu sagorjevanja plina i pod posebnim radnim uvjetima bioreaktora. Posebno radno stanje događa se kada zrak ulazi u unutrašnjost bioreaktora. Pod normalnim uvjetima rada, mali pozitivni tlak sprječava prodiranje zraka u bioreaktor. Kod uzimanja zraka izgaranjem u motoru ili u komori za izgaranje smjesa plina je kontinuirano eksplozivna. Motor i spaljeni plin moraju se odvojiti od ostalih sustava plina putem zaustavljača plamena kojem je svrha da onemogući izlazak plamena iz sustava prema okolnoj eksplozivnoj atmosferi.

Zona 1 obuhvaća prostore sa povremenim pojavama eksplozivne atmosfere koja se sastoji od mješavine zraka i plinova, para ili magle. U uvjetima dobrog vjetrenja i ako je curenje plina tehnički moguće pretpostavlja se da se zona 1 širi na 1 m od komponenti postrojenja, dijelova opreme, veza, brtvi i na bioreaktoru. Također zonom 1 smatra se prostor oko otvora ispušne cijevi i sigurnosnih uređaja. Oko zatvorenih prostora ugroženi prostor se širi na 4,5 m od ruba zatvorenog prostora. U zatvorenim prostorima ili jamama kroz koje prolazi anaerobni tijek mulja nalazi se zona 1 (Chrebet i Martinka 2012).

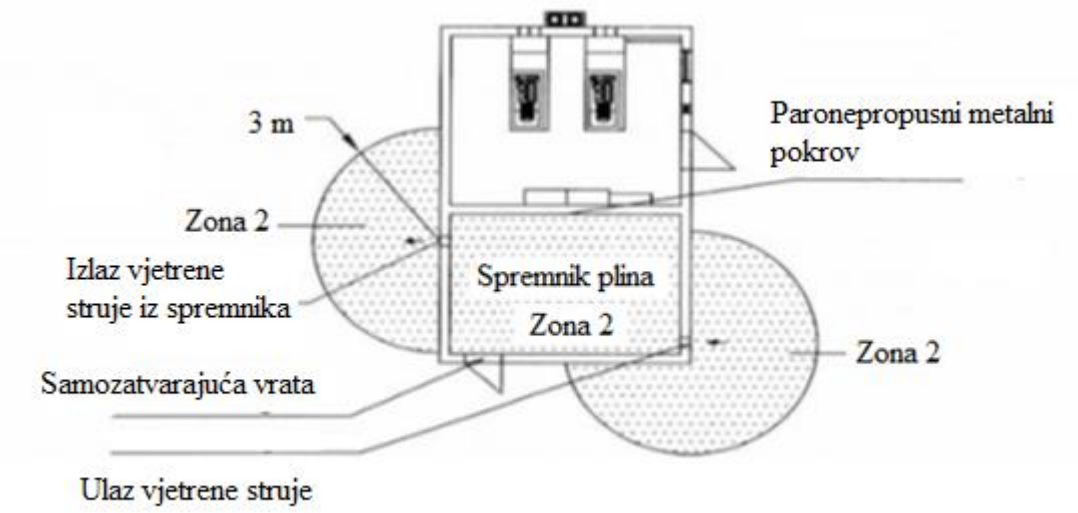
Prostori u kojima se nalaze spremnici plina (instalacijska soba) moraju imati dovod i odvod zraka te otvore koji ne mogu biti zatvoreni. Oni omogućavaju križno vjetrenje instalacijske sobe. S tehničkim vjetrenjem, mora biti zajamčeno da je ispuštanje plina odvedeno izvan prostora. U slučaju prirodnog vjetrenja, otvor za dovod zraka mora se nalaziti u području poda, a ispušni otvor zraka mora se nalaziti na gornjem djelu suprotne strane zida. Izlazna vjetrena struja treba zapaljivi plin odvoditi u okolinu dalje od zona opasnosti (Maciejczyk 2014).

Zona 2 obuhvaća prostore u kojima se ne pretpostavlja da neće biti pojave opasnih atmosfera plinskih smjesa, ali se može javiti rijetko i kratko. Zona 2 se širi na 1 m do 3 m od komponenata postrojenja i tehnički je klasificirana kao nepropusna (dijelovi opreme, veze, servisni otvori i sl). Zona 2 nalazi se u otvorenim jamama (npr. jame za pumpe za anaerobni mulj) ili bazenima te zatvorenim prostorima gdje su instalirane plinske cijevi, a koji nemaju vjetrenje. Radijus 1 m do 3 m vrijedi uz dobro vjetrenje.

Osoblje mora osigurati da unutar bioplinskih postrojenja zrak ne ulazi u digestor ili spremnik bioplina. Sve cijevi i oprema moraju biti ispravno zabrtvljeni kako bi se spriječilo curenje plina. U ovim prostorima ne smije se pušiti i sva električna instalacija, uključujući i prekidače za svjetlo, itd. moraju biti izvedeni u protueksplozijskoj zaštiti jer bi i najmanja iskra mogla zapaliti ispuštene plinove te uzrokovati eksploziju. Na slikama 4-5. i 4-6. su prikazane zone opasnosti kod bioreaktora i spremnika bioplina (Chrebet i Martinka 2012).



Slika.4-5. Zone opasnosti kod bioreaktora (Chrebet i Martinka 2012).



Slika 4-6. Zone opasnosti kod spremnika bioplina (Chrebet i Martinka 2012).

4.2. Zoniranje kod dobivanja bioplina s odlagališta

Na odlagalištima za dobivanje bioplina nema kontinuiranog izvora ispuštanja. Primarni izvor ispuštanje stvara ulazak zraka u odlagališta plina preko otpada ili na drugi način što rezultira smjesom u eksplozivnom rasponu. Sekundarno ispuštanje se javlja samo kad postoji nadtlak (ESA ICOP 2 2005).

4.2.1. Zoniranje bušotina na odlagalištu otpada

Prema ICoP, bušotine se dijele na četiri tipa:

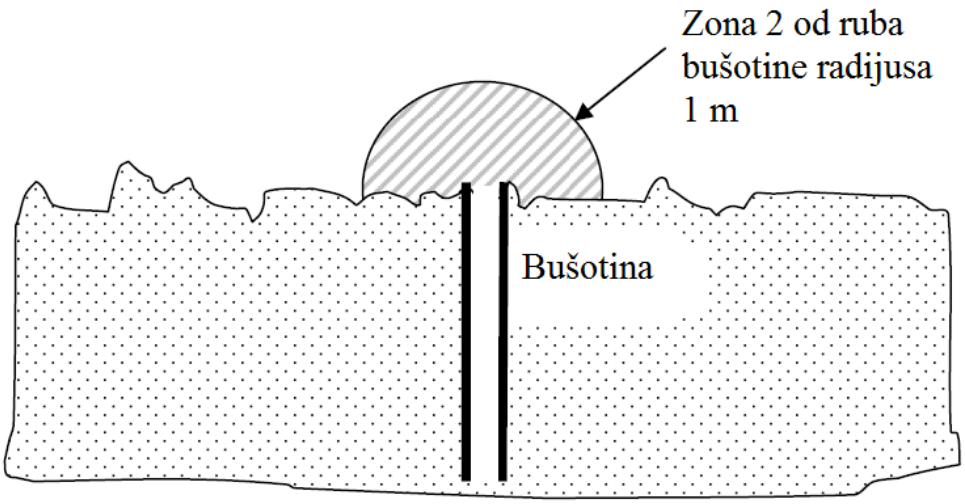
- bušotine tipa 1 koje proizvode neznatne količine odllagališnog plina,
- bušotine tipa 2 koje mogu proizvesti male količine odlagališnog plina,
- bušotine tipa 3 koje proizvode značajne količine odlagališnog plina,
- bušotine tipa 4 koje imaju potencijal za oslobađanje velike količine odlagališnog plina.

Ovakvu podjelu prvi uvodi ICoP. Može se dogoditi da će klasifikaciju bušotine biti potrebno mijenjati kad bušenje započne. Ako se pojavi ispuštanje deponijskog plina veće od očekivanog onda bušenje treba zaustaviti i ponovno procijeniti rizik (ESA ICOP 4 2006).

Bušotine tipa 1 su potpuno utonule u materijal koji ne proizvodi plin s odlagališta iako postoji mogućnost da će male količine migrirati iz otpadne mase ili biti prisutne iz prirodnih izvora. Bušotine za nadzor područja obično su bušotine tipa 1 jer se ne očekuju koncentracije metana u eksplozivnom rasponu. Ako postoji ispuštanje biti će malo i neće se postići donja granica eksplozivnosti pa se pojavljuje zona zanemarivog opega i ne postoji značajan rizik od eksplozije (ESA ICOP 4 2006).

Bušotine tipa 2 su utonule u inertni otpad ili u odlagalište industrijskog otpada, relativnog poznatog sastava gdje se ne očekuje da sadrži znatnu količinu materijala sposobnog proizvesti odlagališni plin. Bušotine za off-situ nadzor su tipa 2 gdje je poznata migracija metana iz odlagališnog plina ili ostalih izvora, ali gdje je malo vjerojatno da će se stvoriti značajne količine eksplozivne koncentracije. Kada se provede ponovno bušenje bušotine vrlo je vjerojatno da će bušotina biti tipa 2 ili tipa 3. Kod bušotine tipa 2 se ne očekuje da će biti mjerljiva količina plina s eksplozivnim rasponom na površini, ali zbog sigurnosti, postojat će mala zona 2 s radijusom od 1 m kao što je prikazano na slici 4-7. (ESA ICOP 4 2006).

Bušotine tipa 3 su bušene u svježe odlaganom miješanom otpadu iz kućanstva koji je ipak dovoljno dugo postojan za generiranje odlagališnog plina, posebice na većim dubinama. Plin s odlagališta biti će otpušten u procesima bušenja i u nekim slučajevima formirat će značajnu količinu potencijalno eksplozivne atmosfere.

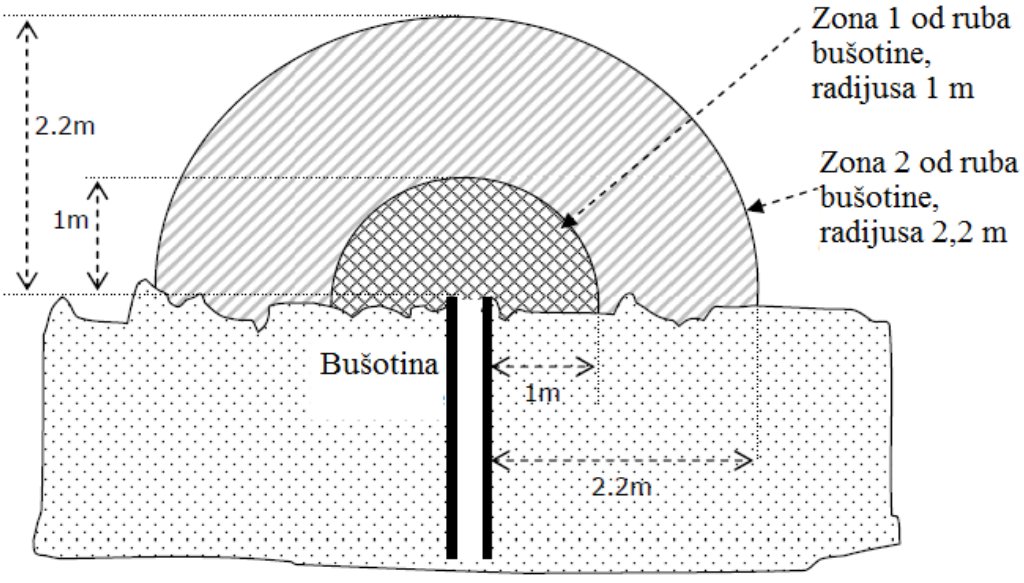


Slika 4-7. Zona opasnosti kod bušotine tipa 2 (ESA ICOP 4 2006)

Intenzitet ispuštanja plina iz bušotine vjerojatno neće biti ujednačen tijekom procesa bušenja što znači da će biti teško procijeniti opseg potencijalno eksplozivne atmosfere. Ako se na većim dubinama instalira čvrsta obloga smanjit će se brzina otpuštanja plina. Ako se koncentracija metana uzorkuje u samoj bušotini, vjerojatno je da će biti unutar granica eksplozivnosti, ali na površini koncentracija metana pada vrlo brzo s udaljenošću od bušotine. Prema prikupljenim podacima koncentracija metana rijetko prelazi 20 % od donje granice na udaljenosti 1 m od bušotine. Dok se ne prikupi više podataka, prostor oko bušotine biti će klasificiran kao zona 1 s radijusom od 1 m jer se potencijalno eksplozivna atmosfera očekuje relativno često (ESA ICOP 4 2006).

Ako je ispuštanje veće, ali manje često to će dovesti do klasifikacije zone 2, ali tu situaciju nije moguće točno modelirati i sa sigurnošću izračunati opseg zone. Prema ICoP-u se uzima brzina ispuštanje od 30 m^3/h za realnu gornju granicu koja se odnosi na veliku većinu plinskih bušotina. To dovodi do povećavanja radijusa zone na 2,2 m te će se taj radijus zone 2 koristiti pri operacijama bušenja. Zoniranje bušotine tipa 3 prikazano je na slici 4-8. Radijus zone će se morati eventualno promijeniti kada postane dostupno više podataka o ispuštanju (ESA ICOP 4 2006).

Ako se za vrijeme bušenja kod bušotine klasificirane kao tip 3 pojavi velika stopa ispuštanja treba zaustaviti bušenje te se rizik i povezane kontrolne mjere trebaju ponovno procijeniti. Naznake velikih stopa ispuštanja mogu biti: zvuk kuljanja, stvaranje krhotina i procijedna tekućina oko bušotine, vidljiva sumaglica oko bušotine te promjena mirisa (ESA ICOP 4 2006).



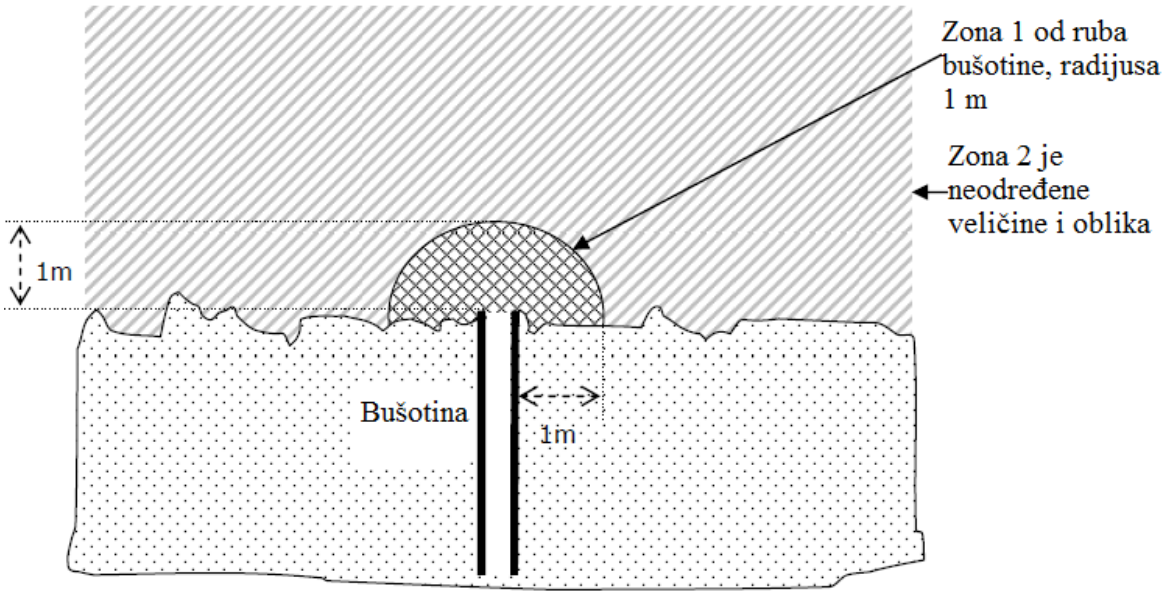
Slika 4-8. Zone opasnosti kod bušotine tipa 3 (ESA ICOP 4 2006).

Bušotine tipa 4 su bušotine koje mogu proizvesti velike intenzitete ispuštanja. Velik intenzitet ispuštanja stvara miješani otpad iz kućanstva koji nije bio podvrgnut ekstrakciji ili gdje su točke ekstrakcije široko razmaknute, duboko zakopan otpad, lokacija gdje se javljaju procjedne tekućine, visok sadržaj vlage i vrlo biorazgradiv otpad.
Određeni rizik povezan je s bušenjem u ‘’rezervoar’’ zarobljenog plina koji se trenutačno ne odvodi i može imati veće tlakove što će izazvati nagli izlazak veće količine zapaljivog plina (ESA ICOP 4 2006).

Ne postoje podaci o velikim ispuštanjima jer su takve situacije rijetke i nisu zabilježene u rutinskom nadzoru. Potrebno je sakupiti podatke iz cijele industrije te pokušati kvantificirati i točnije definirati rizik. Ispuštanje pod tlakom može čujno izlaziti iz izbušene bušotine nekoliko minuta prije nego se počne polako smanjivati, ali u nekim slučajevima stopa otpuštanja plina iz bušotine plina ostaje vrlo visoka i kontinuirana (ESA ICOP 4 2006).

Za takve situacije koristi se zona 2 jer se otpuštanje predviđa, a događa se rijetko (s vremena na vrijeme), a ne može se opisati kao katastrofalni događaji. Kod vrlo velikih ispuštanja, pojavljuje se oblak plina i razrjeđivanje je pokretano brzinom ispuštanja. Međutim, ispušteni plin će se sudariti s preprekama kao što je bušački stol i bit će preusmjeren u stranu i prema dolje. Zbog toga će vjerojatno koncentracija metana na površini biti daleko veća od normalne vrijednosti i stvoriti se puno veći raspon zone. Kako se ispuštanje plina pod tlakom smanjuje onda mehanizam disperzije vjetra preuzima i koncentracija metana, na razini zemlje, će i dalje biti veća od normalne razine. Zone opasnosti za tip 4 bušotine prikazanesuna slici 4-9. (ESA ICOP 4 2006).

Potencijalno eksplozivna atmosfera može obuhvatiti razne potencijalne izvore paljena povezane sa platformom. Temeljni problem kod bušenja je što će najvjerojatniji izvor paljena biti svrdlo. Ne predlaže se da sva oprema u ovoj zoni bude pogodna za uporabu u zoni 2. Nešto od opreme očigledno neće biti prikladno, ali implementacija daljnjih mjera smanjiti će rizik za radnike na prihvatljivu razinu. Potencijalni izvori paljenja mogu biti svrdla radi stvaranja topline i iskre, druga oprema u bušotini koja stvara toplinu i iskre, necertificirana električna oprema u bušotini (poput sigurnosnog prekidača, mikro sklopki, rasvjeta, itd.), necertificirana električna oprema unesena od strane ljudi (poput mobitela, kamere, džepne svjetiljke, itd.), udaraci čekića, rad bušilice pri vađenju svrdla, vrući radovi, varenje, dizel motor, vrući ispuh motora, mehanički utjecaj i elektostatske iskre (ESA ICOP 4 2006).

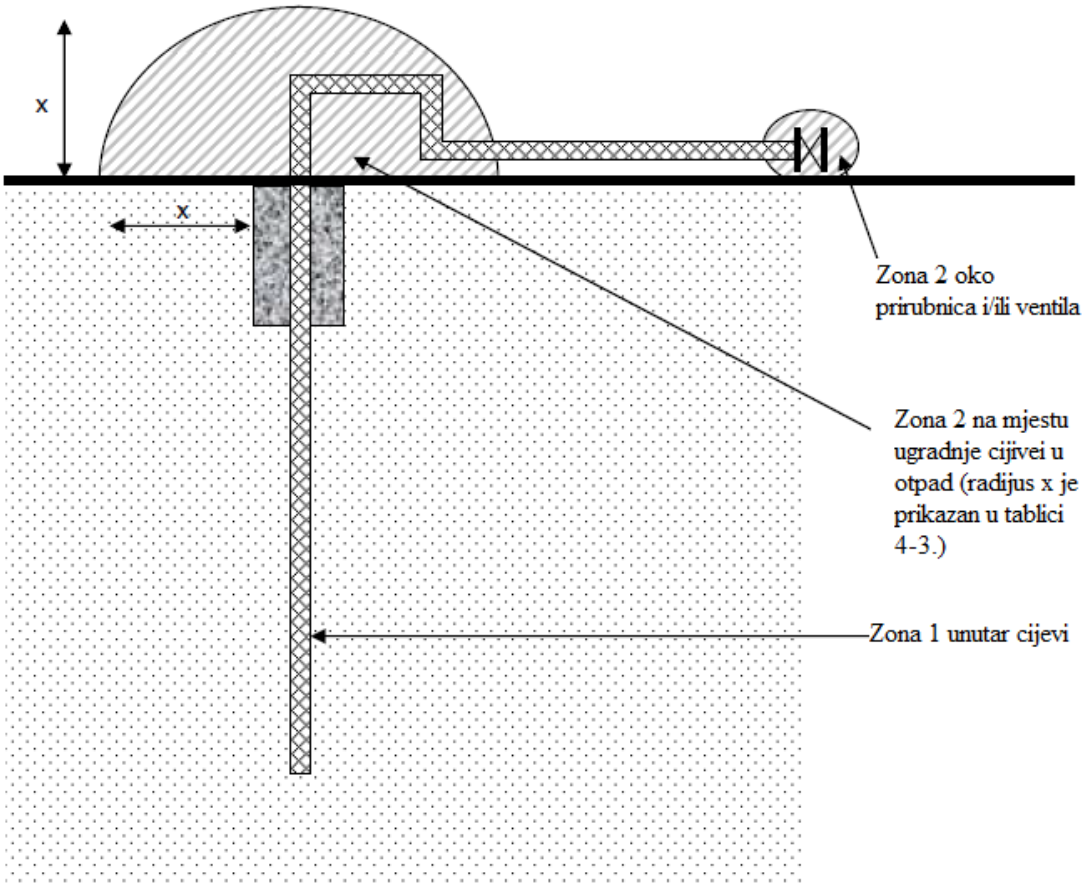


Slika 4-9. Zone opasnosti kod bušotine tipa 4 (ESA ICOP 4 2006).

4.2.2. Zoniranje cijevi na odlagalištu otpada

Igličaste bušotine se izvode ugradnjom metalnog šiljka (obično 6 m duljine) u otpad, a zatim se izvuče i cijev umetne unutra. Bentonit se ponekad koristi za brtvljenje oko otvora ili se može bušiti kroz otpad bez daljnjeg brtvljenja. Na površini je spojen ventil, a od dna cijevi na 4 m do 5 m cijev je perforirana ili su na njoj napravljeni prorezi. Unutrašnjost bušotine će se klasificirati kao zona 1 poput plinske bušotine. To su obično privremene ili žrtvene bušotine i s vremenom mogu biti pokrivene s novim otpadnim materijalom. Obično je razmak između bušotina manji od 8 m (ESA ICOP 2 2005).

Nema vanjskog trajnog ili primarnog izvora propuštanja. Dva sekundarna izvora kod igličastih bušotina su brtve ventila i curenje kroz bentonit koji se koristi za brtvljenje.
Mala zona 2 je prisutna oko brtve ventila. Intenzitet ispuštanja igličaste bušotine je puno manji u odnosu na plinsku bušotinu i kao maksimalna vrijednost može se uzeti 5 m^3/h. Zone su prikazane na slici 4-10., a radijus zone x oko mjesta ugradnje cijevi prikazan je u tablici 4-3. (ESA ICOP 2 2005).



Slika 4-10. Zone opasnosti kod igličastih bušotina (ESA ICOP 2 2005).

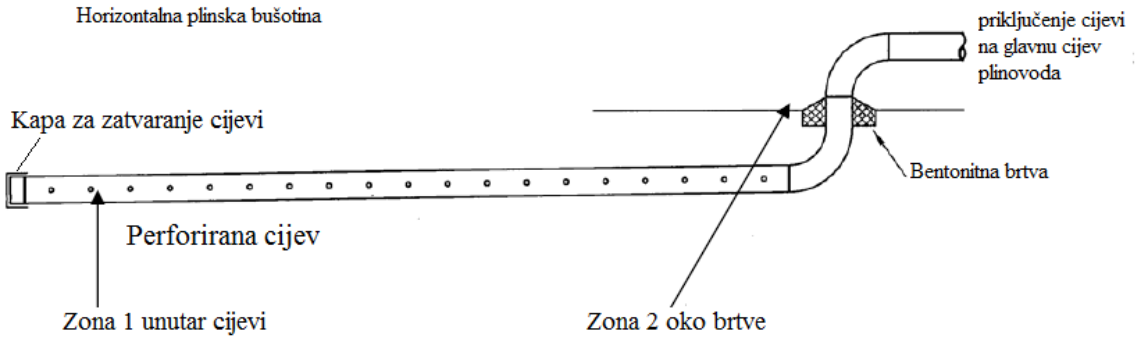
Tablica 4-3. Radijus zone x oko bušotine uzrokovan propuštanjem bentonitne brtve (ESA ICOP 2 2005).

Intenzitet ispuštanja (m^3/h)	Radijus x zone 2 (m)
1	0,4
2	0,5
3	0,7
4	0,8
5	0,9
10	1,3
15	1,6
20	1,8
25	2,0
30	2,2
40	2,6
50	3,0

Horizontalne plinske bušotine se obično koriste kao privremen i/ili žrtveni sustav za prikupljanje odlagališnoga plina i oni su horizontalni ekvivalenti igličastih bušotina. Oni se obično instaliraju u privremenim aktivnim prostorima odlagališta, ili kao sekundarni/pomoćni sustavi za prikupljanje plinova na odlagalištu.

Horizontalne plinske bušotine se općenito sastoje od zavarenih cijevi postavljene vodoravno i koje su perforirane. Prikupljačke cijevi se raspoređuju na određene udaljenosti u skladu s uvjetima na odlagalištu (obično je na 5 m do 20 metara razmaka). Određeni dio cijevi ne smije biti perforiran i koristi se na mjestu gdje se odlaže otpadna masa kako bi se spriječio ulazak zraka u cijev. Brtva se formira između otpadne mase i cjevovoda pomoću bentonita (ili ekvivalentnog) ili HDPE (ili sličnog) (ESA ICOP 2 2005).

U unutrašnjosti cijevi horizontalne plinske bušotine, kao što je prikazano na slici 4-11., nalazi se zona 1, iz istog razloga kao i u plinskoj bušotini. Zona 2 se nalazi na izlazu cijevi iz odlagališta gdje se cijev priključuje na glavnu cijev plinovoda. Radijus zone 2 je isti kao i za brtvljenje bentonitom plinske bušotine tj. 2,2 m (ESA ICOP 2 2005).



Slika 4-11. Zone opasnosti kod horizontalnih plinskih bušotina (ESA ICOP 2 2005).

Mjesta za prikupljanje procjednih tekućina su prvenstveno dizajnirana za uklanjanje procjednih tekućina s dna projektiranih ćelija. Međutim tu se također skuplja i odlagališni plin. Mjesta za prikupljanje procjednih tekućina se obično pozicioniraju duž kosine zida ćelije ili kao vertikalna komora unutar otpadne mase te su ključni za procjeđivanje drenažnog pokrova.

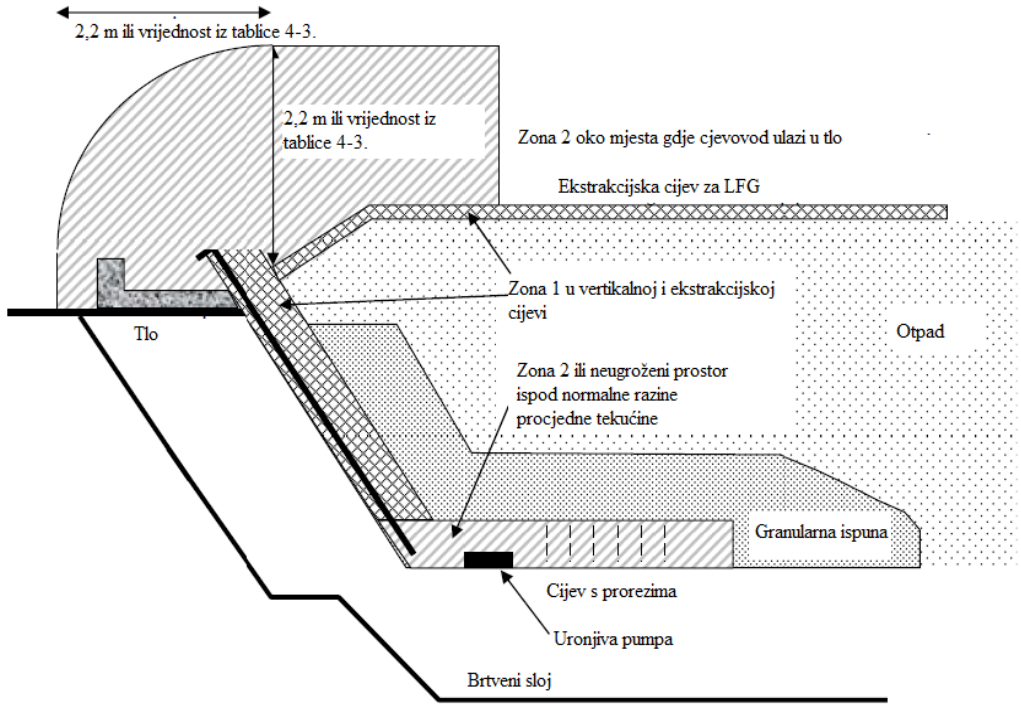
Mjesta za prikupljanje procjednih tekućina se mogu različito orijentirati: horizontalno, pod bočnim nagibom i vertikalno. Različite vrste su međusobno identične u

smislu klasifikacije prostora te su slične plinskim bušotinama. Mogu se primijeniti na drugim vrstama sustava za ekstrakciju procjednih tekućina.

Unutar komore se nalazi glavna pumpa za odvođenje otpadnih tekućina. U komori se uz pumpu nalazi uređaj za praćenje razine procjednih tekućina. Crpka će se automatski isključiti nakon što dosegne određenu nisku razinu. Upravljački sustav kontrole za pumpe nalazi se iznad tla, obično u blizini točke ekstrakcije procjednih tekućina (ESA ICOP 2 2005).

Pogon (slika 4-12.) je sličan plinskim bušotinama te se provodi ista klasifikacija prostora gdje je zona 1 iznad tekućine i zona 2 ispod tekućine. Zona 2 se širi oko 2,2 m oko brtve na vanjskom dijelu. Kao i kod plinskih bušotina otvaranje poklopca uz postojanje nadtlakova u mjestu za prikupljanje procjednih tekućina nastat će potencijalno velike količine eksplozivne atmosfere s radijusom više desetaka metara te se poklopac smije skidati samo pri postupku održavanja (ESA ICOP 2 2005).

Procjedna tekućina može sadržavati zapaljive tekućine. Međutim, u odnosu na razvijanje volumena odlagališnog plina, potencijalno eksplozivna atmosfera od procjednih para će vjerojatno biti ista kao zone utvrđene za odlagališta plin (ESA ICOP 2 2005).



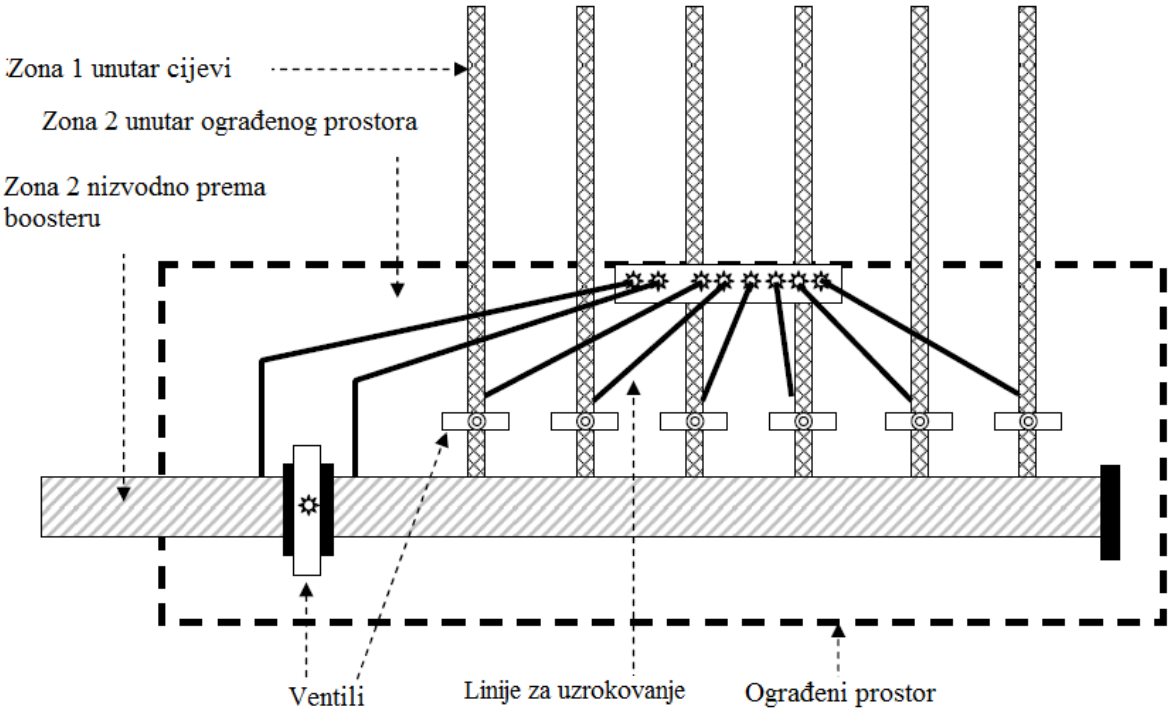
Slika 4-12. Zone opasnosti kod mjesta za prikupljanje procjednih tekućina (ESA ICOP 2 2005).

Sabirnik prikupljanja plina izrađuju se od HDPE (ili sličnog materijala) ili od čelika i to je sklop gdje se cijevi plinskih bušotina pojedinačno ili u grupama priključuju na glavnu cijev plinovoda. Kvaliteta plina i protok se mogu podešavati s ventilom na svakoj zasebnoj cijevi koja se spaja na taj sabirnik plina. Dodatni upravljački ventil nalazi se na izlaznoj cijevi iz sabirnika. Općenito, ventili se nalaze na svakoj ulaznoj i izlaznoj cijevi sabirnika plina.

Postoje dvije osnovne varijante sabirnika. Jedna je otvorena konstrukcija plinovoda za skupljanje plina koja ne zahtjeva zaštitu od neovlaštenog pristupa i ograđena konstrukcija koja zahtjeva zaštitu, a odnosi se na nadzemne i podzemne instalacije sabirnika. Sabirnik se nalazi unutar komore izrađene od plastičnih ili čeličnih limova. Komora obično ima čvrsti pokrov ili poklopac. Ovaj tip pokrova onemogućava dobro vjetrenje, a otvorena rešetka ili vjetreni pokrovi omogućuju plavljenje ili slijevanje u komoru tok sabirnika.

Kao što je prikazano na slici 4-13., unutar cjevovoda u plinskim bušotinama nalazi se zona 1, zbog mogućeg ulaska zraka. Međutim, na svakoj točci gdje se kombinira izlaz dviju ili više bušotina vjerojatnost da smjesa bude u eksplozivnim granicama opada. U nekoj točci sabirnog cjevovoda prikladna je manje opasna zona. Prikladno je konstruirati sabirnik kao točku u kojoj se događa ta promjena zona tako da se u unutrašnjosti cjevovoda nakon ventila sabirnika sve do *boostera* nalazi zona 2. Međutim zona 1 se proteže od sabirnika nadalje u slučaju da u sabirnik ulazi samo jedna cijev (ESA ICOP 2 2005).

Nadtlak u sabirniku cjevovoda se događa puno rjeđe nego u individualnim bušotinama i da bi se dogodilo ispuštanje mora doći do pucanja komore. Zato ne postoji zona oko prirubnicana i ventila. Uklanjanje drenažnog čepa, otvaranje mjesta uzrokovanja i praćenje protoka na mjestu ne smije se provoditi, ako je sustav pod nadtlakom, tako da vanjska zona nije potrebna. Unatoč tome, ako je prostor ograđen u njemu će biti zona 2, budući da je vjetrenje loše i ispuštanje će se razrjeđivati veoma sporo. Zbog mogućnosti postojanja opasnih koncentracija u tom prostoru pristup ljudima bi trebao biti ograničen i smije biti dozvoljen samo uz dozvolu za rad (ESA ICOP 2 2005).



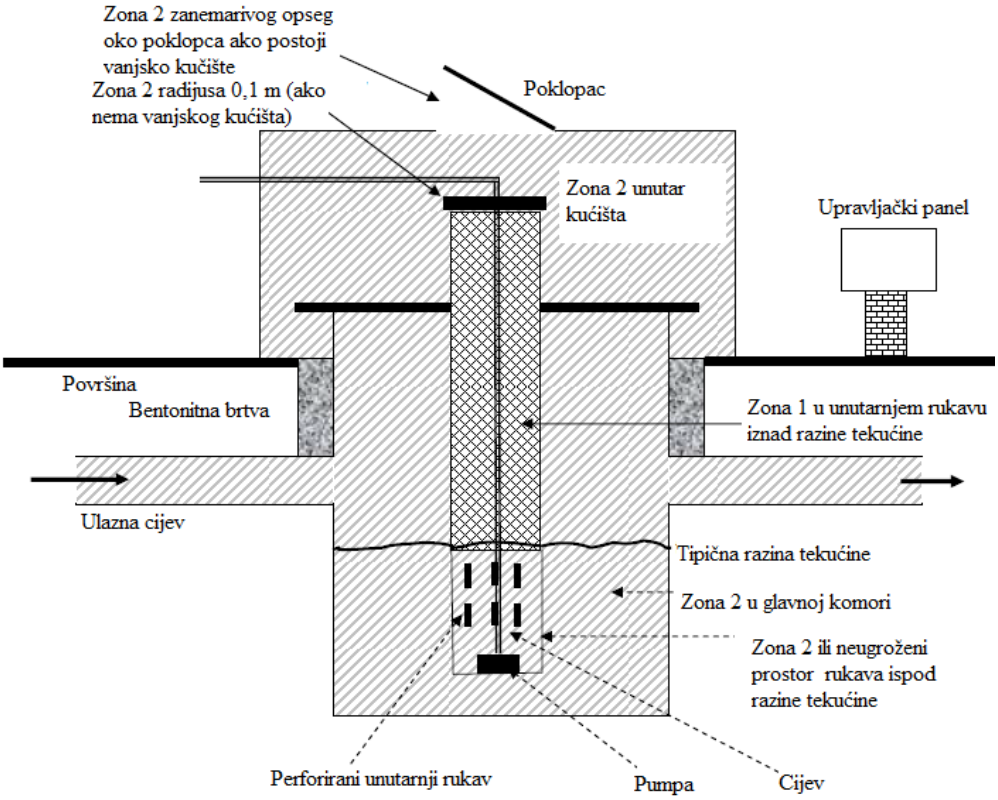
Slika 4-13. Zone opasnosti kod sabirnika za prikupljanje plina (ESA ICOP 2 2005).

KO (*Knock-out*) lonac je napravljen od polietilena (ili sličnog) i djeluje kao posuda za prikupljanje kondenzata, koji se obično nalazi na niskoj poziciji. Postoje tri osnovne varijante, koje su sa stajališta klasifikacije identične. Zbog slabe topljivosti metana u vodi kondenzat se ne smatra izvorom ispuštanja. Skuplja se u posudi i ispumpava. Pumpa se automatski aktivira kada razina kondenzata dosegne određenu razinu i isključuje kada je tekućina na nekoj niskoj razini. Jedino pod nenormalnim uvjetima pumpa ostaje potopljena. Upravljački sustavi mogu se nalaziti u KO loncu.

Kao što je prikazano na slici 4-14. unutar cjevovoda nalazi se zona 2. Stoga je glavna komora KO lonaca također zona 2. Unutarnji rukav (ako postoji) obično sadrži zrak. Međutim, ako se kondenzat ispumpava ispod razine perforacija, onda odlagališni plin može ući u unutarnji rukav te ako razina kondenzata opet raste biti će zarobljen zajedno sa zrakom. Smjesa odlagališnog plina i zraka može biti u eksplozivnom rasponu i teško se raspršuje. Prema tome u unutarnjom rukavu iznad tekućine postoji zona 1, a ne zona 2 (ESA ICOP 2 2005).

Propuštanje u vanjskom kućištu preko KO lonaca (loše brtvljenih kabelskih ulaza ili drugim putevima) je malo vjerojatno, zato što je plin ispod pod podtlakom (glavni dio) ili atmosferskim tlakom (unutarnji rukav). Potrebne su dvije greške (cijev plina pod visokim tlakom i propuštanje brtve) da se unutar kućišta i oko otvora dobije eksplozivna atmosfera,

ali će s obzirom na loše vjetrenje i radi predostrožnosti u kućišću i oko otvora biti zona 2 zanemarivog opsega. Neki KO lonci potonu u otpad i u tom slučaju oko bentonitne brtve postoji zona (ESA ICOP 2 2005).



Slika 4-14. Zone opasnosti kod KO lonca (ESA ICOP 2 2005).

4.3. Proračun raspona zona opasnosti

4.3.1. Proračun određivanja radijusa zona na postrojenjima za dobivanje LFGa

ICoP daje jednadžbe koje se mogu koristiti za izračunavanje intenziteta ispuštanja plina kroz otvor. Molekularna masa unosi se u jednadžbe i daje dovoljno točne vrijednosti ispuštanja za potrebe provedbe klasifikacije prostora. Za tlakove do 850 mbara iznad atmosferskog tlaka (mbarg) (ESA ICOP 2 2005).

Jednadžbom 4-1. određuje se brzina maseng protoka deponijskog plina kroz otvor curenja:

$$g = 1500 \bullet C_d \bullet A \bullet \left(\frac{Mp}{T}\right)^{0,5} \text{(kg/s)}, \qquad \text{(4-1.)}$$

gdje je: *g*- brzina masenog protoka odlagališnog plina kroz otvor (kg/s),

C_d- koeficjent otvora ispuštanja,

A- poprečni presjek otvora (m^2),

M- molekularna masa (kg/kmol),

p- tlak plina (barg) (p(barg)= $p_{apsolutni}$(bar) - $p_{atmosferski}$(bar)),

T- apslolutna temperatura plina uzvodno od otvora (K),

Radi jednostavnosti pretpostavlja se da je temperatura oslobađanja odlagališnog plina i okolna temperatura plina nakon otpuštanja jednaka 10 °C (ESA ICOP 2).

4.3.2. Proračuna volumenskog intenziteta otpuštanja

Jednadžba korištena u *Sira Safety Compliance*, temelji se na empirijskom modeliranju brzine otpuštanja u zonama rasprostiranja te se može koristiti za izravno pretvaranje otpuštenog volumena u raspon zone (ESA ICOP 2 2005).

Prvo je neophodno da se pretvori maseni intenzitet ispuštanja izračunat u jednadžbi 4-1. u volumni intenzitet ispuštanja. To se može učiniti pomoću plinske jednadžbe (4-2.) kada je odlagališni plin pri dovoljno niskom tlaku (ESA ICOP 2 2005).

$$pV = nRT, \tag{4-2.}$$

gdje je: *p*- apsolutni tlak plina (Pa),

V- volumen plina (m^2),

R- plinska konstanta (J/kmol/K),

n- broj molova (kmol),

T- apsolutna temperatura (K).

Nakon što se plinska jednadžba (4-2.) podijeli s tlakom (p), dobije se:

$$V = nRT/p \tag{4-3.}$$

Uzimajući u obzir da je broj molova (n):

$$n = \frac{m}{M}\,(\text{kmol}), \tag{4-4.}$$

gdje je: *m* – masa (kg),

M- molekularna masa (kg/kmol).

Iz toga slijedi da je volumen plina:

$$V = \frac{mRT}{Mp}(\mathrm{m}^3), \tag{4-5.}$$

gdje je: *m* – masa (kg),

R- plinska konstanta (J/kmol/K),

T- apsolutna temperatura (K),

M- molekularna masa (kg/kmol),

p- apsolutni tlak plina (Pa).

Uzme li se u obzir da je brzina masenog protoka jednaka omjeru mase i vremena slijedi jednadžba 4-6.

$$g = \frac{m}{t}\left(\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}\right) \tag{4-6.}$$

gdje je: *m* – masa (kg),

t – vrijeme (s).

Uzme li se da je protok *Q* (m^3/s) jednak omjeru volumena i vremena slijedi jednadžba 4-7.

$$Q_{lg} = \frac{V}{t} = \frac{m}{t} \bullet \frac{RT}{Mp} = g\frac{RT}{Mp}\,(\mathrm{m}^3/\mathrm{s}) \tag{4-7.}$$

Uz standardni apsolutni tlak od 101325 Pa te plinsku konstantu 8314,4 J/kmol/K dobiva se izraz (4-8.). Varijacije atmosferskog tlaka imaju vrlo mali utjecaj na rezultat proračuna.

$$Q_{lg} = \frac{g \bullet 8314{,}4 \bullet T}{M \bullet 101325}\,(\mathrm{m}^3/\mathrm{s}) \tag{4-8.}$$

Izraz (4-8.) može se napisati kao (4-9.):

$$Q_{lg} = \frac{0{,}0821gT}{M}\left(\frac{\mathrm{m}^3}{s}\right), \qquad (4\text{-}9.)$$

4.3.3. Proračun radijusa zone za vanjsko otpuštanjena otvorenom prostoru

Jednadžba (4-10.) uzima u obzir prepreke koje se nalaze na tlu, zidove ili druge predmete. To vrijedi samo za vjetrene otvorene prostore i pretpostavlja se da je brzina vjetra dovoljna za turbulentne miješanje. Norma HRN EN 60079-10 u odijeljku 4.4.5 (a) kaže da za ovaj mehanizam brzina vjetra treba biti 2 m/s, a u stvarnosti možemo računati samo s kontinuiranom brzinom 0,5 m/s. Zato brzina vjetra nije uvijek dovoljna da bi jednadžba 4-10. bila primjenjiva. Zbog toga će se dogoditi nastajanje slojeva pri niskim brzinama vjetra. Međutim, s obzirom na niski tlak (350 mbara iznad atmosferskog tlaka) i uz faktor sigurnosti, ova jednadžba daje konzervativan i prihvatljiv rezultat za potrebe klasifikacije prostora. Radijus zona mjeri se od točke ispuštanja u svim smjerovima te je stoga neovisan o gustoći otpuštanja (ESA ICOP 2 2005).

$$x = \left(\frac{1840 \bullet Q_{lq}}{k \bullet E_{\%}}\right)^{0{,}55} (\mathrm{m}) \qquad (4\text{-}10.)$$

gdje je: *x*- radijus zone (m),

k- sigurnosni faktor (0,5 za sekundarno ispuštanje; 0,25 za primarno),

$E_{\%}$- donja granica eksplozivnost, volumna (%) v/v.

4.3.4. Primjer proračuna rasprostiranja zone oko mjesta propuštanja ventila

Kroz poprečni presjek otvora 0,25 mm^2 ($2{,}5 \bullet 10^{-7}$ m^2) ispušta se odlagališni plin koji se sastoji od 60 % metana i 40 % ugljikovog dioksida. Temperatura plina je 10 ˚C (283 K) te je pod tlakom od 0,35 bara iznad atmosferskog tlaka (barg). Koeficijent otpuštanja otvora ventila je 0,8. Sigurnosni faktor je 0,5 jer se radi o sekundarnom otpuštanju. Donja granica eksplozivnosti je 4,4 % v/v.

Jednadžbom 4-11. određuje se molekularna masa odlagališnog plina

$$M_{lg} = \frac{(60 \bullet M_r(CH_4)) + (40 \bullet M_r(CO_2))}{100} \quad , \qquad (4\text{-}11.)$$

gdje je: $M_r\,(CH_4)$- Relativna molekulska masa metana,

$M_r\,(CO_2)$- Relativna molekulska masa ugljikovog dioksida.

Slijedi:

$$M_{lg} = \frac{(60 \bullet 16{,}00) + (40 \bullet 44)}{100} = 27{,}20\ (\frac{\text{kg}}{\text{kmol}})$$

Maseni intenzitet ispuštanja odlagališnog plina kroz otvor računa se iz jednadžbe (4-1.)

$$g = 1500 \bullet 0{,}8 \bullet (2{,}5 \bullet 10^{-7})\ \text{m}^2 \bullet (\frac{27{,}20\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \bullet 0{,}35\ barg}{283\ \text{K}})^{0{,}5} = 5{,}50 \bullet 10^{-5}(\text{kg/s})$$

Kako odlagališni plin ima udio metana od 60 %, jednadžba za volumni protok se mora prilagoditi na način da se pomnoži s 0,6:

$$Q_{CH_4} = \frac{0{,}0821gT}{M} \bullet 0{,}6\ (\frac{\text{m}^3}{\text{s}}).$$

Iz toga slijedi:

$$Q_{CH_4} = \frac{0{,}0493gT}{M}\ (\frac{\text{m}^3}{\text{s}}).$$

Konverzija masenog protoka u volumni protok dobiva se iz prilagođene jednadžbe 4-9.

$$Q_{CH_4} = 0{,}0493 \bullet 5{,}50 \bullet 10^{-5}\,\frac{kg}{s} \bullet \frac{283\ \text{K}}{27{,}20\ \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} = 2{,}82 \bullet 10^{-5}\ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Radijus zone oko ventila računa se jednadžbom 4-10.

$$x = (\frac{1840 \bullet 2{,}82 \bullet 10^{-5}\ \frac{m^3}{s}}{0{,}5 \bullet 4{,}4\ \%})^{0{,}55} = 0{,}13\ \approx 0{,}2\ \text{m}$$

4.3.5. Primjer proračuna rasprostiranja zone oko mjesta propuštanja bentonitne brtve

Prema ICoP-umaksimalni volumenski intenzitet ispuštanja odlagališnog plina je 30 m^3/h kroz bentonit. Pretpostavka je da se odlagališni plin sastoji od 60 % metana i 40 % ugljikovog dioksida. Koeficijent otpuštanja otvora ventila je 0,8. Sigurnosni faktor je 0,5 jer se radi o sekundarnom ispuštanju. Donja granica eksplozivnosti je 4,4 % v/v. Ako je volumenski intenzitet ispuštanja odlagališnog plina (koji u svom sastavu ima 60 % metana) 30 m^3/h iz toga slijedi da je volumensku intenzitet ispuštanja metana:

$$Q_{CH4} = 0{,}6 \bullet 30\ \text{m}^3/\text{h} = 18\ \text{m}^3/\text{h} = 0{,}005\ \text{m}^3/\text{s}$$

Radijus rasprostiranja zone iznad bentonita računa se jednadžbom 4-10.

$$x = (\frac{1840 \bullet 0{,}005\ \frac{m^3}{s}}{0{,}5 \bullet 4{,}4\ \%})^{0{,}55} = 2{,}197\ \approx 2{,}2\ \text{m}$$

Radijus zone 2 kod propuštanja bentonita je 2,2 metra.

4.4. LFG u procjeđenim tekućinama

Razgradnjom otpada i prolaz vode kroz otpad nastaje procjedna tekućina - mješavina organskih produkata razgradnje, tekući otpad i oborinske vode. Procjedne vode su izuzetno promjenjive u sastavu, ovisno o vrsti otpada u odlagalištu, dizajnu odlagališta, itd. Procjedne vode se skupljaju u mreži cijevi, uklanjaju iz odlagališta i tretiraju (ESA ICOP 1).

Procjedna tekućina sadrži brojne štetne tvari ovisno o sastojcima u odlagališnoj masi. Procijedna tekućina nije eksplozivna. Metan je prilično slabo topljiv u vodi tako da procijedna tekućina sadrži vodu kao jedino otapalo koja ne sadrži visoke količine

otopljenog ili zahvaćenog metana. Prisutnost organskog materijala u vodi može povećati topljivost metana. Iako je prisutan u maloj količini, metan će obično biti oslobođen iz procijednih tekućina tako da se brzina oslobađanja povećava kada se povisi temperatura ili kada se smanjuje tlak. Kada se metan ispušta u prostoru bez vjetrenja (kao što je zatvoreni spremnik za skladištenje) mora se pretpostaviti da postoji potencijalno eksplozivna atmosfera metana i zraka iznad razine tekućine osim ako drugačije nije dokazano.

Istraživanja vodne industrije su pokazala da je 1,4 mg/l metana otopljenog u procijednoj tekućini dovoljno da stvori eksplozivnu smjesu metan/zrak iznad tekućine. Zapaljiv rizik predstavljaju procijedne tekućine s koncentracijom iznad 0,14 mg/l. Mjerenja u okviru gospodarenja otpadom pokazuju da koncentracije mogu biti do 50 mg/l iako se to događa vrlo rijetko. Topljivost čistog metana u vodi bez organskih onečišćenja je oko 22 mg/l, ovisno o uvjetima. Međutim kada procjedne tekućine dođu u dodiru s LFG, maksimalno izmjerena razina otopljenog metana je oko 15 mg/l. Ako se uz dozvolu tvrtki (koje se bave otpadnim vodama) procjedna tekućina ispušta u kanalizaciju, one traže da koncentracije metana mora biti niža od 0,14 mg/l. Da bi se to postiglo, procjedne vode se moraju tretirati s procesom poznatim kao izdvajanje metana (*methane stripping*). Mogu se tražiti i drugi postupci tretiranja prije nego se procjedne tekućine mogu ispustiti u kanalizaciju, a koje također smanjuju koncentraciju metana te dodatni postupak izdvajanja metana neće biti potreban. Izdvajanje metana provodi se puštanjem mjehurića zraka kroz procjedne tekućine. Koncentracija metana u procjednim tekućinama prati se na raznim točkama u procesu. Ako je potrebno izdvajanje metana izvodi se koristeći niz spremnika (ili odvojene komore unutar jednog spremnika), od kojih svaki smanjuje koncentraciju metana. Izdvajanje metana obično se radi kao kontinuirani proces i potrebno je smanjiti koncentraciju metana ispod 0,14 mg/l u tekućini. Nakon tretiranja procjednih voda na ovaj način, mogu se obustaviti daljnja razmatranja klasifikacije prostora (ESA ICOP 3 2006).

U normalnom radu, formiranje potencijalno eksplozivne atmosfere iznad tekućine uklanja se djelovanjem mjehurićima zraka kroz procjedne vode. Ako pasivno vjetrenje ne radi ili kada aeracija ne radi može se formirati potencijalno eksplozivna atmosfera. Potencijalno eksplozivna atmosfera može se formirati samo ako je u spremniku koncentracija veća od 1,4 mg/l otopljenog metana. Međutim, treba predvidjeti neuspješni aeracijski sustav i to uzeti u obzir pri klasifikaciji prostora tako da će spremnici biti klasificirani kao zona 2 kao i zatvoreni spremnik s aktivnim vjetrenjem.

Procjedna tekućina može predstavljati rizik od eksplozije ako sadrži hlapive organske spojeve (VOC) poput benzina ili otapala koji su odbačeni u odlagališnoj masi umjesto na specijaliziranoj jedinici odlagališta (ESA ICOP 3 2006).

5. UREĐAJI I OPREMA

Postoji nekoliko opasnosti za sigurnost ljudi prilikom pretvaranja gnoja i organskog reziduala u energiju pomoću tehnologije anaerobne digestije. Te opasnosti mogu uzrokovati ozbiljne tjelesne ozljede, a u nekim slučajevima, mogu biti kobne za život. Najčešći rizici povezani s sustavom anaerobne digestije su utapanje, strujni udar te izloženost buci. Međutim, bioplin i njegove sastavnice, od kojih su mnoge bez boje i mirisa, može operatore i posjetitelje izložiti opasnosti poput gušenja i opeklinama zbog zapaljive prirode metana. Radnici moraju poduzeti odgovarajuće mjere opreza pri rukovanju organskim materijalom i upravljanje proizvodnjom električne energije i zapaljivih plinova.

5.1. Senzori

VRS senzori (slika 5-1.) su dizajnirani za uporabu na mjestima gdje je potrebna zaštita od eksplozije ili gdje je potrebno imati samosigurne senzore. Pasivni VRS magnetski senzori su jednostavni, robusni uređaji koji ne zahtijevaju vanjski izvor napona za rad. Trajni magnet u senzoru uspostavlja stalno magnetsko polje. Približavanje metanih dijelova senzora uzrokuju promjenu magnetskog polja. Ova promjena u jakosti magnetskog polja inducira struju u elektromagnetskom svitku koji je vezan na izlaznim priključnicama. Senzori tvrtke Honeywell izrađeni su prema normama protueksplozijske zaštite. Certificirani su kao II 3 G EEx nA II T6 (Honeywell 2012).



Slika 5-1. VRS senzor (Honeywell 2012).

5.2. Detektor ispuštanja metana

Detektor za ispuštanje metana se koristi za: točno, brzo i sigurno otkrivanje propuštanja plina. Uređaj radi na principu laserske spektroskopije. Oprema nudi otkrivanje metana (CH_4) na razinama nižim od jednog ppm do 100 % koncentracije. Pri demonstraciji na postrojenjima anaerobne digestije pokazao je veliki uspjeh. Uređaj je otkrio dva propuštanja koja su zabilježena u roku od nekoliko minuta. Prije se za proces otkrivanja polja, uključujući i otkrivanje propuštanja, mjesto i kvantifikaciju, koristilo nekoliko uređaja. (ADBA 2011).

Prijenosni uređaj Inspectra® laser Portable (slika 5-2.) certificiran je prema ATEX normama i može se koristiti u prostorima s eksplozivnom atmosferom i to u zoni 0 jer je uređaj izveden u protueksplozijskoj zaštiti samosigurnosti (GAZOMAT 2015).



Slika 5-2. Prijenosni laser-Inspectra® (GAZOMAT 2015).

5.3. Analizatori plinova

Analizatori plinova služe za mjerenje koncentracije plinova na bioplinskim postrojenjima. Analizatori plina mogu biti upravljani ručno ili automatizirani. Plinski analizatori najčešće rade na principu apsorpcije. Automatski plinski analizatori mogu se podjeliti u tri skupine prema principu rada. Prva skupina koristi fizikalne i pomoćne kemijske analize. Druga skupina koristi fizikalne i pomoćne fizikalno-kemijske analize. Treća skupina koristi samo fiziklane metode analize

Mjerenje koncentracije plinova nužna je za pouzdan i ekonomičan rad modernih plinskih motora za bioplin, postrojenja za dobivanje plina iz otpadnih voda i plina sa odlagališta koji trebaju minimalnu kvalitetu plina. Proizvođača motora i osiguravajuće tvrtke postrojenja obično zahtijevju mjerenje i bilježenje podataka o koncentracijama plinova (BINDER 2015).



(a) (b)

Slika 5-3. Analizator plinova, a) (BINDER 2015), b) analizator kiska (MTL 2015)

Analizator plinova daju relativne točne podatke udjela plinova iz uzorka. Analizator može pokazivati udjele metana (CH_4), ugljičnog dioksida (CO_2), sumporovodika (H_2S) i kisika (O_2). Ako je potrebno uređaj može dati i podatak o ostalim sastojcima u manjim količanama, kao što su amonijak (NH_3), ugljikov monoksid (CO) i vodik (H_2) (ADBA 2011).

Analizator plinova tvrtke BINDER prikazan je na slici 5-3. (a), a analizator zraka proizvođača Hitech Instruments model G1010 na slici 5-3. (b). Analizator plinova može biti izveden u protueksplozijskoj zaštiti za upotrebu u zoni 1 i 2. Analizator kisika udovoljava normi HRN EN 50020 tj. radi se o jednostavnom uređaju koji se može koristiti u ugroženom prostoru uz spajanje zener barijere ili galvanske izolacije između senzora i upravljačko prikaznog modula.

5.4 Zaustavljač plamena

Zaustavljač plamena (*flame arrester*) je uređaji koji zaustavlja izgaranje, gašenjem plamena. Koriste se za spriječavanje širenja vatre, spriječava paljenje potencijalno eksplozivnih smijesa tj. da zaustavi širenje plamena koji putuje brzinama manjim od brzine zvuka.

Uobičajeno se koriste kod oduška spremnika, cjevovodima, ispušnim sustavima motora sa unutrašnjim sagorijevanjem i sl.

Zaustavljač plamena funkcionira na principu preuzimanjem topline čela plamena koji putuje pri sub soničnim brzinama čime se spušta temperatura smijese ispod temperature samopaljenja.

Zaustavljači plamena se instaliraju zajedno sa svim tlačnim i vakuumskim pomoćnim ventilima na poklopcu digestora kako bi spriječili da vanjski plamen uzrokuje paljenje u unutrašnjosti spremnika. Zaustavljači prikazani na slici 5-4. i 5-5. certificirani su prema normama protueksplozijske zaštite (BCASS 2012).



Slika 5-4. Zaustavljači plamena s tlačnim i vakuumskim ventilima (BCASS 2012).



Slika 5-5. Zaustavljač plamena (BCASS 2012).

6. ZAKLJUČAK

Bioplin se dobiva iz procesa anaerobne digestije u digestoru ili raspadanjem organske tvari na odlagalištu otpada. Pretežno se sastoji od metana i ugljikovog dioksida, gdje je metan eksplozivan i kao takav opasan za ljude i prostor gdje se pojavljuje. Na mjestima gdje se događa ispuštanje nužno je ocijeniti uvjete ispuštanja i vjetrenja te sukladno rezultatima provesti klasifikaciju prostora. Tek nakon toga može se procijeniti kakva se oprema smije koristiti u kojem dijelu prostora, a da ne bude uzročnik paljenja.

U radu je prikazana klasifikacija prostora kod dobivanja bioplina iz digestora te dobivanje bioplina s odlagališta otpada (LFG). U bioplinskim postrojenjima dobivanja bioplina iz digestora zona 0 nalazi se u spremniku bioplina, a zona 1 i 2 nalaze se oko raznih otvora (ispušni otvor, sigurnosni uređaji itd.). Zona 1 se najčešće širi na udaljenost 1 m, a zona 2 do 3 m uz dobro vjetrenje.

Kod dobivanja bioplina na odlagalištima razlikujemo četiri tipa bušotina gdje se u ovisnosti o tipu bušotine javljaju razni intenziteti ispuštanja što rezultira različitom klasifikacijom prostora oko otvora bušotina. Kod bušotina tipa 1 ne stvaraju se zone, kod bušotina tipa 2 javlja se zona 2 s radijusom 1 m. Kod bušotine tipa 3 javljaju se zona 1 i 2 s radijusom 1 m odnosno 2,2 m. Kod bušotine tipa 4 se također javlja zona 1 radijusa 1 m, a zona 2 je praktički neodrediva.

U slučaju kada se u bušotine umeću cijevi zona 1 nalaziti će se unutar bušotine i cijevi te na mjestu izlaska na površinu te zona 2 oko ventila i bentonitne brtve. Na mjestima za prikupljanje procijednih tekućina nalazi se zona 2 i neugroženi prostor ispod normalne razine tekućine, a zona 1 u vertikalnoj i ekstrakcijskoj cijevi 2,2 m ili vrijednosti iz tablice 4-3. oko otvora ekstrakcijske cijevi. Kod sabirnika za prikupljanje plinova javlja se zona 1 unutar dolaznih cijevi i zona 2 na odlaznom dijelu cjevovoda prema *booster*-u, a oko se nalazi neugroženi prostor. Kod KO lonca zone se nalaze unutar uređaja i nema ugroženog prostora u vanjskom dijelu.

7. LITERATURA

ADBA, 2011. Anaerobic digestion and biogas association. URL: http://adbioresources.org/wp-content/uploads/2012/08/110310-AD-Biogas-News-Issue-5_amended.pdf (20.4.2015)

AGROKLUB, 2012. Proizvodnja bioplina i skromni rezultati u RH. URL: http://www.agroklub.com/kolumna/proizvodnja-bioplina-i-skromni-rezultati-u-rh/7792/ (7.6.2015)

AIRGAS, 2015. Material safety dana sheet. URL: http://www.pge.com/includes/docs/pdfs/shared/environment/pge/cleanair/methane1033.pdf (10.3.2015)

AL SEADI, T., RUTZ, D., PRASLL H., KÖTTNER, M., FINSTERWALDER, T., VOLK, S., JANSSEN, R., 2008. Priručnik za bioplin. URL: http://www.bigeast.eu/croatia/handbook/Prirucnik_za_bioplin_w%5B1%5D.pdf(1.3.2015)

ASGARI, M., SAFAVI, K., MORTAZAEINEZAHAD F., 2011. Landfill Biogas production process. International Conference on Food Engineering and Biotechnology, Singapur, str 208-212.

BACHMANN, N., WELLINGER, A., APOSTOLOV, P., DZENE, I., IONESCU, D., KOJAKOVIĆ, A., MILETIĆ, M., ROPOŠA, B., SIOULAS, K., VOBR, K., 2012. Nacionalne smjernice za bioplin. URL: http://www.biogasin.org/files/pdf/reports/6.2%20National%20biogas%20enforcement%20policies%20road%20map%20for%20sustainable%20biogas%20market%20development/D.6.2.2_EIHP_HR.pdf (1.4.2015)

BALIČEVIĆ, P., ŠUMANOVAC, L., NOVAK, I., MUDRI, A., 2013. Konstrukcijska razrada tlačnih posuda bioplinskog postrojenja. U: 48th Croatian & 8th International Symposium on Agriculture, Dubrovnik, str. 712-717.

BCASS, 2012. Biogas control and safety systems. URL: http://www.grothcorp.com/uploads/docLib_1181_grothbiogasselectionguide.pdf (29.4.2015)

BILANDŽIJA, N., VOĆA N., KRIČKA, T., JURIŠIĆ, V., MATIN A, 2013. Biogas production on dairy farms: A Croatia case study. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, str. .22-29.

BINDER, 2015. Gas analysis and gas flow measurement systems for portable and stationary operation. URL: http://www.bindergroup.info/binder/downloads/EN/BIDE-M-PROS-COMBIMASS-BIOGAS-EN-R02.pdf (27.4.2015)

BJELIĆ, D., VUKIĆ, LJ., MIHAJLOV, A. N., NEŠKOVIĆ-MARKIĆ, D., ŠOBOT-PEŠIĆ, Ž., 2014. Procjena utjecaja trenutačnog gospodarenja komunalnim krutim otpadom na deponiju u Banaluci sa preporukama za daljni rad u cilju smanjenja utjecaja na okoliš. U: 13. Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Zagreb, str.258-264..

BSSS, 2013. Biogas System Safety Series. URL: http://www.chfourbiogas.com/uploads/1/4/1/9/14199462/hazardous_zones_in_our_biogas_systems.pdf (1.4.2015)

CHREBET, T., MARTINKA J., 2012. Assessment of biogas potential hazards. Annals of faculty engineering Hunedoara, Hunedoara, str. 39-42.

CORTEM, 2015. Explosion-protection in biogas plants. URL: https://www.cortemgroup.com/sites/default/files/cortem/technical-documentation/pdf/explosion-protection_in_biogas_plants.pdf (20.10.2014)

DEUBLEIN, D., STEINHAUSER, A., 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

DIREKTIVA 94/9/EZ, 1994. O usklađivanju zakonodavstava država članica u odnosu na opremu i zaštitne sustave namijenjene za uporabu u potencijalno eksplozivnim atmosferama. Službeni list Europskih zajednica. URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31994L0009&from=HR (20.2.2015)

DIREKTIVA 1999/92/EZ, 1999. O minimalnim zahtjevima za poboljšanje sigurnosti i zaštite zdravlja radnika potencijalno izloženih riziku od eksplozivnih atmosfera, Službeni list Europskih zajednica. URL: http://eur-lex.europa.eu/legal content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0092&from=en (20.2.2015)

EPA, 2011. Common Safety Practices for On-Farm Anaerobic Digestion Systems, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. URL:http://www.epa.gov/agstar/documents/safety_practices.pdf (15.4.2015)

ESA ICOP 1, 2005. DSEAR implementation for the waste management industry. URL: http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/ICoP1_DSEAR.pdf (13.5.2015)

ESA ICOP 2, 2005. Area classification for landfill gas extraction, utilisation and combustion. URL: http://www.ESA ICOP 2uk.org/reports_press_releases/ESA ICOP 2_reports/ICoP2_-_Landfill_Gas.pdf (27.4.2015)

ESA ICP 3, 2006. Area classification for leachate extraction, treatment & disposal. URL: http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/ICoP3_leachate.pdf (13.5.2015)

ESA ICOP 4, 2006. Waste management industry drilling into landfill waste. URL: http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/ESA_ICoP_4_%28drilling%29_v7_%28final_for_issue_on_ESA_website%29.pdf (20.5.2015)

ESA ICOP 5, 2007. Waste management industry landfill operations involving potentially explosive atmospheres. URL: http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/ICoP_5.pdf (13.5.2015)

FIŠTER, J., 2011. Vodik- proizvodnja i sigurnost prilikom eksploatacije. Ex-Bilten, 59, str. 55-60.

GAZOMAT, 2015. INSPECTRA® Laser Portable. URL: http://www.gazomat.com/Pages/INSPECTRA-Laser-Portable.aspx?language=English (1.5.2015)

HARPER, P., 2011. Assessment of the major hazard potential of carbon dioxide (CO2). URL: http://www.hse.gov.uk/carboncapture/assets/docs/major-hazard-potential-carbon-dioxide.pdf (10.3.2015)

HONEYWELL. 2012. Hazardous Location Industrial VRS Magnetic Speed Sensors. URL: http://www.farnell.com/datasheets/1838957.pdf (27.4.2015)

HORVATOVIĆ, Z., STOJKOV, M., JANKOVIĆ, Z., TOPIĆ, D., GOLOB, V. 2013. Bioplin i bioplinsko postrojenje. U: 11.skup o prirodnom plinu, toplini i vodi; 4. Međunarodni skup o prirodnom plinu, topline i void, Osijek, str. 219-228.

HRN EN 1127-1, 2012. Eksplozivne atmosfere - Sprječavanje i zaštita od eksplozije - 1. dio: Osnovna načela i metodologija

HRN EN 1149-5, 2008. Zaštitna odjeća - Elektrostatička svojstva - 5. dio: Zahtjevi za svojstva materijala i dizajn.

HRN EN 50020, 2003. Električni uređaji za potencijalno eksplozivne atmosfere -- Samosigurnost »i«

HRN EN 60079-10, 2009. Eksplozivne atmosfere - Dio 10-1: Klasifikacija ugroženih prostora - Eksplozivne atmosfere plinova.

KARAPIDAKIS, E. S., TSAVE, A. A., SOUPIOS, P. M., KATSIGIANNIS, Y. A., 2010. Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills. Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (3), str. 599-608.

KULIŠIĆ, B., 2009. Potencijal bioplina u Hrvatskoj. Energetski institu Hrvoje Požar, Sažetak izvješća.

LABELSOURCE, 2015. Are your explosive atmosphere zones clearly identified?. URL: http://www.labelsource.co.uk/news/author/Gareth.aspx?page=3 (10.4.2015)

LINDE, 2015. Zašto vodik?, URL: http://lindeplin.hr/sadrzaj.php?gs=70 (4.7.2015)

MACIEJCZYK, M., 2014., Safety of Biogas Plants, Bangkok.

MARINOVIĆ, J. J., 2005. Protueksplozijska zaštita za eksplozijsku atmosferu. Etakon d.o.o., Zagreb.

MARINOVIĆ, J. J., 2010. Oprema i instalcije za eksplozivnu atmosferu. Priručnik za projektiranje, izradu, ugradnju, održavanje i popravak – prilozi. Svezak 2. Vlastita naklada, Zagreb.

MESSER, 2015.Ugljični dioksid, URL: http://www.messer.hr/products/oplinovima/ugljicnidioksid/index.html (10.3.2015)

MONNET, F., 2003. An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes URL: http://www.biogasmax.co.uk/media/introanaerobicdigestion__073323000_1011_24042007.pdf (4.3.2015)

MTL, 2015. G1010 - Galvanic Oxygen Gas Analyzer (Panel Mount). URL: http://www.mtl-inst.com/product/g1010_-_galvanic_oxygen_gas_analyzer_panel_mount (1.6.2015

MWE, 2015. Landfill gas power solutions. URL: http://maxwattenergy.com/landfill-gas-power-solns.shtml (1.6.2015)

NARODNE NOVINE, BR. 120/12, 2012. Zakon o energiji, Zagreb, Narodne Novine d. d. URL: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_10_120_2583.html (1.3.2015)

OSHA, 2015. Hydrogen Sulfide. URL: https://www.osha.gov/Publications/hydrogen_sulfide.html(10.3.2015)

PHGDF, 2015. Deenbandhu Bio-Gas Unit. URL: http://www.grassrootsindia.com/deenbandhu.html (1.4.2015)

PUKŠEC, T., DUIĆ, N., 2010. Biogas Potential in Croatian Farming Sector. Strojarstvo, 52 (4), str. 441-448.

RADA, E. C., RAGAZZI, M., STEFANI, P., SCHIAVON, P., TORRETTA, V., 2015. Modelling the Potential Biogas Productivity Range from a MSW Landfill for Its Sustainable Exploitation.

RAJENDRAN, K., ASLANZADEH, S., TAHERZADEH, M. J. 2012. Household Biogas Digesters—A Review,Energies,str. 2911-2942.

RECCO, 2015. Antistatic coat. URL: http://www.reeco.info/pokaz_produkt.php?id=39 (3.7.2015)

RUMBAK, S., 2010. Protueksplozijska zaštita važan čimbenik sigurnosti postrojenja. Sigurnost 52 (4), str. 345-346.

SDOB, 2013. Safe delivery of biogas, URL: http://www.industry.siemens.com/datapool/industry/automation/Tech-Art/2013/RAD134/RAD134_S16_EN.pdf (10.4.2015)

STACHOWITZ, W. H., 2005. Explosion Protection Document for Gas Extraction Systems. URL: http://www.das-ib.de/mitteilungen/Sardinia_No20_Stachowitz_Explosion_Protection.pdf (16.10.2014)

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2008. Landfill gas collection and treatment systems. URL: http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-1-4016.pdf (1.7.2015)

VITALE, K., 2015. Ugljični monoksid(CO). URL: http://www.mojdoktor.hr/article.php?id=158 (1.7.2015)

ZAFAR, S, 2015. A Glance at Biogas Storage Systems. URL: http://www.bioenergyconsult.com/biogas-storage/ (20.4.2015)

ZDRAVLJE, 2015. Ministarstvo zdravlja. URL: http://www.zdravlje.hr/zakonodavstvo/zakoni_i_pravilnici/uprava_za_sanitarnu_inspekciju_i_javno_zdravstvo/zastita_od_buke (1.7.2015)

PRILOG

PRILOG 1

Obrazac za bilježenje podataka i klasifikaciju prostora (ESA ICOP 2 2005, HRN EN 60079-10)

Postrojenje:			Skica:					Zapaljivi medij:			
	Ispuštanje			Radna temperatura i tlak		Vjetrenje			Opasno područje		
No.	Dio postrojenja	Lokacija	Intenzitet	°C	mbar	Tip	Stupanj	Dostupnost	Zona opasnosti	Radijus zone (m)	#
										Vertikalno / Horizontalno	
1	**A**	**B**	**C**	**D**		**E**	**F**	**G**	**H**	**I**	**J**
2											

gdje je:

A - dio postrojenja, kao što su naprimjer igličasti bušotine ili sabirnik i treba uključivati relevantni dio stavke, primjerice "unutrašnjost", "izvan oko otvora". Jedan uređaj može imati više stavki.

B - gdje se dio postrojenja nalazi.

C - stupanj ispuštnja (kontinuirano, primarno ili sekundarno).

D - Temperatura plina s odlagališta može biti znatno veća od okolne temperature, ali temperatura malo utječe na proračun zone opasnosti.

E - Tip vjetrenja (prirodno, prisilno i mješovito).

F - Stupanj vjetrenja (visoki, srednji ili niski).

G - Raspoloživost vjetrenja (dobro, zadovoljavajuće ili loše).

H - Zona opasnosti (0, 1 ili 2).

I - Radijus zone opasnosti.

J - Važno je popuniti zbog reference na taj dio ili neki drugi dokument iz kojega je proizašlo zoniranje. Također uključuje sve nestandardne značajke i / ili razloge odstupanja od ICoP.