



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ



**Лидија Т. Милошевић**

**МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД  
ДЕПОНИЈСКОГ ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ  
ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА**

**ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА**

Ниш, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ  
FACULTY OF OCCUPATIONAL SAFETY IN NIŠ



**Lidija T. Milošević**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO LANDFILL FIRE  
RISK ASSESSMENT FOR THE PURPOSE OF AIR  
POLLUTION EVALUATION**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2016.

## Подаци о докторској дисертацији

Ментор:

др Емина Михајловић, ванредни професор  
Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу

Наслов:

Методолошки приступ процене ризика од депонијског пожара у циљу  
оцене загађености ваздуха

Резиме:

Како је област пожара на депонијама недовољно испитана и проучена ова докторска дисертација има за циљ да прикаже методолошки приступ решавања овог проблема. Вишемесечна мерење састава и концентрације депонијског гаса вршена су гасним анализатором на две депоније: на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу и регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту. Овим мерењима анализирани су индикатори пожара и индикатори загађења ваздуха. Индикатори настанка пожара су се користили да би смо доказали присуство подземних пожара или могућност настанка пожара, док индикатори загађења ваздуха су показали да је код одређених параметара дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности. Процена емисије депонијског гаса и његових главних компонената метана, угљен-диоксида и неметанских органских једињења урађена је применом математичког модела LandGem ЕРА. Процена ризика од загађења ваздуха услед емисије метана и услед пожара урађена је коришћењем програмског пакета Aloha. На основу емисије метана, који представља главну компоненту депонијског гаса а при том је запаљив и експлозиван, извршена је процена зона опасности токсичности, запаљивости притиска експлозије и топлотног зрачења. Резултати који су добијени током истраживања омогућују: идентификацију опасности од настанка пожара на депонији, процену ризика од депонијских пожара, процену емисије и зона опасности као и могућност упоредне анализе између две посматране депоније. Докторска дисертација представља резултат истраживања аутора, која

су извршена самостално и у сарадњи са ментором. Допринос резултата докторске дисертације огледа се у методолошком приступу процене ризика од пожара и процене загађења ваздуха и може се применити на сваку санитарну депонију.

Научна  
област:

Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду

Научна  
дисциплина:

Енергетски процеси и заштита

Кључне речи:

Санитарна депонија, отпад, депонијски гас, метан, индикатори пожара, индикатори загађења ваздуха, ризик од настанка пожара, емисија, зоне опасности

УДК:

614.841.2:628.473.2/.6:004.42:504.064(497.11)(043.3)

CERIF  
класификација:

T 270, Технологија животне средине, контрола загађивања

Тип лиценце  
креативне  
заједнице:

Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

**Датум одбране докторске дисертације:** \_\_\_\_\_



## Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	Emina Mihajlović, PhD, associate professor University of Niš, Faculty of Occupational Safety in Niš
Title:	Methodological Approach to Landfill Fire Risk Assessment for the Purpose of Air Pollution Evaluation
Abstract:	<p>Since landfill fires have not been sufficiently investigated and studied, the aim of this doctoral dissertation is to present a methodological approach to the issue. Measurements of landfill gas composition and concentrations spanning several months were performed by means of a gas analyzer at two landfills: a non-sanitary landfill "Bubanj" in Niš and a regional sanitary landfill "MuntinaPadina" in Pirot. The measurements were used to analyze fire indicators and air pollution indicators. The fire indicators were used to confirm the presence of underground fires or the possibility of outbreak, whereas the air pollution indicators were used to show whether specific parameters exceeded their limit or tolerable values. Assessment of landfill gas emission and its core components – methane, carbon dioxide, and non-methane organic compounds was performed using the EPA LandGem mathematical model. Assessment of air pollution risk due to methane emissions and fire was performed using ALOHA software. Assessments of hazardous zones for toxicity, flammability, explosion pressure, and heat radiation were performed based on the emission of methane, which is the main component of landfill gas and is highly flammable and explosive.</p> <p>The results obtained in the research allow the following: identification of landfill fire hazards, landfill fire risk assessment, assessment of emissions and hazardous zones, as well as comparative analysis of two landfills.</p> <p>This doctoral dissertation is a result of the author's own research and research conducted in cooperation with the doctoral supervisor. The contribution of the dissertation results pertains to the proposal of a new methodological approach of fire risk assessment and air pollution</p>

assessment, which can be applied to any sanitary landfill.

Scientific field: Environmental and Occupational Safety Engineering

Scientific discipline: Energy processes and safety

Key words: Sanitary landfill, waste, landfill gas, methane, fire indicators, air pollution indicators, fire risk, emission, hazardous zones

UDC: 614.841.2:628.473.2/.6:004.42:504.064(497.11)(043.3)

CERIF classification: T270 Environmental technology, pollution control

Creative Commons License type: (CC BY-NC-ND)

**Doctoral dissertation defence date:**\_\_\_\_\_

## ***Захвалност аутора***

*Овом приликом захваљујем се ментору др Емини Михајловић на стручној, професионалној и моралној подршци коју ми је несебично и са пуно пажње и стрпљења пружала у току истраживања, стварања и писања ове докторске дисертације.*

*Изузетну захвалност дугујем члановима комисије на корисним и добронамерним сугестијама.*

*Велико хвала упућујем својој породици и пријатељима који су ме са пуно љубави и разумевања бодрили и давали снаге током израде докторске дисертације.*

*У Нишу, августа 2016.*

*Аутор*

# С А Д Р Ж А Ј

---

1. УВОД _____	1
1.1 Опис научног проблема _____	2
1.2 Предмет истраживања _____	4
1.3 Хипотезе истраживања _____	5
1.4 Задаци и циљ истраживања _____	6
1.5 Методологија истраживања _____	7
1.6 Добијени резултати и друштвена оправданост истраживања _____	8
1.7 Структура докторске дисертације _____	8
2. САНИТАРНЕ ДЕПОНИЈЕ _____	10
2.1 Карактеристике и врсте чврстог отпада _____	12
2.2 Санитарне депоније _____	24
2.3 Процедне воде -депонијски филтрат _____	26
2.3.1 Подлога санитарне депоније _____	29
2.3.2 Дренажа подземних вода _____	30
2.3.3 Систем за прикупљање и евакуацију атмосферских падавина _____	31
2.3.4 Системи за прикупљање и третман депонијског филтрата _____	32
2.4. Депонијски гас _____	34
2.4.1 Фактори који утичу на настанак депонијског гаса _____	35
2.4.2 Стварање и састав депонијског гаса _____	38
2.4.3 Кретање депонијског гаса _____	45
2.4.4 Карактеристике метана _____	48
2.4.5 Укупна продукција метана _____	49
2.4.6 Системи за дегазацију депонијског гаса _____	51
2.4.6.1 Пасивни системи за дегазацију депонијског гаса _____	51
2.4.6.2 Активни системи за дегазацију депонијског гаса _____	55
2.5 Санитарне депоније у Републици Србији _____	57

3. ПОЖАРИ НА ДЕПОНИЈАМА _____	62
3.1 Превенција настанка пожара на депонијама _____	65
3.2 Узроци, период настанка пожара на депонијама и његове карактеристике _____	66
3.3 Врсте депонијских пожара _____	68
3.4 Индикатори за откривање "врућих тачака" у телу депоније _____	73
3.4.1 Лоцирање "врућих тачака" у телу депоније у току подземних пожара _____	75
3.4.1.1 Праћење концентрације депонијског гаса _____	75
3.4.1.2 Праћење температуре депонијског гаса _____	77
3.5 Гашење пожара на депонијама _____	79
3.5.1 Примена воде за гашење пожара _____	82
3.5.2 Примена пене за гашење пожара _____	83
3.5.3 Примена ископавања и прекривања отпада и изоловања запаљене секције _____	84
4. МЕРЕЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА _____	86
4.1 Несанитарна депонија "Бубањ" у Нишу _____	90
4.1.1 Климатске, геоморфолошке и хидрогеолошке карактеристике подручја _____	94
4.1.2 Резултати мерења депонијског гаса на биотрновима _____	97
4.1.2.1 Праћење индикатора пожара _____	102
4.1.2.2 Праћење индикатора загађења ваздуха _____	108
4.2 Регионална санитарна депонија "Мунтина падина" у Пироту _____	110
4.2.1 Климатске, геоморфолошке и хидрогеолошке карактеристике подручја _____	116
4.2.2 Резултати мерења депонијског гаса на биотрновима _____	118
4.2.2.1 Праћење индикатора пожара _____	121
4.2.2.2 Праћење индикатора загађења ваздуха _____	127
4.3 Упоредни резултати мерења несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу и регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту _____	129
5. ПРОЦЕНА КОЛИЧИНЕ МЕТАНА НА САНИТАРНИМ ДЕПОНИЈАМА _____	136
5.1 Математички модели за прорачун емисије метана _____	137
5.1.1 SWANA модел _____	137
5.1.2 Модел TNO _____	144
5.1.3 Више-фазни модел - Afvalzorg model _____	145
5.1.4 LandGem EPA модел _____	146

5.1.5 GasSim модел _____	147
5.1.6 Француски EPER модел _____	148
5.1.7 Немачки EPER модел _____	150
5.2 Процена количине депонијског гаса на несанитарној депонији „Бубањ” у Нишу _____	150
5.3 Процена количине депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту _____	158
6. ПРОЦЕНА РИЗИКА И СИМУЛАЦИЈА ЗАГАЂЕЊА ВАЗДУХА, ПОЖАРА И ЕКСПЛОЗИЈА УСЛЕД ЕМИСИЈЕ МЕТАНА СА ДЕПОНИЈЕ _____	166
6.1 Процена ризика од загађења ваздуха, пожара и експлозија услед емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу _____	169
6.2 Процена ризика од загађења ваздуха, пожара и експлозија услед емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту _____	174
ЗАКЉУЧАК _____	178
ЛИТЕРАТУРА _____	182
БИОГРАФИЈА АУТОРА _____	192
ИЗЈАВЕ АУТОРА _____	193

## КОРИШЋЕНЕ СКРАЋЕНИЦЕ

Скраћеница	Оригинални назив	Назив на српском језику
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie	Француска агенција за животну средину и управљање енергијом
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres	Просторне локације опасних атмосфера
EPER	The European Pollutants Emission Register	Европски регистар емисија загађујућих материја
GWP	Global Warning Potential	Потенцијал глобалног загревања
LANDGEM	Landfill Gas Emissions Model	Модел емисија депонијског гаса
LOC	Levels of Concern	Нивои упозорења
NMOC	Non-Methane Organic Compound	Неметанска органска једињења
SWANA	The Solid Waste Association of North America	Северноамеричко удружење за управљање чврстим отпадом
TNO	The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research	Холандска организација за примењена научна истраживања
U.S. EPA	U.S. Environmental Protection Agency	Агенције за заштиту животне средине Сједињених Америчких Држава

## ПОПИС КОРИШЋЕНИХ ВЕЛИЧИНА

Ознака величина	Назив величина	Јединице величина
$A$	маса отпада на једном месту	[t]
$A_{\text{CH}_4}$	сакупљена запремина емитованог метана у току године	[m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> /god]
$A_j$	количина отпада у $j$ -тој години	[t]
$A_i$	фактор нормализације	[-]
$BDC$	маса биоразградивог угљеника	[tC/Mg <sub>отпада</sub> ]
$BDC_f$	биоразградиви створени угљеник 0,5	[-]
$C$	концентрација метана 50	[%]
$C_a$	концентрација	[g/m <sup>3</sup> ]
$C_0$	количина органског угљеника у отпаду	[kgC/ t <sub>отпада</sub> ]
$C_{OM}$	масена концентрација органских материја у отпаду	[kg <sub>OM</sub> / t <sub>отпада</sub> ]
$C_{OM,i,j}$	масена концентрација органских материја у $i$ -тој фракцији која се депонује у $j$ -тој години	[kg <sub>OM</sub> / t <sub>отпада</sub> ]
[CH <sub>4</sub> ]	запреминска концентрација метана у депонијском гасу	[m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> /m <sup>3</sup> <sub>dg</sub> ]
$D$	коэффициент дифузије	[m <sup>2</sup> /s]
$D_m$	ефикасност сакупљања метана	[-]
$D_z$	коэффициент ефективне дифузије	[m <sup>2</sup> /s]
$F$	фактор формираног угљеника у метану	[t <sub>CH<sub>4</sub></sub> /tC]
$F_{dg}$	степен запреминске екстракције депонијског гаса	[m <sup>3</sup> <sub>dg</sub> /h]
$F_r$	фракција отпада која се брзо разлаже	[%]
$F_s$	фракција отпада која се споро разлаже	[%]
$FE_{\text{CH}_4}$	годишња запреминска емисија метана	[m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> /god]
$FE_0$	потенцијал запреминске емисије метана у односу на масену количину отпада	[m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> / t <sub>отпада</sub> ]
$G$	запреминска емисија метана у јединици времена (запремински проток)	[m <sup>3</sup> <sub>CH<sub>4</sub></sub> /god]
$H$	број сати рада компресора током године	[h/god]



Ознака величина	Назив величина	Јединице величина
$L_0$	потенцијал запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада	$[m^3_{CH_4}/t_{otpada}]$
$M$	годишња маса депонованог отпада	$[t_{otpada}/god]$
$M_e$	масена емисија метана у току године	$[t_{CH_4}/god]$
$M_i$	маса отпада $i$ -тог дела	$[t]$
$N_a$	флукс гаса	$[g/m^2s]$
$O$	конвекција депонијског гаса	$[g/m^3s]$
$P$	запреминска емисија метана по години	$[m^3_{CH_4}/god]$
$Q_{CH_4}$	запреминска емисије метана по години	$[m^3_{CH_4}/god]$
$V_z$	конвективна брзина	$[m/s]$
$W$	маса отпада	$[t]$
$c$	фактор конверзије	$[m^3_{dg}/kg_{OMdeg}]$
$k$	константа брзине распадања	$[god^{-1}]$
$k_{CH_4}$	константа стварања метана	$[god^{-1}]$
$k_i$	константа брзине распадања $i$ -те фракције	$[god^{-1}]$
$k_p$	унутрашња пропустљивост	$[m^2]$
$k_r$	константа брзине распадања за отпад који се брзо разлаже	$[god^{-1}]$
$k_s$	константа брзине распадања за отпад који се споро разлаже	$[god^{-1}]$
$m$	број година депоновања отпада	$[-]$
$n$	број фракција	$[-]$
$p$	притисак	$[Pa]$
$p_i$	фракције отпада са степеном деградације $k_i$	$[kg_i/kg_{otpada}]$
$s$	константа брзине фазног распадања	$[god^{-1}]$
$t$	време након одалагања отпада	$[god]$
$t_1$	време од одлагања отпада до почетка продукције метана	$[god]$

Ознака величина	Назив величина	Јединице величина
$t_f$	време завршетка продукције метана	[god]
$t_i$	старост отпада $i$ -тог дела	[god <sup>-1</sup> ]
$z$	дубина	[m]
$\alpha$	укупна порозност	[-]
$\alpha_{gas}$	порозност гаса	[-]
$\alpha_t$	запреминска емисија депонијског гаса за временски перод $t$	[m <sup>3</sup> <sub>dg</sub> /god]
$\zeta$	фактор распадања	[-]
$\mu$	динамичка вискозност смеше гаса	[Pa·s]
$\eta$	ефикасност екстакције	[-]
1,87	фактор конверзије	[m <sup>3</sup> <sub>dg</sub> /kg <sub>Craspad</sub> ]

## СПИСАК СЛИКА

Бр. слике	Назив слике	Страна
Слика 2.1	<i>Генерисани отпад на територији Републике Србије</i>	13
Слика 2.2	<i>Морфолошки састав комуналног отпада у Републици Србији</i>	17
Слика 2.3	<i>Упоредни приказ морфолошког састава отпада у летњем, зимском и пролећном периоду у Републици Србији</i>	17
Слика 2.4	<i>Упоредни приказ морфолошког састава отпада у јесењем, летњем, зимском и пролећном периоду у САД-у</i>	18
Слика 2.5	<i>Изглед санитарне депоније</i>	25
Слика 2.6	<i>Постављање непропусне подлоге на регионалној санитарној депонији "Минтина падина" у Пироту</i>	30
Слика 2.7	<i>Постављање цеви за дренажу подземних вода на регионалној санитарној депонији "Срем-Мачва" у Шапцу и Сремској Митровици</i>	31
Слика 2.8	<i>Ободни канали за прикупљање и евакуацију атмосферских падавина на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	32
Слика 2.9	<i>Аерациона и таложна лагуна на регионалној санитарној депонији "Минтина падина" у Пироту</i>	33
Слика 2.10	<i>Дијаграм продукције депонијског гаса у зависности од времена депонованог отпада</i>	34
Слика 2.11	<i>Утицај влаге на стварање депонијског гаса</i>	36
Слика 2.12	<i>Фазе настанка депонијског гаса</i>	40
Слика 2.13	<i>Састав депонијског гаса у фазама распада отпада</i>	41
Слика 2.14	<i>Вентилационе шљунчане ћелије за евакуацију гасова</i>	51
Слика 2.15	<i>Вентилациони екрани за вентилацију гасова</i>	52
Слика 2.16	<i>Постављени биотрнови на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	52
Слика 2.17	<i>Пресек биотрна после депоновања слојева отпада и инертног материјала висине 2,5m</i>	54
Слика 2.18	<i>Пресек биотрна по покривању заштитним слојем за техничку и биолошку рекултивацију</i>	54

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 2.19	<i>Активни систем за дегазацију депонијског гаса</i>	55
Слика 2.20	<i>Вертикални екстракциони бунар</i>	56
Слика 2.21	<i>Хоризонтални екстракциони бунар</i>	56
Слика 2.22	<i>Региони за управљање отпадом у Републици Србији</i>	60
Слика 3.1	<i>Приказ карактеристичних појава на депонији</i>	63
Слика 3.2	<i>Месечна учесталост пожара на депонији</i>	66
Слика 3.3	<i>Учесталост пожара насталих спонтаним сагоревањем на депонији</i>	67
Слика 3.4	<i>Заступљеност процеса и стања присутних у току пожара</i>	68
Слика 3.5	<i>Период трајања пожара на депонији</i>	68
Слика 3.6	<i>Места настака подземних пожара</i>	71
Слика 3.7	<i>Процентуална заступљеност индикатора пожара на депонији</i>	73
Слика 3.8	<i>Процентуална заступљеност метода за гашење пожара на депонији</i>	81
Слика 4.1	<i>Гасни анализатор MRU-Vario Plus Industrial</i>	89
Слика 4.2	<i>Термовизијска камера EasIR-9</i>	90
Слика 4.3	<i>Положај несанитарне депоније "Бубањ" у односу на град Нишу</i>	90
Слика 4.4	<i>Приказ сегмена S1, S2, S3 и S4 на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	91
Слика 4.5	<i>Активни део S4 несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	92
Слика 4.6	<i>Пасивни систем за дегазацију депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	93
Слика 4.7	<i>Ружа ветрова по честини и по брзини за подручје Града Ниша</i>	95
Слика 4.8	<i>Распоред биотрнова на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	98
Слика 4.9	<i>Мерно место на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	98
Слика 4.10	<i>Утицај амбијенталне температуре на концентрацију метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	102
Слика 4.11	<i>Термовизијски снимци биотрнова на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	103
Слика 4.12	<i>Вредности измерене температуре депонијског гаса на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	104

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 4.13	<i>Измерене вредности концентрације угљен-монооксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	105
Слика 4.14	<i>Вредности измерених концентрација кисеоника на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	105
Слика 4.15	<i>Измерене вредности концентрације метана на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	106
Слика 4.16	<i>Измерене вредности концентрације угљен-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	107
Слика 4.17	<i>Однос концентрација метана и угљен-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	107
Слика 4.18	<i>Измерене вредности концентрације угљен-монооксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	109
Слика 4.19	<i>Измерене вредности концентрације азотних оксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	109
Слика 4.20	<i>Измерене вредности концентрације сумпор-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	110
Слика 4.21	<i>Положај регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у односу на град Пирот</i>	111
Слика 4.22	<i>Шематски приказ регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	112
Слика 4.23	<i>Изглед регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	113
Слика 4.24	<i>Пасивни систем за дегазацију депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	113
Слика 4.25	<i>Графички приказа руже ветрова за подручје Пирота</i>	116
Слика 4.26	<i>Распоред биотрнова на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	118
Слика 4.27	<i>Мерно место на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	119
Слика 4.28	<i>Утицај амбијенталне температуре на концентрацију метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	121

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 4.27	<i>Термовизијски снимци биотрнова на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	123
Слика 4.28	<i>Вредности измерене температуре депонијског гаса на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	123
Слика 4.29	<i>Измерене вредности концентрације угљен-монооксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	124
Слика 4.30	<i>Вредности измерених концентрација кисеоника на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	125
Слика 4.31	<i>Измерене вредности концентрације метана на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	125
Слика 4.32	<i>Измерене вредности концентрације угљен-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	126
Слика 4.33	<i>Однос концентрације метана и угљен-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	126
Слика 4.34	<i>Измерене вредности концентрације угљен-монооксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	128
Слика 4.35	<i>Измерене вредности концентрације азотних оксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	128
Слика 4.36	<i>Измерене вредности концентрације сумпор-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	129
Слика 4.37	<i>Упоредни приказ измерених вредности температуре са нишке и пиротске депоније</i>	130
Слика 4.38	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрације угљен-монооксида са нишке и пиротске депоније</i>	130

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 4.39	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрације кисеоника са нишке и пиротске депоније</i>	131
Слика 4.40	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрације метана са нишке и пиротске депоније</i>	132
Слика 4.41	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрације угљен-диоксида са нишке и пиротске депоније</i>	132
Слика 4.42	<i>Упоредни приказ односа концентрације метана и угљен-диоксида са нишке и пиротске депоније</i>	133
Слика 4.43	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрација угљен-моноксида са нишке и пиротске депоније</i>	133
Слика 4.44	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрација азотних оксида са нишке и пиротске депоније</i>	134
Слика 4.45	<i>Упоредни приказ измерених вредности концентрација сумпор-диоксида са нишке и пиротске депоније</i>	135
Слика 5.1	<i>Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за први модел SWANA</i>	138
Слика 5.2	<i>Време одложеног отпада у односу на продукцију метана у зависности од старости депоније за први модел SWANA</i>	138
Слика 5.3	<i>Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за други модел SWANA</i>	139
Слика 5.4	<i>Вредности константе брзине распадања за други модел SWANA</i>	140
Слика 5.5	<i>Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за трећи модел SWANA</i>	141
Слика 5.6	<i>Вредности константе брзине распадања за трећи модел SWANA</i>	141
Слика 5.7	<i>Вредности константе брзине фазног распадања за трећи модел SWANA</i>	141
Слика 5.8	<i>Вредности потенцијала запреминске емисије метана за четврти модел SWANA</i>	142
Слика 5.9	<i>Вредности константе брзине распадања за отпад који се брзо разлаже за четврти модел SWANA</i>	143

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 5.10	<i>Вредности константе брзине распадања за отпад који се споро разлаже за четврти модел SWANA</i>	143
Слика 5.11	<i>Процентуална заступљеност фракција у отпаду које се брзо и споро разлажу за четврти модел SWANA</i>	143
Слика 5.12	<i>Предикција укупне масене емисије депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	154
Слика 5.13	<i>Предикција укупне запреминске емисије депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	155
Слика 5.14	<i>Предикција укупне масене емисије метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	155
Слика 5.15	<i>Предикција укупне запреминске емисије метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	156
Слика 5.16	<i>Предикција укупне масене емисије угљен-диоксида на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	156
Слика 5.17	<i>Предикција укупне запреминске емисије угљен-диоксида на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	157
Слика 5.18	<i>Предикција укупне масене емисије неметанских органских једињења на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	157
Слика 5.19	<i>Предикција укупне запреминске емисије неметанских органских једињења на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	158
Слика 5.20	<i>Предикција укупне масене емисије депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	162
Слика 5.21	<i>Предикција укупне запреминске емисије депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	162
Слика 5.22	<i>Предикција укупне масене емисије метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	163
Слика 5.23	<i>Предикција укупне запреминске емисије метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	163
Слика 5.24	<i>Предикција укупне масене емисије угљен-диоксида на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	164
Слика 5.25	<i>Предикција укупне запреминске емисије угљен-диоксида на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	164



<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 5.26	<i>Предикција укупне масене емисије неметанских органских једињења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	165
Слика 5.27	<i>Предикција укупне запреминске емисије неметанских органских једињења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	165
Слика 6.1	<i>Предикција токсичних зона услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	170
Слика 6.2	<i>Мапни приказ предикције токсичних зона услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	170
Слика 6.3	<i>Предикција зоне настанака пожара услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	171
Слика 6.4	<i>Мапни приказ предикције зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	171
Слика 6.5	<i>Предикција зоне од настанка притиска експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	172
Слика 6.6	<i>Мапни приказ предикције зоне притиска експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	172
Слика 6.7	<i>Предикција зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	173
Слика 6.8	<i>Мапни приказ предикције зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу</i>	173
Слика 6.9	<i>Предикција токсичних зона услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	174
Слика 6.10	<i>Мапни приказ предикције токсичних зона услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	175

<b>Бр. слике</b>	<b>Назив слике</b>	<b>Страна</b>
Слика 6.11	<i>Предикција зоне настанака пожара услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	175
Слика 6.12	<i>Мапни приказ предикције зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	176
Слика 6.13	<i>Предикција зоне од настанак притиска експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	176
Слика 6.14	<i>Мапни приказ предикције зоне притиска експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	176
Слика 6.15	<i>Предикција зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	177
Слика 6.16	<i>Мапни приказ предикције зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту</i>	177

## СПИСАК ТАБЕЛА

<b>Бр. табеле</b>	<b>Назив табеле</b>	<b>Страна</b>
Табела 2.1	<i>Место и порекло настанка отпада у Републици Србији</i>	14
Табела 2.2	<i>Пројектоване количине отпада у Републици Србији</i>	15
Табела 2.3	<i>Количине произведеног отпада у 2009. години и у 2020. години у Републици Србији</i>	19
Табела 2.4	<i>Густина појединих компонената комуналног отпада</i>	21
Табела 2.5	<i>Садржај влаге код појединих компонената комуналног отпада</i>	22
Табела 2.6	<i>Топлотна моћ појединих компонената комуналног отпада</i>	22
Табела 2.7	<i>Хемијска анализа комуналног отпада са депонија</i>	23
Табела 2.8	<i>Састав и концентрација депонијског филтрата</i>	28
Табела 2.9	<i>Време разлагања поједине врсте отпада</i>	35
Табела 2.10	<i>Активност бактерија на одређеним температурама приликом разградње отпада</i>	37
Табела 2.11	<i>Састав депонијског гаса</i>	41
Табела 2.12	<i>Компоненте које се у траговима налазе у депонијском гасу</i>	42
Табела 2.13	<i>Особине депонијског гаса и његових главних компонената</i>	43
Табела 2.14	<i>Утицај и опасности компонената депонијског гаса на животну средину</i>	44
Табела 2.15	<i>Карактеристике неких материјала за прекривање депоније</i>	46
Табела 2.16	<i>Физичко-хемијске карактеристике метана</i>	48
Табела 2.17	<i>Количина ослобођеног метана процесом оксидације</i>	50
Табела 2.18	<i>Регионалне санитарне депоније у Републици Србији</i>	58
Табела 3.1	<i>Подаци о настанку пожара на територији Републике Србије</i>	64
Табела 3.2	<i>Подаци о настанку пожара на територији Нишавског округа</i>	64
Табела 3.3	<i>Интервал запаљивости и температура самопаљења појединих компонената депонијског гаса</i>	70
Табела 3.4	<i>Вредности концентрација компонената депонијског гаса</i>	75
Табела 3.5	<i>Промене концентрација компонената депонијског гаса у току пожара</i>	76

<b>Бр. табеле</b>	<b>Назив табеле</b>	<b>Страна</b>
Табела 3.6	<i>Емпиријска скала за процену настанка пожара у телу депоније на основу концентрације угљен-монооксида</i>	76
Табела 3.7	<i>Вредности температуре као индикатори настанка пожара</i>	77
Табела 3.8	<i>Температурни интервал "врућих тачака" у телу депоније</i>	79
Табела 3.9	<i>Вредности топлотне моћи различите врсте отпада</i>	79
Табела 4.1	<i>Главне компоненте депонијског гаса</i>	87
Табела 4.2	<i>Морфолошки састав комуналног отпада на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	93
Табела 4.3	<i>Количина отпада на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	94
Табела 4.4	<i>Карактеристичне вредности температура ваздуха за град Ниш</i>	95
Табела 4.5	<i>Резултати мерења температуре и концентрације компонента депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу</i>	99
Табела 4.6	<i>Метеоролошки параметри за град Ниш, 2. јун 2015. године</i>	102
Табела 4.7	<i>Морфолошки састав комуналног отпада на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	114
Табела 4.8	<i>Количина отпада која се одлаже на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	115
Табела 4.9	<i>Количине отпада у по годинама која треба да се депонује на регионалну санитарну депонију "Мунтина падина" у Пироту</i>	115
Табела 4.10	<i>Резултати мерења температуре и концентрације компонента депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	119
Табела 4.11	<i>Метеоролошки параметри за град Пирот, 13.07.2015. године</i>	122
Табела 4.12	<i>Дубина биотрнова на којима су вршена мерења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту</i>	122
Табела 5.1	<i>Вредности садржаја органског угљеника за TNO модел</i>	144
Табела 5.2	<i>Вредности масене концентрације органских материја за Afvalzorg модел</i>	145

<b>Бр. табеле</b>	<b>Назив табеле</b>	<b>Страна</b>
Табела 5.3	<i>Вредности фактора распадања и константе брзине распадања i-те фракције за Afvalzorg модел</i>	146
Табела 5.4	<i>Категорије отпада и масена концентрација органског угљеника за GasSim модел</i>	147
Табела 5.5	<i>Вредности константе брзине распадања i-те фракције за GasSim модел</i>	148
Табела 5.6	<i>Вредност потенцијала запреминске емисије метана у зависности од врсте отпада и ADEME моделу</i>	149
Табела 5.7	<i>Вредности константе брзине распадања у зависности од процентуалне заступљености одређених фракција по ADEME моделу</i>	149
Табела 5.8	<i>Масена и запреминска емисија депонијског гаса и метана са депоније "Бубањ" у Нишу по годинама</i>	151
Табела 5.9	<i>Масена и запреминска емисија депонијског гаса и метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту по годинама</i>	159

# 1. УВОД

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

## 1.1 Опис научног проблема

У периоду транзиционих промена, у којима постоји мањак законских регулатива, стратегија и стандарда, појављују се разне методологије са циљем унапређења управљања комуналним отпадом у појединим општинама. Кључни фактор у одређивању начина управљања отпадом је састав и количина отпада.

Постојеће стање у општинама Републике Србије карактеришу непоздани и непотпуни подаци о количини и квалитету генерисања комуналног отпада. Разлог томе лежи у чињеници да су у већини општина подаци застарели, али се и даље користе као поуздани индикатор при изради планова управљања комуналним отпадом.

Данас, општине у нашој земљи улажу напоре на изради савремених планова управљања отпадом, који доприносе унапређењу заштити животне средине и заштити од пожара. Такође, у научној и стручној литератури готово и да не постоје подаци о депонијским пожарима и њиховим последицама. Савремене методе управљања комуналним отпадом захтевају базу података која садржи евиденцију о количини отпада, саставу и његовом третману.

Последњи и једини национални подаци о саставу и количини отпада датирају од 2010. године, када је Влада Републике Србије донела Стратегију управљања отпадом за период од 2010-2019. године ("Сл гласник РС" бр. 29/10). Према тим подацима, заснованим на репрезентативним узорцима из 160 општина, процењено је да се у Србији генерише 0,87 kg/dnevno отпада по становнику на дан, што је 318 t/dnevno. С обзиром да је број становника у Републици Србији 7.443.183 укупна производња отпада је 2.373.374 t/god. Процентуални састав компоненти отпада није одређен, а нису дати ни подаци о депонијским пожарима и њиховим последицама на животну средину.

Скупштина Републике Србије донела је 2010. год. Националну стратегију за укључивање Републике Србије у механизам чистог развоја Кјото протокола за секторе управљања отпадом, пољопривреде и шумарства ("Сл. Гласник РС", бр. 8/2010). Ова стратегија указује на озбиљност проблематике управљања отпадом. Депоније у Републици Србији представљају на свим локацијама повећане ризике везане за:

- емисију метана (CH<sub>4</sub>), депонијског гаса који има значајан допринос на ефекат стаклене баште;
- емисију смеше гасова које настају при депонијском пожару и доводе до значајног ризика у погледу загађења ваздуха;
- загађење подземних вода услед инфилтрације процедурних вода.

Ова Национална стратегија ослања се на податке из 2003. године и на основу упутства Међународног панела о промени климе процењује да је укупна емисија метана у депонијском гасу са свих депонија 82 000 t годишње.

Депонијски гас настаје у анаеробном процесу разлагања, односно процесу разлагања органског отпада у одсуству кисеоника. Овако настао гас садржи велики проценат метана (у просеку око 50 %) чији је потенцијал глобалног загревања 21 (GWP=21, *Global Warning Potential*). То значи да је утицај метана на ефекат стаклене баште двадесет и један пут већи од утицаја који настаје услед директне емисије угљен-диоксида. С друге стране метан је лако запаљив гас који најчешће доводи до пожара на депонијама, што за последицу нема само повећање емисије угљен-диоксида, већ читавог низа токсичних супстанци насталих при неконтролисано сагоревању или термичким разлагањем комуналног отпада различитог хемијског састава.

Из тих разлога Уредбом о одлагању отпада на депоније ("Сл. гласник РС", бр. 92/2010) предвиђено је успостављање система контролисаног одлагања и предвиђене су стопе смањења одлагања биоразградивог отпада на депоније и то:

- у периоду од 2012. до 2016. године - најмање 25 % од укупне количине (по тежини) биоразградивог комуналног отпада;
- у периоду од 2017. до 2019. године - најмање 50 % од укупне количине (по тежини) биоразградивог комуналног отпада;
- у периоду од 2020. до 2026. године - најмање 65 % од укупне количине (по тежини) биоразградивог комуналног отпада.

Ова Уредба указује на велики степен ризика загађења ваздуха који настаје услед трајања пожара на санитарним и дивљим депонијама. То је један од основних разлога који је утицао на избор теме ове докторске дисертације чија истраживања су усмерена на постизању доприноса бржем, ефикаснијем и сврсисходнијем решењу ове проблематике.



Зависно од састава, количине и карактеристика опасних материја присутних у емитованом депонијском гасу зависи степен хемијског загађења атмосфере, земљишта и воде што у случају пожара на депонији може да доведе до још озбиљнијих последица, које могу ретко територијално да буду ограничене само на комплекс депоније, већ често и много шире.

Последице акцидента изазваних депонијским пожаром су вишеструке: угрожавање живота људи и животиња који су експонирани штетним и/или токсичним гасовима, загађење хране, ваздуха, воде, земљишта и немогућност обраде пољопривредног земљишта.

Процена ризика од пожара кроз реализацију фазе мониторинга, односно праћења састава и количина депонијског гаса, омогућава да се последице акцидента сведу на најмању могућу меру.

Прва фаза у реализацији процене ризика од депонијских пожара обухвата идентификацију и анализу опасности, а кроз остале фазе процене врши се идентификација хемијског загађења ваздуха са циљем усвајања метода управљања депонијским пожаром.

Загађење ваздуха емисијом депонијског гаса и продуктима пожара на депонијама, за разлику од других хемијских удеса могу се предвидети према месту настанка и према њиховом даљем ширењу.

## **1.2 Предмет истраживања**

Управљање комуналним отпадом је веома сложен процес. У индустријским земљама по становнику настаје од 300 до 400 kg/god отпада. Отпад се сакупља и одлаже на безбедним санитарним депонијама, које подразумевају заштиту подземних вода као и заштиту ваздуха од опасног депонијског гаса. Депонијски гас настаје разградњом органских супстанци под утицајем микроорганизама у анаеробним условима. Временом, услед нагомилавања депонијског гаса у телу депоније настаје надпритисак, па депонијски гас прелази у околину. Просечан састав депонијског гаса је од 35 до 60 %<sub>vol</sub> метана, од 37 до 50 %<sub>vol</sub> угљен-диоксида и у мањим количинама се могу наћи: угљен-моноксид, азот, водоник-сулфид, флуор, хлор, ароматични угљоводоници и други гасови. На основу наведеног састава депонијског гаса, може се уочити да је он врло опасан по животну средину, здравље људи,

животиња и биљака, али и по инфраструктурне објекте у близини депонија, јер је метан у одређеним условима запаљив, па на депонији може да дође и до пожара и експлозија. У случају да до пожара не дође, емисија метана утиче на глобално загревање.

Да би се смањили негативни утицаји неконтролисаног ширења депонијског гаса и пожара, изводи се планско сакупљање и усмеравање депонијског гаса ка месту сагоревања, што може да омогући коришћење добијене топлотне енергије на депонији. Нажалост законска обавеза сакупљања и спаљивања депонијског гаса у енергетске сврхе, у Републици Србији не постоји, али би она довела до решења смањења ризика од пожара и загађења животне средине уз економску добит. Овај концепт подразумева примену у развијеним земљама, већ усвојених технологија.

Предмет истраживања, теме докторске дисертације: "**МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА**", урађена је у складу са постојаћом законском регулативом: Законом о заштити од пожара, („Сл. гласник РС”, бр. 111/09 и 20/2015), Законом о заштити ваздуха ("Сл. гласник РС", бр. 36/2009 и 10/2013), Уредбом о мерењу емисије загађујућих материја у ваздуху из стационарних извора загађења ("Сл. гласник РС", бр. 5/2016), Уредбом о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС", бр. 11/10, 75/10 и 63/13) и Националним програмом заштите животне средине који је донела Влада Републике Србије, 2010. године.

### **1.3 Хипотезе истраживања**

Основна хипотеза, од које се полази у истраживању је постојање узрочно последичне повезаности количине депонованог отпада и стварања депонијског гаса као и депонијског гаса и загађења ваздуха услед њихових емисија загађујућих супстанци насталих у процесу разградње отпада.

Сазнајна вредност основне хипотезе базира се на чињеници да је депонован отпад хетерогеног састава, да се приликом његовог разлагања емитује депонијски гас а и да се при процесу сагоревања отпада емитује смеша гасова која је различитог степена токсичности и која доводи до загађења ваздуха.

Верификација хипотезе урађена је применом математичког модела за процену количине депонијског гаса и метана LanGem US EPA v.3.02 као и програмским пакетом методе симулације депонијског пожара и утврђивањем граница распрострањања загађујућих супстанци у ваздуху применом софтверског пакета Aloha v.5.4.4 (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*).

У оквир основне хипотезе садржане су и помоћне хипотезе које следе као логичка последица постојања основне хипотезе. Једна од примарних помоћних хипотеза је деградација животне средине настала загађењем ваздуха који се јавља као последица депонијског пожара.

Хипотезе од којих се полази у истраживању дају логичку целину и могућност изналажења решења у области истраживања.

## **1.4 Задаци и циљ истраживања**

Основни задатак истраживања обухватио је израду методологије за процену ризика настанка депонијског пожара. У методологији примат се даје доношењу оцене ризика од настанка пожара праћењем индикатора пожара, праћења индикатора загађења ваздуха и стања загађености ваздуха утврђивањем нивоа концентрација загађујућих супстанци.

У циљу доношења адекватне оцене ризика од настанка пожара и загађености ваздуха спровело се мерење састава депонијског гаса и утврдила се узрочна веза између старости и састава депонованог отпада на Регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту као и на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу.

Применом програмског пакета Aloha v.5.4.4 применила се адекватна метода симулације пожара и предвиђања емисионих и имисионих концентрација у зависности од карактеристика санитарних депонија (депонованог отпада, старости депоније, величине насеља из кога се одлаже отпад, итд.).

У циљу истраживања доприноса депонијског пожара у загађењу ваздуха извршила се упоредна анализа измерених компонената депонијског гаса са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу и регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту .

Такође један од циљева истраживања је и развој прототипа програма за стварање базе података потребне за процену ризика од депонијских пожара, загађења ваздуха и смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште.

## **1.5 Методологија истраживања**

У току научноистраживачког рада користиле су се основне научне методе анализе и статистичке методе. Реализација научне методе анализе захтевале су комплексан приступ и систематичност у току истраживања свих параметара који су дали особеност узрочно последичне повезаности депонијског пожара и загађења ваздуха.

Научна метода анализе омогућила је стицање сазнајне вредности узрочности, условљености, законитости везе између анализираних појава и њене последице као и утврђивања њихових односа.

Статистичка метода која је примењена у току научноистраживачког рада омогућила је утврђивање одређености статистичке масе података које су у раду презентоване кроз одговарајуће табеле или дијаграме и које су недвосмислено омогућили дедуктивно објашњење анализираних појава и стања.

Стање загађености ваздуха које се јавља као нужна последица појаве депонијског пожара утврђено је методама мерења и методама математичких модела који се користе за симулацију пожара са једне стране и распрострањања гасовитих загађујућих супстанци у ваздух са друге стране.

Дакле, у току научноистраживачког рада вршена је примена посебних метода истраживања и то математичког модела LandGem US EPA за процену емисије депонијског гаса и његових компонената метана, угљен-диоксида и неметанских органских једињења као и математичких модела за симулацију пожара применом софтверских пакета Aloha и Cameo.

## **1.6 Добијени резултати и друштвена оправданост истраживања**

Основни допринос научноистраживачког рада је у формирању новог методолошког приступа који може да се примени за сваку конкретну анализирану средину, а који омогућава процену ризика од депонијског пожара и утврђивање стања загађености ваздуха.

Поред основног доприноса може се напоменути да израда нове методологије у случају акцидентата омогућава примену адекватних мера заштите од пожара, заштите животне средине и евакуацију становништва.

Примена нове методологије даје општи допринос истраживању у области заштите од пожара и заштите животне средине посебно њене под области заштите ваздуха. Општи допринос се огледа и кроз смањење ризика настајања депонијских пожара, смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште, управљање ризиком који са собом носи одлагање комуналног отпада на санитарним и дивљим депонијама.

Посебна друштвена оправданост истраживања је у дефинисању граница угрожених зона депонијским пожаром.

## **1.7 Структура докторске дисертације**

Докторска дисертација, садржи шест тематских целина.

У првом поглављу приказани су опис научног проблема, предмет истраживање, хипотезе истраживања, задаци и циљ истраживања и добијени резултати и друштвена оправданост.

У другом поглављу дат је ближи појмовни и садржајни приказ комуналног отпада и санитарних депонија. Посебан осврт дат је на појаву настанка депонијског филтрата са акценатом на стварање депонијског гаса који насатају услед разградње чврстог комуналног отпада на санитарним депонијама.

У трећем поглављу приказани су узроци настанка пожара на депонијама, период настанка пожара а посебно су објашњене врсте депонијских пожара. У овом поглављу дефинисани су и ближе одређени индикатори пожара и индикатори загађења ваздуха. Кратак осврт дат је и на превентивне мере од настанка депонијских пожара као и на гашење пожара на депонијама.

У четвртом поглављу приказани су резултати вишемесечних мерења концентрација компонената депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу и регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту. Праћењем индикатора пожара извршена је процена ризика од пожара на обе депоније а праћењем индикатора загађења ваздуха показано је да ли има прекорачења граничних и толерантних вредности концентрација загађујућих супстанци у депонијском гасу на обе депоније. Такође су приказани упоредни резултати мерења концентрација компонената депонијског гаса са обе депонија.

У петом поглављу приказани су математички модели за процену емисије депонијског гаса, и метана као његове главне компоненте која је потенцијални узрочник настанка депонијских пожара. Применом математичког модела LandGem US EPA v.3.02 , извршена је процена запреминске и масене емисије депонијског гаса, метана, угљен-диоксида и неметанских органских једињења за несанитарну депонију "Бубањ" у Нишу и за регионалну санитарну депонију "Мунтина падина" у Пироту.

У шестом поглављу применом софтверског пакета Aloha v.5.4.4 урађена је симулација депонијског пожара и утврђивањем граница распрострањања загађујућих супстанци у ваздуху за несанитарну депонију "Бубањ" у Нишу и за регионалну санитарну депонију "Мунтина падина" у Пироту. Извршена је и предикција зона настанка пожара, зона притиска експлозије и зона топлотног зрачења услед пожара и експлозија за обе депоније.

Закључно поглавље садржи коментаре од интереса за реализовано истраживање, као и смернице за даља истраживања у предметној области.

Попис коришћене литературе и биографија аутора дисертације су дати након закључних разматрања. На крају текста дисертације дате су изјаве аутора дисертације које се односе на ауторство, истоветност штампаног и електронског облика дисертације и модел-лиценцу коришћења текста дисертације.

## **2. САНИТАРНЕ ДЕПОНИЈЕ**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

Нагла урбанизација и индустријализација доприносе потрошњи свих врсти роба и производа, што за последицу има настајање све веће количине отпада. Највећа продукција отпада је у земљама које су економски развијене. У Европи пораст количине отпада расте 1,2 % годишње. Количина насталог отпада се значајно разликује како између држава тако и у оквиру једне државе. Постојеће стање у Републици Србији карактеришу непоуздани и непотпуни подаци о количини стварања комуналног отпада те се количине комуналног отпада на годишњем нивоу прорачунавају на основу мерења отпада у референтним локалним самоуправама. Према стратегији управљања отпадом Републике Србије од 2010. до 2019. године, за пројекцију стварања комуналног отпада узети су у обзир подаци о порасту броја становника, промени животног стандарда грађана као и систему организованог сакупљања комуналног отпада. Пројектоване количине комуналног отпада су за 2010. годину 2.451.000 t/god, за 2014. годину 2.785.000 t/god, а за 2019. годину 3.268.000 t/god [78].

Поступање са отпадом на месту настанка, начину прикупљања и његовом одлагању на депоније разликује се у зависности од типа насеља у којима се отпад генерише. На основу пописа, градско становништво чини 57 % а сеоско становништво 43 %. Због тога се у градовима јављају комунални проблеми, од којих су најзначајнији и најкомплекснији проблеми сакупљања и одлагања комуналног отпада. С обзиром на присуство органских материја и њиховој склоности ка распадању, у густо насељеним градским срединама чврст отпад је потребно што брже транспортовати, док се у оквиру пространих сеоских средина углавном формирају привремена одлагалишта [68]. Уколико се одмах и на одговарајући начин не депонује, нагомилавање чврстог отпада представља један од великих проблема локалног карактера а истовремено и глобалног, како са комуналног аспекта тако и са еколошког и санитарног. Систем управљања чврстим комуналним отпадом обухвата: смањење количине чврстог комуналног отпада, сакупљање и складиштење, транспорт, третман и рециклажу и одлагање комуналног чврстог отпада. Одлагање чврстог комуналног отпада врши се на санитарно-техничком уређеном простору на санитарним депонијама.



## 2.1 Карактеристике и врсте чврстог отпада

Са порастом броја становника, променом начина живота и навика, односно променом животног стандарда и драстично се мења количина и састав количина отпада. Чврст отпад представља сваки непотребан или сувишан материјал или предмет који настаје у току производне, услужне или друге делатности. Овакав материјал није више за употребу и коришћење.

Основни прописи којима се уређује управљање отпадом у Републици Србији су:

- Закон о управљању отпадом ("Службени гласник РС", број 36/09 и 88/2010);
- Закон о амбалажи и амбалажном отпаду ("Службени гласник РС", број 36/2009);
- Закон о потврђивању Базелске конвенције о прекограничном кретању опасних отпада и њиховом одлагању ("Службени лист СРЈ - Међународни уговори", број 2/99);
- Закон о заштити животне средине ("Службени гласник РС", бр. 135/04, 36/09, 36/09 – др. закон и 72/09 – др. закон, 43/2011-одлика УС и 14/2016);
- Закон о стратешкој процени утицаја на животну средину ("Службени гласник РС", број 135/04 и 88/2010);
- Закон о процени утицаја на животну средину ("Службени гласник РС", бр. 135/2004 и 36/2009);
- Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине ("Службени гласник РС", број 135/2004 и 25/2015).

Подела чврстог отпада врши се на основу [90]:

- састава;
- токсичности;
- места настанка.

У зависности од квалитативног састава чврст отпад може да буде од: стакла, метала, органских материја, папира, картона, пластике, гуме, отпадних уља, мазива, хемикалија, боја, јаловине, текстила, дрвета, итд.

На основу критеријума токсичности извршена је подела на (слика 2.1) [90]:

- опасан отпад,
- неопасан отпад,
- инертни отпад.



управљање отпадом, националне базе података о отпаду и транспорт отпада. Каталог отпада се повремено допуњава и ажурира [78].

**Табела 2.1 - Место и порекло настанка отпада у Републици Србији [78]**

Индексни број	Место и порекло настанка отпада
01	Отпади који настају од истраживања, ископавања из рудника или каменолома, и физичког и хемијског третмана минерала
02	Отпади из пољопривреде, хортикултуре, аквакултуре, шумарства, лова и риболова, припреме и прераде хране
03	Отпади од прераде дрвета и производње папира, картона, пулпе, панела и намештаја
04	Отпади из кожне, крзнарске и текстилне индустрије
05	Отпади од рафинисања нафте, пречишћавања природног гаса и пиролитичког третмана угља
06	Отпади од неорганских хемијских процеса
07	Отпади од органских хемијских процеса
08	Отпади од производње, формулације, снабдевања и употребе премаза (боје, лакови и стаклене глазуре), лепкови, заптивачи и штампарска мастила
09	Отпади из фотографске индустрије
10	Отпади из термичких процеса
11	Отпади од хемијског третмана површине и заштите метала и других материјала; хидрометалургија обојених метала
12	Отпади од обликовања и физичке и механичке површинске обраде метала и пластике
13	Отпадна уља и отпади течних горива (осим јестивих уља и оних у групама 05, 12 и 19)
14	Отпади од органских растварача, средстава за хлађење и потисних гасова (осим 07 и 08)
15	Отпади од амбалаже; апсорбенти, крпе за брисање, материјали за филтрирање и заштитне тканине, ако није другачије специфицирано
16	Отпади који нису другачије специфицирани у каталогу
17	Грађевински отпад и отпад од рушења (укључујући и ископану земљу са контаминираних локација)
18	Отпади из објеката у којима се обавља здравствена заштита људи и животиња и/или с тим повезаног истраживања (искључујући отпад из кухиња и ресторана који не долази од непосредне здравствене заштите)
19	Отпади из постројења за обраду отпада, погона за третман отпадних вода ван локације настајања и припрему воде за људску потрошњу и коришћење у индустрији
20	Комунални отпади (кућни отпад и слични комерцијални и индустријски отпади), укључујући одвојено сакупљене фракције

Према Стратегији управљања отпадом за период од 2010. до 2019. године пројектоване количине отпада за 2010., 2014. и 2019. годину приказане су у табели 2.2.

Табела 2.2 - Пројектоване количине отпада у Републици Србији [78]

Врста отпада	Количина отпада за 2010. годину [t/god]	Количина отпада за 2014. годину [t/god]	Количина отпада за 2019. годину [t/god]
Комунални отпад	2.451.000	2.785.000	3.268.000
Отпад из домаћинства	2.084.000	2.367.000	2.778.000
Биоразградив комунални отпад	1.538.000	1.747.000	2.049.000
Грађевински отпад	1.000.000	1.300.000	1.700.000
Амбалажни отпад	607.000	693.000	817.000
Комерцијални отпад и отпад из институција	367.000	418.000	490.000
Отпад животињског порекла	277.00	296.000	321.000
Опасан индустријски отпад	100.000	150.000	200.000
Отпадна возила	93.000	106.000	124.000
Отпадно уље	50.000	54.000	59.000
Медицински отпад	42.000	52.000	56.000
Муљ из опреме за пречишћавање комуналних отпадних вода	30.000	160.000	350.000
Отпад од електричне и електронске опреме	30.000	35.000	40.000
Батерије и акумилатори	27.000	29.000	32.000
Отпадне гуме	26.000	30.000	34.000
Опасан комунални отпад	25.000	28.000	33.000

*Комунални отпад* представља веома сложен и хетероген материјал, који је при нормалним условима у чврстом агрегатном стању настаје као резултат живота и рада људи у домаћинству, на радном месту и сл. [90].

Комунални отпад настаје у домаћинствима, на јавним отвореним градским просторима, угоститељским објектима, здравственим објектима, објектима намењеним трговини, у објектима јавних организација и институција, индустријским погонима, енергетским објектима, и објектима услужних делатности. Према месту и извору настанка, комунални чврсти отпад који се одлаже на депонији, може се класификовати на [77]:

- *отпад из домаћинства*, који настаје у стамбеним зградама, службеним просторијама, продавницама и сл. Он не припада категорији опасног отпада, али се мора редовно уклањати са места сакупљања због релативно високог

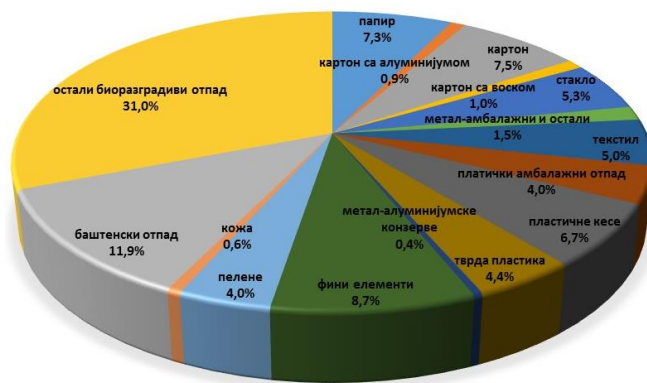
садржаја органских материја, које су подложне ферментацији. Најважнија карактеристика овог отпада је да је биоразградив, нарочито при високим температурама ваздуха. Поједине компоненте ове врсте отпада (картон, папир, пластика, текстил, гума, кожа, намештај и др.) су запаљиве, док су друге незапаљиве (стакло, конзерве, бела техника и др.);

- *комерцијални отпад* је отпад који настаје у предузећима, установама и другим институцијама које су у целини или делимично баве трговином, услугама канцеларијским пословима, спортом, рекреацијом или забавом. Такав отпад није део отпада из домаћинства и неопасног индустријског отпада;
- *отпад са јавних површина*, који настаје на улицама, тротоарима, двориштима, парковима, састављен делом од органских стабилних материја (отпадно биље, кутије и др.), а делом од органских нестабилних материја (отпад од хране, животињски остаци и др.);
- *неопасан индустријски отпад*, настаје у производним технолошким процесима и састоји се од разноврсних стабилних и нестабилних елемената органског и неорганског порекла.

По свом саставу комунални отпад спада у најсложеније хетерогене системе који садржи разне типове отпадних материја органског или неорганског порекла. Карактеристике и састав чврстог отпада, представља податак без кога се не може квалитетно конципирати њихова диспозиција. Особине чврстог комуналног отпада су [63]:

- морфолошки састав отпада,
- средња густина отпада,
- влажност отпада,
- топлотна моћ,
- хемијски састав отпада.

*Морфолошки састав чврстог отпада* (слика 2.2) се одређује као масени удео појединих врста у карактеристичном узорку отпада. Ово својство се испитује просејавањем отпада средњег узорка кроз сито отвора 15x15 mm. Остатак на ситу се распоређује ручно на поједине компоненте отпада. Масени састав се најчешће одређује у односу на: хартију, отпатке од хране, дрво, метал, текстил, гуму, пластику итд.

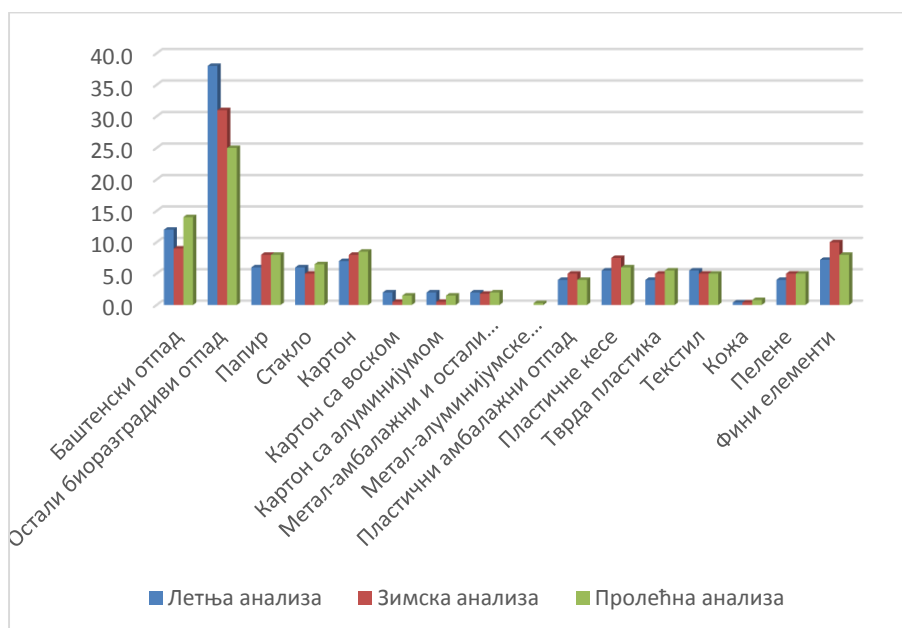


Слика 2.2 - Морфолошки састав комуналног отпада у Републици Србији [77]

На количину и морфолошки састав комуналног отпада утичу следећи фактори [63]:

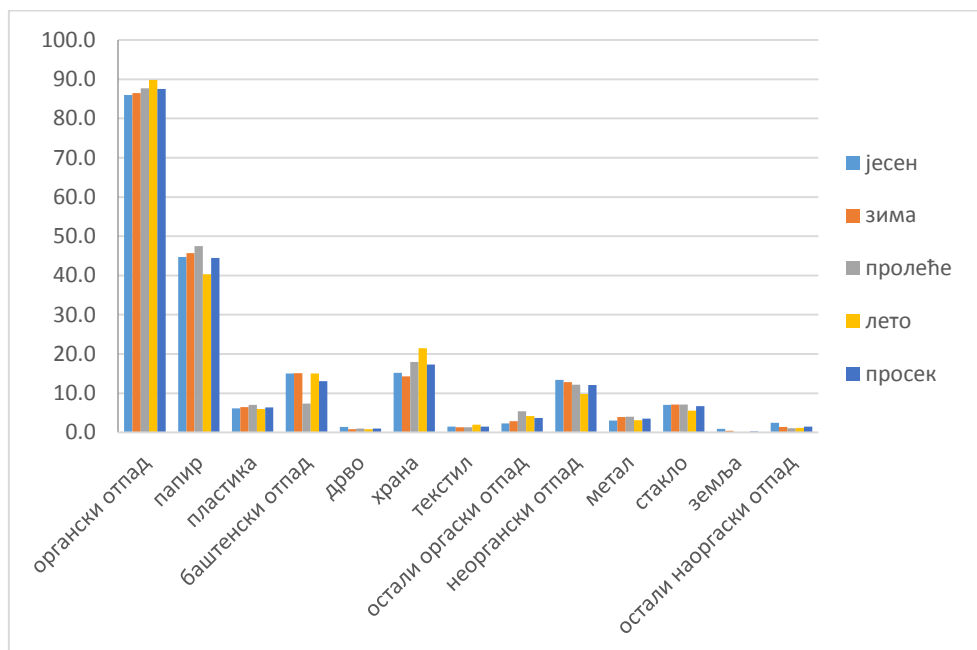
- величина територије са које се сакупља отпад;
- степен индустријског развоја;
- социјална структура сатновништва;
- животни стандард;
- годишње доба.

Морфолошки састав чврстог комуналног отпада у летњим, зимским и пролећним месецима за територију Републике Србије приказан је на слици 2.3. У нашој земљи највећу заступљеност у морфолошком саставу чврстог комуналног отпада има биоразградиви отпад, а најмањи метал-алуминијумске конзерве.



Слика 2.3 - Упоредни приказ морфолошког састава отпада у летњем, зимском и пролећном периоду у Републици Србији [77]

Морфолошки састав отпада по месецима за територију САД-а приказан је на слици 2.4 са које се види да највећу заступљеност у морфолошком саставу има органски отпад, док најмању заступљеност има земља.



Слика 2.4 - Упоредни приказ морфолошког састава отпада у јесењем, летњем, зимском и пролећном периоду у САД-у [89]

Количине комуналног отпада на годишњем нивоу у Републици Србији су прорачунате на основу мерења отпада у референтним локалним самоуправама. На основу резултата тих мерења може се усвојити да се у градским срединама просечно дневно створи 1 kg/stanovniku комуналног отпада, док у сеоским срединама просечно се дневно створи 0,7 kg/stanovniku. У просеку, становник Републике Србије у 2009. години створио је 0,87 kg/dnevno комуналног отпада, односно 318 kg/god. [78]. Пројектована количина отпада у 2020. години по становници биће 1,23 kg/dnevno комуналног отпада, односно 449 kg/god. Према Стратегији управљања отпадом за период од 2010. до 2019. године у табели 2.3 приказане су количине произведеног отпада у 2009. години и пројекције количина отпада које ће бити произведене у 2020. години.

**Табела 2.3 - Количине произведеног отпада у 2009. години и у 2020. години**  
у Републици Србији [78]

Округ	Локална самоуправа	Број становника према попису из 2002. год.	Количина произведеног отпада 2009. год [t]	Пројекција количина произведеног отпада 2020. год [t]
Севернобачки	Суботица, Бачка Топола, Мали Иђош	200.140	73.587	104.492
Западнобачки	Сомбор, Апатин, Кула, Оџаци	214.011	56.497	80.227
Јужнобачки	Нови Сад, Бач, Бачка Топола, Бачки Петровац, Беочин, Бечеј, Врбас, Жабал, Србобран, Тител, Темерин, Сремски Карловци	593.666	212.928	302.358
Севернобанатски	Кикинда, Нови Кнежевац, Сента, Ада, Кањижа, Чока	165.881	36.445	51.753
Средњебанатски	Зрењанин, Житиште, Нова Црња, Нови Бечеј, Сечањ	208.456	71.608	101.699
Јужнобанатски	Алибунар, Бела Црква, Вршац, Ковачица, Ковин, Опово, Панчево, Пландиште	313.939	102.278	145.237
Сремски	Инђија, Ириг, Пећинци, Рума, Сремска Митровица, Стара Пазова, Шид	335.901	101.143	143.625
Град Београд	Град Београд	1.602.861	897.707	1.274.745
Колубарски	Ваљево, Лајковац, Љиг, Мионица, Осечина, Уб	186.007	37.796	53.671
Мачвански	Богатић, Владимирци, Коцељева, Крупањ, Лозница, Љубовија, Мали Зворник, Шабац	322.558	63.309	89.888



Наставак табеле 2.3

Округ	Локална самоуправа	Број становника према попису из 2002. год.	Количина произведеног отпада 2009. год [t]	Пројекција количина произведеног отпада 2020. год [t]
Златиборски	Ариље, Бајна Башта, Косјерић, Нова Варош, Пожега, Прибој, Пријепоље, Сјеница, Ужице, Чајетина	305.072	67.543	96.286
Моравички	Горњи Милановац, Ивањица, Лучани, Чачак	220.094	52.981	75.234
Шумадијски	Аранђеловац, Баточина, Кнић, Крагујевац, Лапово, Рача, Топола	305.042	76.670	108.873
Рашки	Врњачка Бања, Краљево, Нови Пазар, Рашка, Тутин	296.761	57.076	81.050
Расински	Александровац, Брус, Вараврин, Крушевац, Трстеник, Ћићевац	251.352	53.348	75.755
Поморавски	Деспотовац, Јагодина, Параћин, Рековац, Свилајнац, Ћуприја	221.704	59.089	83.907
Браничевски	Велико Градиште, Голубац, Жагубица, Кучево, Мало Црниће, Петровац, Пожеревац	195.570	33.886	48.121
Подунавски	Велика Плана, Смедерево, Смедеревска Паланка	207.217	51.741	73.473
Борски	Бор, Кладово, Мајданпек, Неготин	141.528	15.757	22.375
Зајечарски	Бољевац, Зајечар, Књажевац, Сокобања	129.937	16.059	22.805
Нишавски	Град Ниш, Алексинац, Гаџин Хан, Дољевац, Мерошина, Ражањ, Сврљиг	363.491	91.338	129.701

Наставак табеле 2.3

Округ	Локална самоуправа	Број становника према попису из 2002. год.	Количина произведеног отпада 2009. год [t]	Пројекција количина произведеног отпада 2020. год [t]
Топлички	Блаце, Житорађа, Куршумлија, Прокупље	98.250	18.042	25.621
Пиротски	Бабушница, Бела Паланка, Димитровград, Пирот	100.133	21.616	30.695
Јабланички	Бојник, Власонице, Лебане, Лесковац, Медвеђа, Црна Трава	234.018	55.884	79.358
Пчињски	Босилеград, Бујановац, Владичин Хан, Врање, Прешево, Сурдулица, Трговиште	229.596	49.966	70.955

Средња густина отпада зависи од морфолошког састава, средње густине појединих компонената отпада и влажности. Густине појединих компонената чврстог отпада имају променљиве вредности и зависе од нивоа претходне прераде, облика отпадака и њихових физичко-хемијских карактеристика. Основни критеријуми који одређују вредност средње густине су: начин становања, садржај лаких компонената (папир, картон и сл.), као и број становника. У табели 2.4 приказане су густине појединих компонената чврстог комуналног отпада.

Табела 2.4 - Густина појединих компонената комуналног отпада [63]

Врста отпада	Густина [t/m <sup>3</sup> ]
Шљака и пепео	0,320-0,961
Органске материје	0,168-0,501
Дрво	0,128-0,320
Текстил	0,082-0,206
Гума	0,066-0,192
Метал	0,048-1,100
Папир	0,032-0,080
Пластика	0,032-0,128
Стакло	0,160-0,481

Влажност комуналног отпада зависи од појединих врста компонената отпада у његовој маси и од њихове влажности. Овај параметар зависи од локалитета где се

отпад прикупља као и од годишњег доба. У табели 2.5 приказан је садржај влаге код појединих компонената комуналног отпада.

**Табела 2.5** - Садржај влаге код појединих компонената комуналног отпада [63]

Врста отпада	Садржај влаге [%]
Отпаци од хране	70
Отпад из башта и паркова	60
Органски отпад	25
Дрво	20
Текстил	10
Кожа	10
Папир	6
Конзерве	3
Пластика	2
Гума	2
Стакло	2

Топлотна моћ комуналног отпада утврђује се рачунским путем или експериментално. Око 50% до 80% компонената комуналног отпада чине запаљиве материје. Топлотна моћ појединих запаљивих материја које су компоненте комуналног отпада дате су у табели 2.6.

**Табела 2.6** - Топлотна моћ појединих компонената комуналног отпада [81]

Врста отпада	Доња топлотна моћ суве материје [MJ/kg]
Пластика	33,5
Текстил	32,5
Гума	23,5
Кожа	23,5
Дрво	20,0
Папир	17,7
Отпад из дворишта	17,0
Отпад од хране	15,1

Хемијски састав комуналног отпада је значајан због могућности високог ризика деградације животне средине а у циљу избора методе за његов третман. Квалитативном анализом хемијског састава отпада омогућена је успешна заштита тла, подземних вода и ваздуха на самој локацији, као и утврђивање степена стишљивости отпада (табела 2.7).

Табела 2.7 - Хемијска анализа комуналног отпада са депонија [56]

Елемент	Концентрација [%vol]
Влага	37,80
Волатили	30,24
Пепео	27,35
Угљеник	20,04
Силицијум	4,13
Водоник	2,93
Гвожђе	2,6609
Калцијум	1,3116
Алуминијум	1,2243
Натријум	1,1783
Азот	0,40
Хлор	0,25
Калијум	0,2277
Магнезијум	0,2271
Сумпор	0,06
Манган	0,0383
Цинк	0,0149
Бром	0,01
Флуорид	0,01
Бакар	0,01
Олово	0,0084
Хром	0,0048
Никл	0,0024
Молибден	0,00028
Арсен	0,00024
Антимон	0,00018
Сребро	0,000073
Кадмијум	0,00004
Жива	0,0000003

Методe третмана комуналног отпада су:

- рециклажа,
- компостирање,
- инсинерација,
- остали поступци третмана комуналног отпада (пиролиза, гасификација, плазма процес),
- одлагање отпада на санитарне депоније.

## 2.2 Санитарне депоније

*Санитарна депонија* је санитарно-технички уређен простор на који се одлаже чврст комунални отпад који нема својства опасних материја, не може се прерађивати, користити као индустријска сировина или енергетско гориво, а које настаје у домаћинствима, на јавним површинама, у администратвним објектима, трговини и предузећима неиндустријског карактера [63]. Изградња санитарне депоније чврстог комуналног отпада обухвата више фаза:

- избор локације санитарне депоније;
- формирање услова за њено правилно функционисање;
- израда техничке документације;
- изградња депоније.

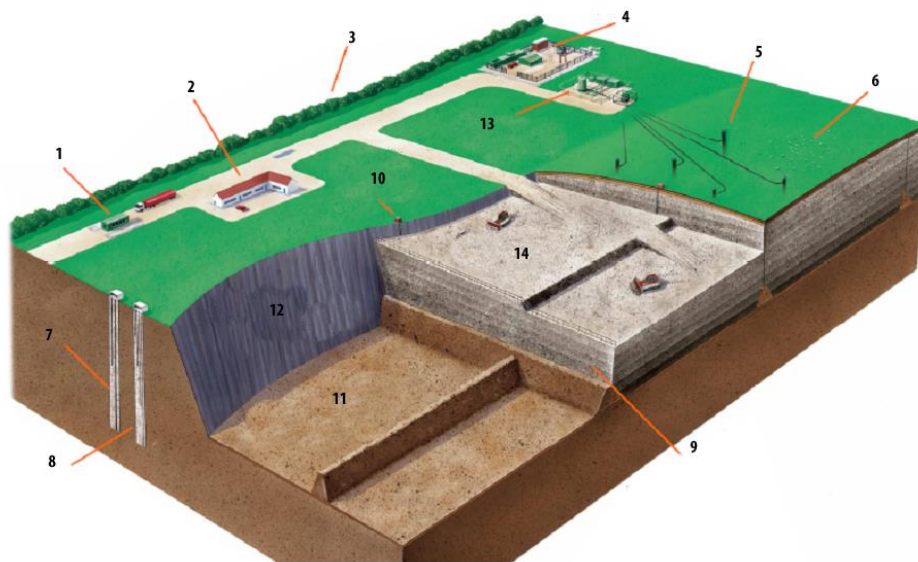
За ефикасно експлоатисање санитарне депоније неопходна је правилна локација и добро урађен пројекат. Пројектом санитарне депоније дефинишу се:

- инфраструктура депоније;
- припремање и уређење простора за депоновање отпада;
- дневни, месечни и годишњи начин попуњавања депоније;
- контрола и мониторинг депонијског филтрата;
- мониторинг подземних вода;
- контрола и мониторинг депонијског гаса;
- хидрантска мрежа;
- план завршног попуњавања и уређење депоније;
- цене трошкова изградње и експлоатације депоније.

На санитарним депонијама постоји више техничко технолошких целина. Функционалне целине депоније морају бити повезане интерним саобраћајницима које су довољне ширине да се на њима обезбеди сигуран и несметан саобраћај теретних возила и рад механизације. Интерне саобраћајнице могу бити сталне и привремене [57]. Сталне саобраћајнице граде се од чврстог материјала, повезују техничко технолошке целине депоније и омогућавају прилазе свим сегментима за депоновање отпада и објектима на депонији, док се привремене саобраћајнице граде унутар активног сегмента депоније где се одлаже отпад, од материјала и на начин који обезбеђује сигуран рад људства и механизације.

Санитарна депонија се састоји од следећих целина:

- пријемно - отпремне зоне,
- радне зоне,
- депонијског простора,
- сервисног простор око одлагалишта.



1. контрола и пријем отпада, 2. канцеларије руководства, 3. визуелни преглед, 4. постројење за производњу електричне енергије, 5. подземни систем за дегазацију депонијског гаса, 6. ресторација, 7. сонде за испитивање квалитета воде, 8. сонде за испитивање депонијског гаса, 9. разградња отпада и стабилизација, 10. контрола процедних вода, 11. израда подлоге, 12. систем за контролу депонијског гаса, 13. гасни горионик, 14. манипулативна област

Слика 2.5 - Изглед санитарне депоније [91]

**Пријемно - отпремна зона обухвата.** Ова зона обухвата око 1% до 4 % површине санитарне депоније. Њу чине: улаз у депонију са капијом, портирница, паркинг - простор, колска вагеа, простор за прање возила, базен за дезинфекцију, гараже за возила, управни објекат депоније (канцеларије, лабораторија, санитарни чворови, гардероба за запослене и други објекти), инфраструкурни објекти и инсталације (напајање електричном енергијом, спољна расвета, громобранска инсталација, водовод и канализација, инсталација за дојаву пожара, ПТТ и интернет мрежа) и сталне саобраћајнице.

**Радна зона.** У овој зони може се планирати: рециклажно двориште, простор за обраду грађевинског материјала, транспортни центар, постројење за спаљивање депонијског гаса, постројење за пречишћавање отпаданих вода, компосиште, складишни објекти, сталне саобраћајнице и др.

**Депонијски простор.** Овај простор обхвата: непропусну подлогу, систем за дренажу подземних вода, систем за прикупљање атмосферских падавина, систем за прикупљање депонијског филтрата, систем за прикупљање депонијског гаса, интерне саобраћајнице, бране на депонији, место на коме се налази инерни материјал за дневне прекривке.

**Сервисни простор око одлагалишта.** Овај простор сачињавају: зелени појас, заштитна ограда и ограда. Зелени појас представља вегетациони заштитни појас који се подиже дуж регулационе линије депоније који спречава разношење лаког отпада и прашине ван депоније.

## 2.3 Процедне воде -депонијски филтрат

Код пројектовања и изградње санитарне депонија врло је важно оптимално решење које се односи на третман процедурних депонијских вода. Из депонијског отпада вода се може ослободити у подземне воде, у виду водене паре или у виду депонијског филтрата. Пролаз течности кроз депонован чврст отпад на депонији ствара филтрате, који садрже потенцијално опасне загађујуће супстанце. Депонијски филтрат се дефинише као течност која је прошла или настала из чврстог отпада, и садржи растворљив, суспендован материјал или мешавину материјала, који је настао приликом биолошког и хемијског процеса у телу депоније.

Карактеристике депонијског филтрата зависе од [70,63]:

- количине одложеног отпада,
- степена сабијања отпада,
- морфолошког састава отпада,
- висине тела депоније,
- фазе разградње отпада,
- миграционог тока течности,
- времена које је протекло од одлагања отпада,
- метеоролошких утицаја,
- положаја депоније.

Процеси разградња комуналног отпада могу се поделити на:

- биодеградационе процесе у присуству живих организама (бактерије, микроорганизама, и др);

- процеси хемијске разградње органских и неорганских супстанци под дејством метеоролошких услова.

У почетном стадијуму, филтрат у телу депоније настају аеробном разградњом отпада, формирајући комплексни раствор приближно неутралне рН вредности која се полако смањује и прелази у киселу средину. Овај процес најчешће траје неколико дана или недеља и нема значајан утицај на квалитет филтратних депонијских вода. Даљим одвијањем процеса разградње отпада, средина у телу депоније постаје анаеробна. Филтрат се одликује високим концентрацијама растворљивих деградабилних органских супстанци и ниским рН вредностима ("кисела фаза") [70]. Концентрације амонијака и метала такође су повећане у раној анаеробној фази формирања процедних вода. Након неколико месеци или година, успоставља се "метанска фаза", филтрат постаје неутралан или благо алкалан, уз удео значајних количина одређених полутаната (нпр. амонијак). Како се процес биодеградације отпада ближи крају, аеробни услови се поново могу успоставити унутар тела депоније.

Депонијски филтрат је течност које се састоје од влаге произведене током процеса разградње отпада са депоније, од падавина и изливања површинских вода. Што је већи садржај воде у отпаду, доћи ће до стварања веће количине депонијског филтрата који квасе депонију вертикално и бочно [45]. Депонијски филтрат се креће унутар депоније који доводи до повећања концентрације растворљивих тешких метала и киселина из отпада. Садржи високу концентрацију гвожђа, хлорида, органског азота, фосфата и сулфата [62]. Након напуштања депоније одлазе до водених ресурса, и изазивају њихово загађење.

Састав депонијског филтрата је следећи:

- *неоргански полутанти* - неорганске полутанте у депонијском филтрату најчешће чине тешки метали, који се могу наћи у мањим концентрацијама;
- *органски полутанти* - потичу од производа који се свакодневно користе у домаћинствима: намирнице, дезинфекциона средства, средства за чишћење, козметичких производа, фарби, боја, лакова и др. Најчешће у депонијском филтрату могу бити: бензен, винилхлорид, дихлорметан, тетрачлоретилен, угљентетрахлорид, толуен, ксилен;
- *патогени организми* - потичу од хране, марамица и убруса, пелена. Депонијски филтрат може да садржи бактерије, вирусе и паразите.



На хемијске карактеристике процедурних вода (депонијског филтрата) утичу различити физичко-хемијски процеси: оксидо-редукциони процеси, растварање органског и неорганског материјала у отпаду, адсорпција/десорпција, реакције између органских киселина и метала, при чему се формирају одговарајући јони метала, односно соли, хемизам угљен-диоксида који реагује са солима калцијума и магнезијума и изазива повећање тврдоће процедурних вода и друго. Знатан утицај на карактеристичне особине филтрата имају и микробиолошки разградни процеси биодеградабилних органских супстанци [70].

На депонијама на којима је одложен отпад до 5 година у садржају депонијског филтрата налази се велики проценат органских материја док се код депонија на којима је одложен отпад више од 10 година тај проценат смањује и износи око 10 %. Садржај тешких метала у депонијском филтрату се повећава са годинама депоновања комуналног отпада. Вредност рН депонијског филтрата опада са повећањем броја година депоновања. У табели 2.8 приказане концентрације неких компонената депонијског филтрата у зависности од старости депоније.

**Табела 2.8 - Састав и концентрација депонијског филтрата [81]**

Компонента	Концентрација [mg/dm <sup>3</sup> ]		
	Депонија (старости 2 године)		Депонија (старости преко 10 година)
Петодневна биохемијска потрошња кисеоник	2.000-30.000	10.000	100-200
Органски угљеник	1.500-20.000	6.000	80-160
Базни СаСО <sub>3</sub>	1.000-10.000	3.000	200-1000
Хемијска потрошња кисеоника	3.000-60000	18.000	100-500
Укупно суспендована чврста материја	200-2.000	500	100-400
Тврдоћа	300-10.000	3.500	200-500
Калцијум	200-3.000	1.000	100-400
Калијум	200-1.000	300	50-400
Натријум	200-2.500	500	100-200
Хлорид	200-3.000	500	100-400
Органски азот	10-800	200	80-120
Неоргански азот	10-800	200	20-40
Магнезијум	50-1.500	250	50-200
Сулфат	50-1.000	300	20-50
Гвожђе	50-1.200	60	20-200
Нитрати	5-40	25	5-10
Укупни фосфати	5-100	30	5-10
Орто фосфати	4-80	20	4-8
рН	4,5-7,5	6	6,6-7,5

У циљу заштите од могућег загађења животне средине од депонијског филтрата и његовог дугорочног задржавања у оквиру депоније, неопходно је прво пројектовати непропусну подлогу на дну санитарне депоније, а затим извршити дренажу подземних вода уколико оне постоје. Такође треба пројектовати систем за прикупљање и евакуацију атмосферских падавина као и постројење за третман процедурних вода.

### 2.3.1 Подлога санитарне депоније

Подлога санитарне депоније се формира уградњом непропусних слојева на дну санитарне депоније (санитарне каде) ради заштите подземних и површинских вода и земљишта од депонијског филтрата и депонијског гаса коју настају у телу депоније приликом разградње отпада. Непропусна подлога санитарне депоније састоји се из пет слојева [63]:

- *први слој* представља минералну подлогу од глине, пропустљивости  $k=10^{-9}$  m/s која се поставља у хомогеном слоју дебљине 0,5 m, који мора бити добро сабијен, углачан и осушен;
- *други слој* је од синтетичког материјала bentofix који је непропустан за водене растворе, пропустљивости  $k=10^{-11}$  m/s, који се поставља разастирањем преко слоја глине а спаја ручно или машински;
- *трећи слој* је HDPE фолија (геомембрана) која је непропусна за депонијски филтрат и гасове које су у њему апсорбовани а хемијски је отпорна на утицај супстанци које се могу наћи у депонијском филтрату, дебљине 2,5 mm, која је једноставна за спајање и поседује добар квалитет заврених слојева. Геомембрана може бити: глатка, једнострано и двострано храпава;
- *четврти слој* је од синтетичког геотекстила карактеристика  $1.200$  g/m<sup>2</sup>, који се поставља ручно или машински са одговарајућим преклопом;
- *пети слој* је шљунак гранулације 16/32 у слоју дебљине од 0,3 до 0,4 m.

Сви постављени материјали у другом, трећем и четвром слоју се проверавају визуелном контролом, провером непропусности и испитивањем димензија.



**Слика 2.6** - Постављање непрпусне подлоге на регионалној санитарној депонији "Минтина падина" у Пироту [100]

### **2.3.2 Дренажа подземних вода**

Ако се у зони депоновања утврди постојање подземних вода, потребно је пројектовати [63]:

- хоризонталне системе дренаже и
- каптажне објекте за регулисање режима њиховог отицања или истицања.

Хоризонталан систем дренажа који је ефикасан за мања снижења нивоа подземних вода пројектује се обично као попречна дренажно постројење или као подужно дренажно постројење, где улогу сакупљача има подужни дрен.

Дрен помоћу кога се сакупљају подземне воде може бити потпун и упуштен. Потпун дрен се пројектује тако да иде до непрпусне подлоге, док се упуштен дрен пројектује тако да лежи у водоносном слоју. Цеви за дренажу израђују се од: керамике, полиетилена, азбестцемента, бетона и армираног бетона. Одабир цеви врши се на основу геомеханичких и геолошких услова терена, дубине на којима се полажу цеви као и од агресивности средине. Уколико дренажна вода не може отицати гравитационо ван зоне депоновања, потребно је пројектовати пумпне станице које треба да су опремљене аутоматиком и резервним пумпама.

Каптажни објекти се пројектују тако да могу да прихвате природне изворе и системе површинских или подземних канала за одвод воде на подручју депоније.



**Слика 2.7** - Постављање цеви за дренажу подземних вода на регионалној санитарној депонији "Срем-Мачва" у Шапцу и Сремској Митровици [103]

### **2.3.3 Систем за прикупљање и евакуацију атмосферских падавина**

Један од основних задатака при пројектовању санитарне депоније јесте регулисање површинских отицаја, како у околини депоније тако и на самој депонији. Воде које са околног терена долазе површинским отицајем на депонију могу угрозити стабилност депоније а такође и да повећавају количину депонијског филтрата [63].

Да би се онемогућио дотицај вода са околног терена на депонију пројектује се мрежа заштитних канала по ободу зоне депоновања. За правилно планирање ободних канала морају се претходно испитати топографски услови на широј локацији депоније како би се одредила величина сливне површине која гравитира депонију и правилно одредила траса ободних канала. Препоручује се да трасе канала буду праволинијске или благо закривљене како би се избегло таложење наноса на оштрим ломовима а тиме и изливање воде из канала према депонији. У уздужном профилу, каналима треба предвидети довољне нагибе како не би дошло до таложења наноса. Димензионисање канала врши се на бази дневне количине падавина добијених од Републичког Хидрометеоролошког завода Републике Србије и треба да омогући да се пропусти сва вода која у њих доспева с тим да се дно и бочне стране канала осигурају како не би дошло до продирања воде из канала на депонију. За случај прикупљања великих количина падавина треба приликом пројектовања осигурати ободне канале, каскаде и

шахте. Атмосферска вода се из ободних канала доводи до таложника и након пречишћавања испушта у сабирне базене за атмосферске воде.

Прекривањем отпада слојем инертног материјала одређене дебљине, спречава се загађивање атмосферских вода које падну на површину депоније и које се са ње сливају.



**Слика 2.8** - Ободни канали за прикупљање и евакуацију атмосферских падавина на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу [23]

#### **2.3.4 Системи за прикупљање и третман депонијског филтрата**

Атмосферске падавине спирају честице нечистоћа са отпада и продиру кроз тело депоније носећи са собом загађујуће материје. Састав вода које се процеђују кроз депонију (депонијски филтрат) пре свега зависи од хемијског састава отпада у депонији који се разлаже у претежно анаеробним биохемијским процесима. Истраживања су показала да концентрација појединих загађујућих материја у филтрату може да буде од 5 до 10 пута већа од концентрација које се јављају у употребљеним водама у домаћинству [63]. Сакупљање депонијског филтрата и допремање до постројења за пречишћавање врши се дренажним системом који се поставља на дно депоније, који се по висини могу полагати у више слоја, у зависности како напредује попуњавање депоније. Положај дренажа (цеви) може бити разгранат и лепезаст.

*Разгранат систем дренажа* користи се кад су у питању пропустљиве подлоге, где се дренажним системом поред одводњавања филтрата жели снизити и ниво подземних вода.

*Лепезаст систем дренажа* се користи када је тло депоније непропусно или када се гради вештачка непропусна подлога депоније.

Све дренажне цеви доводе депонијски филтрат до таложника иза кога се поставља мерни уређај протока и колектор из ког се филтрат отпрема до градске мреже или до места третмана.

На самој локацији депоније пројектују се постројења за биолошку и физичко-хемијску прераду депонијског филтрата. Биолошки третман је ефикасан за пречишћавање депонијског филтрата са средњим и високим садржајем биоразградивих органских материја. У аерационој лагуни одвија се процес пречишћавања депонијског филтрата помоћу активног муља уз присуство аеробних бактерија које су у њој присутне. При вештачкој аерацији, аеробне бактерије користе присутне органске материје као храну, стварајући нове микроорганизме и безопасне оксидационе производе. Микроорганизми уклањају органске супстанце из депонијског филтрата, таложе се у уређеју за бистрење а делом се враћају у аерациону лагуну. Избистрен филтрат се даље уводи у третман хлорисања и испушта у реципијент, а муљ се разлаже аеробним процесом.



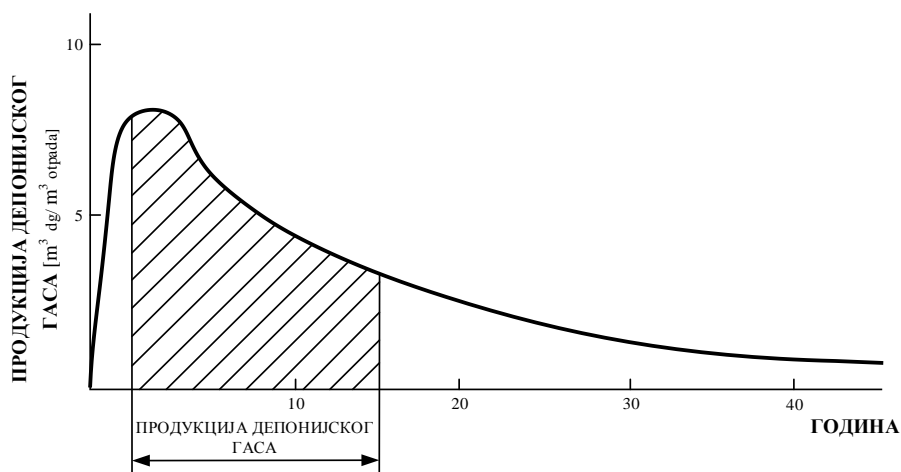
**Слика 2.9** - Аерациона и таложна лагуна на регионалној санитарној депонији "Минтина падина" у Пироту [100]



## 2.4 Депонијски гас

Количина настанка депонијског гаса је пропорционална периоду разлагања и времену одлагања отпада. Она, такође, зависи и од хемијског састава отпада, фазе распадања и типа реакција које се јављају у оквиру депонија на одређеној локацији у одређено време.

Производња депонијског гаса обично почиње 200 дана од тренутка одлагања отпада на депонију (слика 2.10). Највећа количина депонијског гаса издвоји се у периоду од прве до петнаесте године експлоатације депоније, са максимумом у другој и трећој години. После овог периода продукција депонијског гаса има нагли пад, а после двадесете године одложеног отпада, се своди на практично константну вредност. Продукција гаса може да траје и дуже, и наредних 50 година, ако су у отпаду присутне веће количине органских материја.



Слика 2.10 - Дијаграм продукције депонијског гаса у зависности од времена депонованог отпада [21]

По једном  $1 \text{ m}^3$  одложеног отпада, у зависности од састава отпада издваја се око  $0,4 \text{ m}^3$  до  $0,5 \text{ m}^3$  депонијског гаса. Око 93 % емисије метана потиче са депоније чврстог комуналног отпада, док преостала емисија метана потиче са депонија индустријског отпада. Топлотна моћ депонијског гаса је приближно  $16,8 \text{ MJ/m}^3$  или приближно половини доње топлотне моћи природног гаса [11].

### 2.4.1 Фактори који утичу на настанак депонијског гаса

Количина произведеног депонијског гаса на депонији зависи од:

- врсте отпада,
- старости отпада,
- контактне површине отпада,
- висине депонованог отпада,
- садржаја воде у отпаду,
- температуре,
- бактеријске активности,
- рН вредности,
- присуства кисеоника у телу депоније.

**Врсте отпада** - Отпад може бити органског и неорганског порекла. Отпад органског порекла, разлаже се брже од отпада неорганског порекла.

Органске материје које се одлажу на депонију су подељене у две категорије:

- материје који се брзо разлажу (од 3 месеца до 5 година);
- материје који се споро разлажу (до 25 година).

У табели 2.9 приказано је време разлагања појединих компонената комуналног отпада који се депонује на санитарним депонијама.

**Табела 2.9 - Време разлагања поједине врсте отпада [63]**

Врста отпада	Време разлагања
Храна	1-2 недеље
Цвеће	1-2 недеље
Памучна одећа	2-5 месеци
Новински папир	3-12 месеци
Отпад од воћа и поврћа	3-6 месеци
Дрво	10-15 година
Алуминијумске лименке	10-100 година
Пластичне боце	100-1.000 година

Што је више органског отпада присутно на депонији, продукција депонијског гаса биће већа. Испитивања су показала да отпад из дворишта и са јавних површина доприноси стварању депонијског гаса до 20 %, док отпад папира доприноси стварању депонијског гаса у интервалу од 30 до 50 % [60].

**Старост отпада** - Највећа производња депонијског гаса најчешће настаје 5 до 7 година након одлагања отпада. Такав отпад обично производи више депонијског гаса

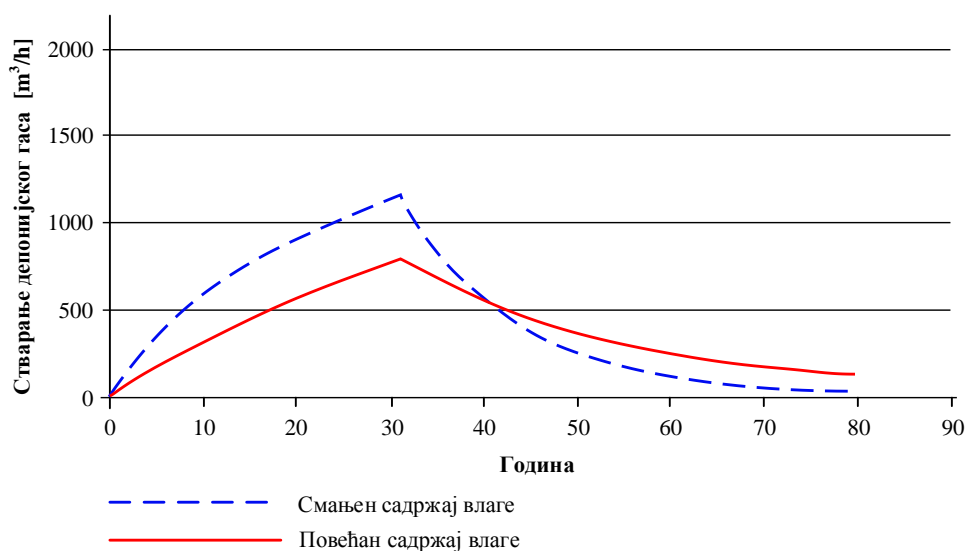


бактеријским разлагањем, испаравањем и хемијским реакцијама него отпад који је депонован дужи временски период. Након 20 година по депоновању, производња депонијског гаса је минимална, док се у траговима депонијски гас може стварати и после 50 година [51].

**Контактна површина депонованог отпада** - Производња депонијског гаса се повећава са смањењем контактне површине отпада. Мања контактна површина отпада има већу апсорпциону површину излагања параметрима као што су: молекули воде, молекули хранљивих материја и бактеријама.

**Висина депонованог отпада** - Производња депонијског гаса се повећава са порастом дебљине отпада. Пројектована висина отпада од 40 m (или више) је стандард приликом пројектовања депоније [61].

**Садржај воде** - Присуство воде у депонији повећава продукцију депонијског гаса јер подстиче бактеријско разлагање и транспорт хранљивих материја кроз тело депоније. Влага такође може покренути хемијске реакције које производе депонијски гас. Када је садржај воде низак, крива производње депонијског гаса је линеарна и простире се на дужи временски период. Компактност депонованог отпада утиче на смањење продукције депонијског гаса јер је повећана густина отпада и смањена инфилтрација воде. За максималну производњу депонијског гаса оптималан садржај воде треба да буде око 40 до 45 % [61]. Производња депонијског гаса може се повећати после обилних падавина, са високим садржајем воде од 80 %.



Слика 2.11 - Утицај воде на стварање депонијског гаса [35]

**Температура** - Са порастом температуре депоније повећава се и активност бактерија, што као резултат има повећану производњу депонијског гаса. Повећање температуре такође може створити повољне услове за волатилизацију и хемијске реакције. Емисија неметанских органских једињења (НМОС) удвостручује се на сваких 18 °С. Ниске температуре испод 10 °С успоравају бактеријску активност што има за последицу смањења производње депонијског гаса [87].

**Бактеријска активност** - Бактеријска активност у телу депоније ослобађа топлоту и поспешује се продукција депонијског гаса. Са повећањем процента органског отпада, који садржи веће количине хранљивих састојака, повећава се и активност бактерија. У табели 2.10 приказане су врсте бактерија и њихова активност на одговарајућим температурама у телу депоније.

**Табела 2.10** - Активност бактерија на одређеним температурама приликом разградње отпада [19]

Бактерије	Температура [°C]
Psychrophiles	5-25
Mesophiles	30-35
Thermophiles	50-60
Hyperthermophiles	>65

**рН вредност** - Оптималне рН вредности за анаеробне услове приликом разградње отпада су у интервалу од 6,4 до 7,4. Вредности за рН у депонији могу зависити од депонованог отпада, алкалности и инфилтрације атмосферске воде [5]. Када долази до стварања депонијског гаса, просечна рН вредност на депонији није испод 6,2.

**Кисоник** - Стварање депонијског гаса почиње у анаеробној фази распадања опада када се сав кисеоник потроши. Већа количина кисеоника у телу депоније која настаје услед делимичног прекривања отпада инертним материјалом, продужава период аеробне разградње опада. Ако је отпад компактан, производња депонијског гаса ће почети раније. Промене атмосферског притиска могу да утичу на присуство кисеоника у телу депоније [70].

## 2.4.2 Стварање и састав депонијског гаса

Састав и брзина издвајања депонијског гаса на санитарним депонијама првенствено зависи од врсте и слојева сабијеног отпада, као и степена микробиолошких активности који се одвијају у телу депонији. Издвајање депонијског гаса одвија се у пет различитих фаза [89].

У току прве, аеробне фазе, разградљиве чврсте материје брзо реагују са кисеоником, присутним у телу депоније, при чему се раскидају дуги молекуларни ланци комплексних једињења који образују органски отпад: угљени хидрати, протеини и масти образујући угљен-диоксид и воду. Ово је праћено издвајањем топлоте и развојем микроорганизама. Као последица егзотермног процеса температура у телу депоније је у интервалу од 70 до 90°C. Највеће вредност концентрације азота од 80%<sub>vol</sub> и кисеоника од 20 %<sub>vol</sub> јављају се на почетку фазе, а током времена њихове вредности опадају (слика 2.13). Ова фаза траје само неколико дана или недеља.

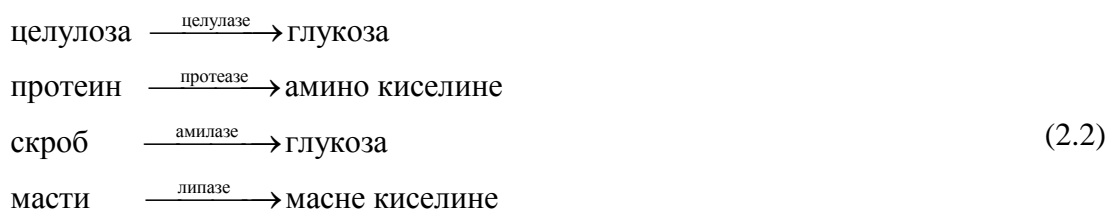
Аеробна разградња глукозе приказана је следећом хемијском једначином:



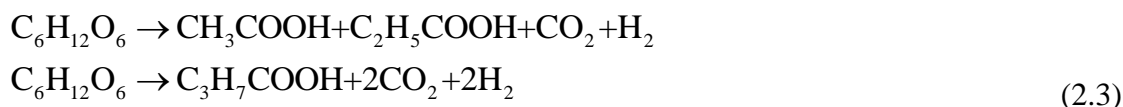
По утрошку присутног кисеоника почиње анаеробно разлагање које је присутно у другој и трећој фази.

У току киселинске фазе, тј. друге фазе разлагања, присутни крупни органски молекули бивају разграђени у једноставније супстанције, водоник, амонијак, водоник и органске киселине. Садржај угљен-диоксида је максимално 50 до 90 %<sub>vol</sub> а водоника до 20 %<sub>vol</sub>. Температура у телу депоније опада на 30 до 50°C.

У анаеробним процесима бактерије претварају једињења формирана процесима аеробних бактерија у сирћетну, млечну, мрављу и друге киселине и алкохоле као што су метанол и етанол. Због ових процеса рН средина депоније постаје кисела. У овој фази (II.a) присутан је процес хидролизе при чему се органске материје трансформишу на компоненте које су растворљиве у води, при чему не долази до стварања гасова. Органски отпад се помоћу одговарајућих ензима (целулазе, протеазе, амилазе и липазе) разлаже на следеће компоненте [63]:



Током наредне фазе (II.б), одиграва се ензимска реакција глукозе при чему се ствара угљен-диоксид и водоник. Концентрације угљен-диоксида након 11 до 23 дана могу бити од 50 до 70 %<sub>vol</sub> док концентрације након 40 дана могу бити и до 90 %<sub>vol</sub> [17].



Међутим ако кисеоник доспе у депонију, микробиолошки процеси враћају се у прву фазу.

У трећој фази разлагања, доминирају метаногени микроорганизми, који користе угљен-диоксид, водоник и органске киселине као супстрат и производе метан и друге продукте. Киселинске бактерије производе једињења којима се хране метанске бактерије. У овој фази у телу депоније средина је неутрална, па је вредност рН око 7. Температура у телу депоније је 30 до 50°C. Трајање ове фазе може бити од 180 дана до 500 дана након депоновања отпада.

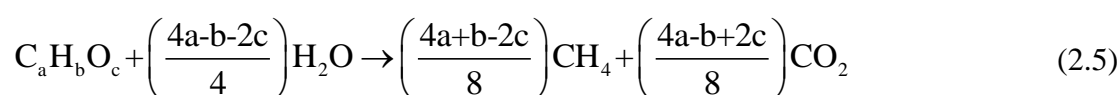
У самом телу депоније у другој и трећој фази, фактички нема кисеоника, и при том нема никакве реалне опасности од експлозије. У овој фази могуће је стварање водоник-сулфида.

Четврта фаза разлагања почиње када су стварања и продукције депонијског гаса релативно константне. Угљен-диоксид и метан налазе у приближном односу 1:1, а заједно чине око 95 %<sub>vol</sub> укупне количине депонијског гаса. Значајне концентрације метана настају између 3 и 12 месеца. У овој фази постоји могућност од настанка пожара.

Метанска ензимска реакција глукозе представљена је следећом хемијском реакцијом:



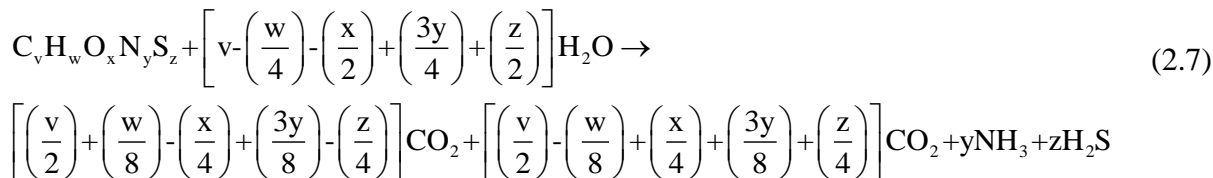
Хемијска реакција за анаеробну разградњу органског отпада до метана и угљен-диоксида може се приказати на следећи начин [81]:



Разлагање целулозе у коначном запреминском саставу 50 %<sub>vol</sub> метан и 50 %<sub>vol</sub> угљен-диоксид може се представити хемијском реакцијом 2.6.

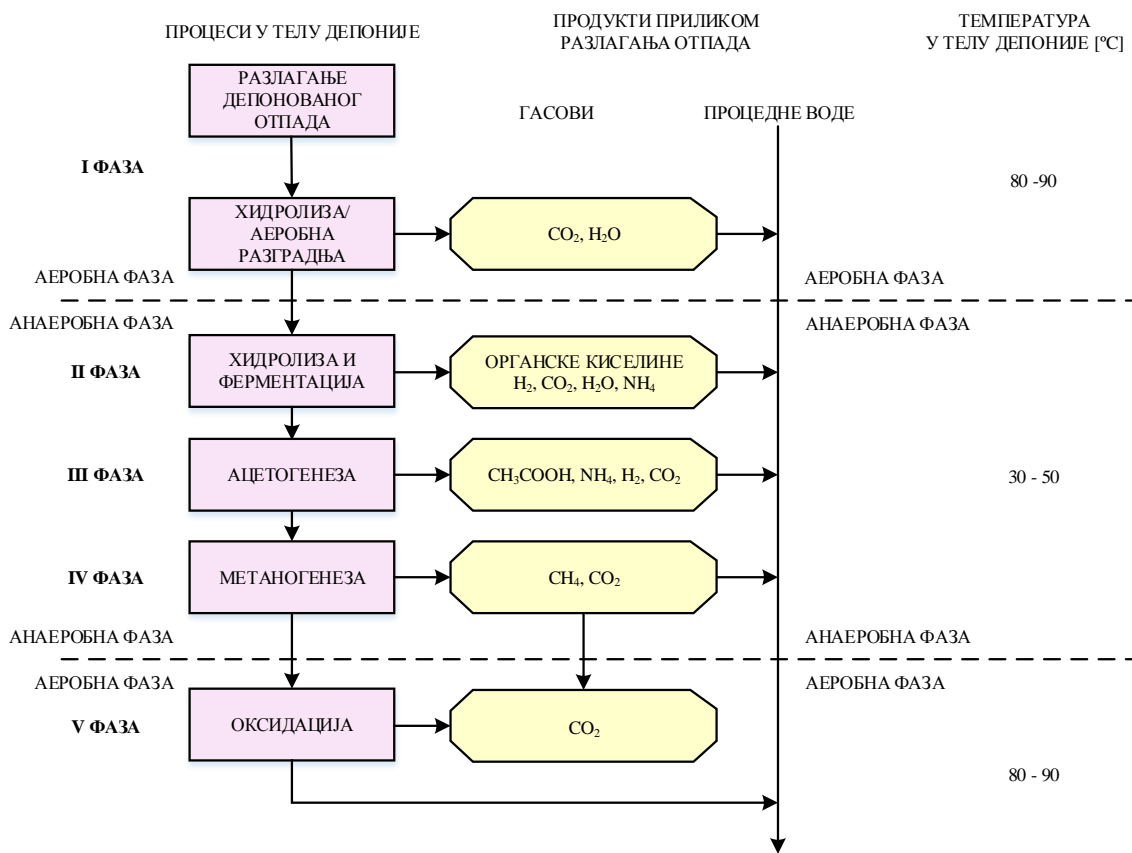


Општа хемијска реакција разградње чврстог комуналног отпада приказана је на следећи начин:

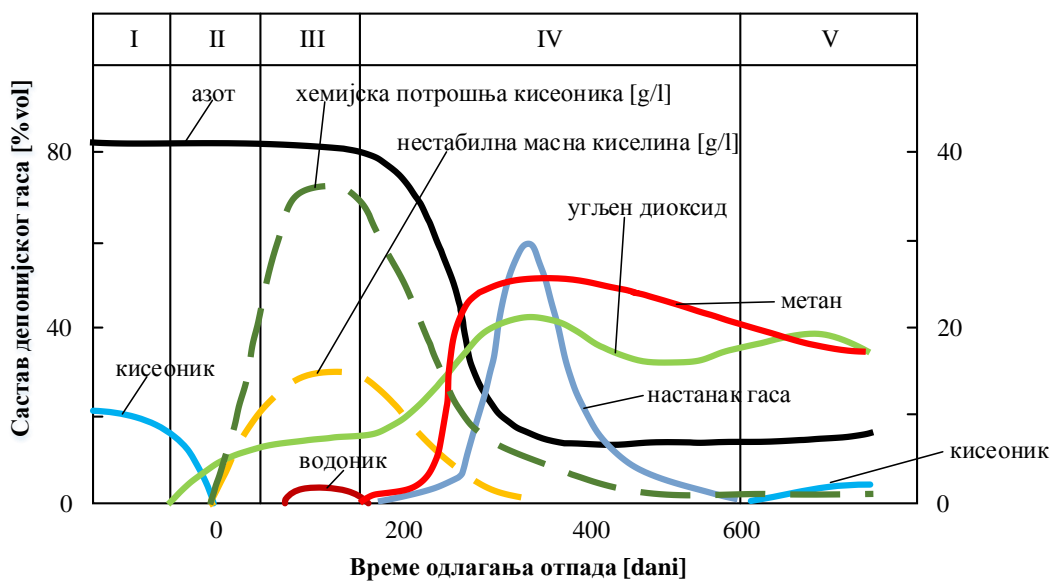


Пета фаза представља завршну фазу разградње отпада, при чему су потрошене киселине приликом стварања метана и угљен-диоксида. Нови аеробни микроорганизми постепено замењују анаеробне и поново се стварају аеробни услови у телу депоније. При таквим условима преостали метан се разлаже на угљен-диоксид и воду.

На слици 2.12 приказане су фазе разлагања отпада на депонији које карактеришу одређени процеси, стварање депонијског гаса и температуре у телу депоније. На слици 2.13 приказане су компоненте депонијског гаса чији је састав различит у зависности од фазе разлагања депонованог отпада



Слика 2.12 - Фазе настанка депонијског гаса [89,25]



Слика 2.13 - Састав депонијског гаса у фазама распада отпада [34]

Колико је сложен састав депонијског гаса који се ствара у телу депоније комуналног отпада може се видети из табеле 2.11 у којима су приказане главне компоненте депонијског гаса као и из табеле 2.12 у коме су приказане компоненте које се налазе у траговима у депонијском гасу.

Табела 2.11 - Састав депонијског гаса [89]

Компонента депонијског гаса	Концентрација [%vol]	Максимална концентрација [%vol]
Метан	63,8	88,0
Угљен-диоксид	33,6	89,3
Азот	2,4	87,0
Кисеоник	0,16	20,9
Водоник	0,05	21,5
Виши алакани	< 0,05	0,07
Етен	0,018	-
Незасићени угљоводоници	0,009	0,048
Етан	0,005	0,0139
Ацеталдехид	0,005	-
Бутан	0,003	0,023
Пропан	0,002	0,0179
Угљен-моноксид	0,001	0,09
Хелијум	0,00005	-
Халогенизована једињења	0,00002	0,032
Водоник-сулфид	0,00002	35,0
Органо-супорна једињења	0,00001	0,028
Алкохоли	0,00001	0,128
Остало	0,00005	0,023

Табела 2.12 - Компоненте које се у траговима налазе у депонијском гасу [89]

Компонента депонијског гаса	Опсег концентрација [mg/m <sup>3</sup> ]	Компонента депонијског гаса	Опсег концентрација [mg/m <sup>3</sup> ]
<b>Алкани</b>		<b>Алкени</b>	
Пропан	<0,1-1	Бутадиен	<0,1-20
Бутан	<0,1-90	Бутени	<0,1-90
Пентан	1,8-105	Пентадиени	<0,1-0,4
Хексан	1,3-628	Пентени	<0,5-2
Хептан	4-1054	Хексени	<0,5-136
Октан	8,5-675	Хептадени	<0,1-1,9
Нонан	31-226	Хептени	0,3-103
Декан	81-335	Октени	<1-144
Ундекан	12-164	Нонадиени	<0,1-9
		Нонени	5,2-7,5
		Децени	13-188
		Ундецени	<2-54
<b>Циклоалкани</b>			
Циклопентан	<0,2-6,7	<b>Циклоалкени</b>	
Циклохексан	<0,5-103	Лимонен	2,1-240
Метилциклопентан	<0,1-79	Остали терпени	14,3-311
Диметилциклопентани	0,1-330	Ментени	<0,1-29
Етилциклопентан	<0,1-<2		
Метилциклохексан	1,5-290	<b>Ароматични угљоводоници</b>	
Триметилциклопентани	<0,1-58	Бензен	0,4-144
Диметилциклохексани	<2-54	Толуен	8->460
Триметилциклохексани	<0,1-27	Стирен	<0,1-7
Пропилциклохексани	<0,5-8	Ксилен	34-470
Бутилциклохексани	<0,1-4	Етилбензен	17-330
		Метилстирен	<0,1-15
<b>Халогенована једињења</b>		Пропилбензени	36-292
Хлорметан	<0,1-1	Бутилбензени	5,8-138
Хлорфлуорметан	<0,1-10	Пентилбензени	0,4-17,5
Дихлорметан	<0,1-190		
Хлордифлуорметан	<0,1-16	<b>Органосумпорна једињења</b>	
Дихлорфлуорметан	<0,1-93	Карбонил сулфид	<0,1-1
Хлороформ	<0,1-0,8	Угљен дисулфид	<0,1-2
Дихлордифлуорметан	<0,1-48	Метантиол	<0,1-87
Трихлорфлуорметан	<0,1-20	Етантиол	<0,1-<2
Хлоретан	<0,1-46	Диметил сулфид	<0,2-60
1,1-Дихлоретан	<0,1-130	Диметилдисулфид	0,1-40
1,2-Дихлоретан	<0,1-8	Диетил дисулфид	0,1-0,6
Винил хлорид	<0,1-32	Бутантиоли	<0,1-2,4
1,1,1-Трихлоретан	<0,1-177	Пентантиоли	<0,1-1,2
1,2-Дихлоретилени	<0,1-302		
Трихлоретилен	<0,1-170	<b>Алкохоли</b>	
Тетрахлоретилен	<0,1-350	Метанол	<0,1-210
1,1-Дихлортетрафлуоретан	<0,1-1	Етанол	<0,1->810
1,2-Дихлортетрафлуоретан	<0,1-10	Пропан-1-ол	<0,1-110

Наставак табеле 2.12

Компонента депонијског гаса	Опсег концентрација [mg/m <sup>3</sup> ]	Компонента депонијског гаса	Опсег концентрација [mg/m <sup>3</sup> ]
1,1,1-Трихлортрифлуоретан	<0,1-70	Пропан-2-ол	<0,1->46
Брометан	<0,1-<2	Бутан-1-ол	<0,1->19
Хлорпропани	<0,1-<2	Изобутан-1-ол	<0,1->5,3
Дихлорбутани	<0,1-<2	Бутан-2-ол	<0,1-210
Хлорбензен	<0,1-2,1		
Дихлорбензени	<2-16	<b>Етри</b>	
		Диметилетар	0,02-<2
<b>Естри</b>		Метилетилетар	<0,1-<2
Етил-ацетат	<0,1-64	Диетилетар	<0,1-12
Метил-бутаноат	<0,1-15	Дипропилетри	<0,1-220
Етил-пропионат	<0,1-136		
Пропил-ацетат	<0,1-50	<b>Остала оксигенована једињења</b>	
Изопропил-ацетат	<0,1-6	Ацетон	<0,1-3,4
Метил-пентаноат	<0,1-22	1,3-Диоксолан	<0,1-5
Етил-бутаноат	<0,1-350	Бутан-2-он	0,4-38
Пропил-пропионат	<0,1-200	Тетрахидрофуран	<0,1-<2
Бутил-ацетат	<0,1-60	Пентан-2-он	<0,1-4,2
Етил-пентаноат	<0,1-27	Метилфурани	<0,1-0,8
Пропил-бутаноат	<0,1-100	Диметилфурани	<0,1-12
		Камфор/фенхон	<0,1-13
		Карбоксилне киселине	<0,1-<2

У табели 2.13 приказане су неке особине депонијског гаса и његових главних компонената метана и угљен-диоксида.

Табела 2.13 - Особине депонијског гаса и његових главних компонената [35, 37]

Особине	Метан	Угљен-диоксид	Депонијски гас
Густина [kg/m <sup>3</sup> ]	0,72	1,98	1,35 за (50% <sub>vol</sub> CH <sub>4</sub> +50% <sub>vol</sub> CO <sub>2</sub> ) 1,19 за (60% <sub>vol</sub> CH <sub>4</sub> +40% <sub>vol</sub> CO <sub>2</sub> )
Растворљивост [mg/l]	35 на 17 °C	1,45 на 25 °C	-
Доња топлотна моћ [MJ/m <sup>3</sup> ]	38	-	19
Динамичка вискозност [Pa·s]	1,03x10 <sup>-5</sup>	1,39x10 <sup>-5</sup>	1,21x10 <sup>-5</sup> за (50% <sub>vol</sub> CH <sub>4</sub> +50% <sub>vol</sub> CO <sub>2</sub> ) 1,17x10 <sup>-5</sup> за (60% <sub>vol</sub> CH <sub>4</sub> +40% <sub>vol</sub> CO <sub>2</sub> )

Утицај компонената депонијског гаса на животну средину приказан је у табели 2.14.



Табела 2.14 - Утицај и опасности компонента депонијског гаса на животну средину [79,80]

Компонента депонијског гаса	Утицај	Врсте утицаја	Опасност	Очекивано кретање емисије
Угљен-диоксид	глобални	глобално загревање	велика	↑
Метан	локални	пожари и експлозије, опасност по здравље	велика	↓
Ароматични угљоводоници	глобални	глобално загревање	мала	↓
Халогени угљоводоници	локални	вегетација, опасност по здравље	велика	↓
Хлорофлуороугљеници	локални	пожари и експлозије	мала	→
Полихлоровани-добензо-пара-диоксини	локални	опасност по здравље	велика (од пожара)	→
Полициклични ароматични угљоводоници	глобални	деградација животне средине	велика (од пожара)	→
Водоник-сулфид	локални	опасност по здравље, корозија	мала	↓
Органски сулфиди	глобални	опасност по здравље, корозија, непријатан мирис	велика	→
Угљен-моноксид	локални	опасност по здравље,	мала	↓
Водоник	локални	експлозија	мала	→
Жива	глобални	биоакумулација, опасност по здравље	мала	↓
Једињења силицијума	локални	опасност по здравље	непознато	↑
Амонијак	локални	емисије NO <sub>x</sub> , непријатан мирис, опасност по здравље	мала	↓
Оксиди нитрита	глобални	глобално загревање	непознато	↑
Оксиди нитрата	локални	киселе кише	мала	↓
Прашина и аеросоли	локални	опасност по здравље	велика по раднике	↑

Настајање депонијског гаса на депонији са око 50 %<sub>vol</sub> метана може да има штетни утицај на животну средину из следећих разлога [6, 28]:

- главни елементи загађења ваздуха су издвојени гасови и чврсте честице прашине;
- непријатни мириси су углавном резултат присуства малих концентрација естра, водоник-сулфида, органског сумпора, алкил-бензена, и други угљоводоника у депонијском гасу који се емитује у атмосферу;
- метан је саставни део депонијског гаса који представља највећу опасност од експлозије. Интервал запаљивости/експлозивности креће се границама од 5 до 15 %<sub>vol</sub>;

- метан се сматра једним од најважнијих гасова стаклене баште јер је његов потенцијал глобалног загревања је 20 пута потенцијала глобалног загревања угљен-диоксида
- депонија има капацитет да акумулира органски угљеник и на тај начин се повећава количина емитованог угљен-диоксида у ваздуху;
- при дифундовању кроз земљиште метан може постепено уништавати вегетацију;
- уколико се у близини депоније налазе објекти, може доћи до акумулације депонијског гаса у њима;
- у затвореном простору депонијски гас може изазвати гушење особа.

### **2.4.3 Кретање депонијског гаса**

Механика кретања депонијског гаса кроз тело депоније је изузетно сложена. Депонијски гас који се произведе испод површине депоније тежи да напусти тело депоније путем најмањег отпора. Природна тенденција депонијских гасова који су лакши од ваздуха, као што је метан, је да се крећу навише, ка површини депоније. Како маса густо збијеног отпада расте у висину, отежано је кретање депонијског гаса навише, те је хоризонтални ток гаса интензивнији.

Кретање депонијског гаса навише може да онемогуће материјали који покривају депонију. Високо порозни материјали као што је фини песак и шљунак, обезбедиће већу пролазност депонијских гасова него густо компактна земљишта као што је ораница, муљ и глина. Засићена земљишта (мокра земљишта) понашају се као баријера и ометају ток депонијског гаса кроз земљиште. Депонијски гас има тенденцију да се шири и попуни празан простор, тако да се креће или "мигрира" кроз унутрашњост депоније. Ово може да буде резултат хоризонталног кретања гаса кроз тело депоније у околна земљишта, околне цеви или неке структуре уколико није саграђен адекватан систем за прикупљање депонијског гаса [51].

Емисија гасова у околни ваздух варира током времена, и дневно и сезонски, а зависи од многих фактора укључујући стопу производње депонијског гаса, састав депонијског гаса, градијента притиска, система за дегазацију депонијског гаса, топографију терена, временске услове и метеоролошке услове.

На миграцију депонијских гасова утичу:

- пропустљивост,

- густина,
- дифузија и
- градијент притиска

**Пропустљивост** - Сува, пешчана и шљунковита тла су веома пропустљива (простори са пуно повезаних пора), док је влажна глина мање пропусна (мање повезаних пора). Такође мокро и залеђено земљиште у значајној мери утиче на кретање гаса у телу депоније. Прекривач депонија се често израђује од земље са малом пропустљивошћу као што је глина. У табели 2.15 дате су карактеристике материјала за покривање депоније.

**Табела 2.15** - Карактеристике неких материјала за прекривање депоније [23]

Намена	Шљунак	Заглињени шљунак	Песак	Заглињени песак	Муљ	Глина
Смањује продирање влаге	Слабо	Довољно или добро	Слабо	Добро или врло добро	Добро или врло добро	Врло добро при доброј дренажи
Омогућава вентилацију и издвајање гасова	Врло добро	Слабо	Добро	Слабо	Слабо	Слабо
Смањује излазак гасова	Слабо	Довољно или добро	Слабо	Добро или врло добро	Добро или врло добро	Врло добро када нема пукотина
Омогућава раст вегетација	Слабо	Добро	Слабо или довољно	Врло добро	Добро или врло добро	Довољно или добро

**Густина** - Приликом дегазације депонијског гаса, угљен-диоксид представља сметњу у одвођењу гасова због своје густине. Угљен-диоксид има 1,5 пута већу густину од ваздуха, односно 2,8 пута је тежи од метана. У телу депоније тежи да се креће наниже, ка дну депоније.

**Дифузија** - Дифузија описује природну тенденцију гаса да постигне уједначену концентрацију у било ком простору. То је ентропијски вођен процес у којем се гас која дифундује униформно распоређује у расположивом простору, све док систем не дође у стање равнотеже. Депонијски гас се у депонији креће од области са већим концентрацијама ка областима са мањим концентрацијама [51]. Како је концентрација депонијског гаса обично већа на депонији него око ње, депонијски гас се шире из депоније на околна подручја са нижим концентрацијама гасова. Већина депонијских гасова су лакши од гасова који се налазе у окружењу, те ће се емитовати из тела депоније у ваздух.

**Градијент притисака** - Нагомилавање депонијског гаса у телу депоније ствара подручја високог притиска у којима је кретање гаса ограничено збијеним отпадом или прекривним земљаним слојем, у односу на подручја нижег атмосферског притиска, где је кретање гаса неограничено. Овакво кретање гаса се назива конвекција.

Конвекција је струјање флуида која настаје услед градијената притиска и силе потиска, тако да она има важну улогу у миграцији депонијског гаса са тела депонија. Дарсијев закон се може изразити конвективном брзином кроз вертикални правац као што је приказано у једначини 2.8.

$$V_z = -\frac{k_p dp}{\mu dz} \quad (2.8)$$

Где је:  $V_z$  - конвективна брзина [m/s],

$k_p$  - унутрашња пропустљивост [m<sup>2</sup>],

$\mu$  - динамичка вискозност смеше гаса [Pa·s],

$p$  - притисак [Pa],

$z$  - дубина [m].

Уколико се узима у обзир апсорбција и стварање гасова онда се конвекција депонијског гаса може изразити једначином 2.9.

$$O = V_z \frac{dC_a}{dz} + D_z \frac{d^2 C_a}{dz^2} \quad (2.9)$$

Где је:  $O$  - конвекција депонијског гаса [g/m<sup>3</sup>s],

$C_a$  - концентрација [g/m<sup>3</sup>],

$D_z$  - коефицијент ефективне дифузије [m<sup>2</sup>/s].

Уколико су апсорбцијски и производни ефекти гасова запостављени, једначина 2.9 се може изразити у облику једначине 2.10. У случају да се депонијски гас више не производи, једначина 2.10 може се изразити у облику једначине 2.11.

$$N_a = -D_z \frac{dC_a}{dz} \quad (2.10)$$

Где је  $N_a$  - флукс гаса [g/ m<sup>2</sup>s].

$$D_z = D \frac{\alpha_{gas}^{10/3}}{\alpha^2} \quad (2.11)$$

Где је:  $D$  - коефицијент дифузије [ $m^2/s$ ],

$\alpha_{gas}$  - порозност гаса [-],

$\alpha$  - укупна порозност [-].

Типична вредност коефицијента дифузије метана је  $0,20 \text{ cm}^2/s$  а угљен-диоксида је  $0,13 \text{ cm}^2/s$ .

Многи фактори утичу на кретање гасова, од којих су најзначајнији: пројектовање депоније, количина произведених гасова, врста завршног прекривача, систем за дегазацију депонијских гасова, хидрометеоролошке карактеристике, итд. Савремене санитарне депоније минимизирају могућност потенцијалног пожара прекривањем отпада, одбацивањем хрпе некомпатибилних отпада и пажљивим контролисањем издвајања депонијског гаса.

#### 2.4.4 Карактеристике метана

Мања производња метана може бити условљена тиме што у телу депонија нису постигнути анаеробни услови разградње отпада који су неопходни за његов настанак. Повећањем концентрације метана долази до смањења концентрације кисеоника. Физичко-хемијске карактеристике метана дате су у табели 2.16.

Табела 2.16 - Физичко-хемијске карактеристике метана [51]

Карактеристике	Вредности
Молекулска тежина	16,04 [g/mol]
Густина	7.168 [g/dm <sup>3</sup> ]
Тачка мржњења/кључања/паљења	-183 [°C] /-162 [°C] /-188 [°C]
Граница запаљивост/експлозивности	5-15 [% <sub>vol</sub> ]
Температура паљења	650-750 [°C]
Топлота сагоревања	56,19 [kJ/kg]
Боја пламена	бледоплава
Боја гаса	без боје
Мирис гаса	без мириса
Растворљивост	слабо растворљив у води, растворљив у алкохолу и етру

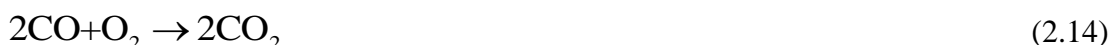
Метан је компонента депонијског гаса која је природно запаљива и експлозивана. При сагоревању метана, дешавају се бројне реакције. Метан може учествовати у формирању формалдехида (НСНО) који даље фомира формил радикал ( $\cdot\text{НСО}$ ), који даље ствара угљен-моноксид. Овај процес познат је под називом оксидативна пиролиза:



У току оксидативне пиролизе, која се одвија веома брзо,  $\text{H}_2$  оксидира дајући воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ) и ослобађајући топлоту.



На крају,  $\text{CO}$  оксидира дајући  $\text{CO}_2$  и ослобађа 282,9 MJ/mol или 12,64 MJ/kg. Овај процес је углавном спорији од других хемијских парцијалних реакција у овом процесу.



Укупна реакција сагоревања метана може се приказати на следећи начин:



#### 2.4.5 Укупна продукција метана

Прорачун процене продукције метана са депоније може се добити преко следеће једначине [29]:

$$\text{продукција метана} = \sum (\text{емисија метана} + \text{одводjenje метана} + \text{оксидација метана}) \quad (2.16)$$

**Емисија метана.** Емисија метана је испуштање односно емитовање метана у атмосферу. Метан са емитера тј. депоније доспева у атмосферу где се диспергује, трансформише и подлеже процесу депозиције и доспева до рецептора. Једини начин да се са великом тачношћу квантификује ефикасност прикупљања депонијског гаса/метана јесте да се у исто време са депоније мери прикупљени метан и ослобођене емисије метана. Емитовани метан се мери помоћу било које статичке коморе или на основу истраживачке технике. Емисије гасова мере се коришћењем мултигаснигих детактора односно компјутеризованим гасним анализаторима.

**Одвођење метана.** Системи за одвођење метана могу бити активни и пасивни. Активни системи су вертикални и хоризонтални бунари који имају вентил за регулисање протока и узорковање гаса. Ови системи су најефикаснији. Пасивни системи могу бити коси вентилациони канали са испуном од шљунка који су уграђени у тело депоније, шљунчане баријере, ровови са испуном од шљунка, вентилациони екрани и биотрнови. Ови системи раде на принципу кратања метана услед разлике

притиска. Користе се код плитких депонија а њихови трошкови изградње и одржавања су ниски.

**Оксидација метана.** Оксидација метана зависи од следећих фактора: температуре, влажности, доступности хранљивих материја, типа и структуре земљишта. Подаци добијени лабораторијским истраживањем се комбинују са теренским мерењима емисије метана, да би се квантитативно проценила оксидација на низу локација на депонији, а затим добила екстраполација вредности метана на целој депонији.

Микробиолошка оксидација метана се приписује групи микроорганизама названих *methanotrophs*. Процес оксидације метана се дешава у релативно ограниченом хоризонталном "слоју", где су и метан и кисеоник доступни [73]. У телу депоније долази до стварања метана, док се снабдевање кисеоником врши путем дифузије из атмосфере. Лабораторијска истраживања симулиране депоније земљишта показује да је активна зона у погледу оксидације метана у горњем делу депоније, 30 до 40 cm од површине депоније [30].

**Табела 2.17** - Количина ослобођеног метана процесом оксидације [4,32,88]

Локација	Оксидација метана [g/m <sup>2</sup> /dnevno]
Калифорнија	45
Шветска	46,08-149
Лабораторија	166,4

На процес оксидације метана у телу депоније утичу следећи параметри:

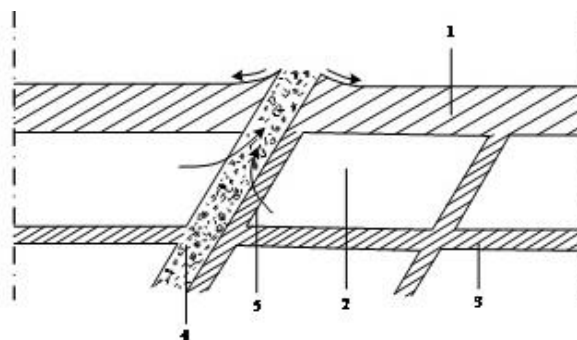
- **Температура**- Стопа оксидације метана расте са повећањем температуре, док ниске температуре спречавају оксидацију. Оптималне температуре за оксидацију метана су од 25 до 35°C. За процену утицаја температуре на оксидацију метана, користи се вредност Q10, која показује за колико пута се оксидација метана повећава када се температура повећава за 10°C. Просечна вредност Q10 је  $1,88 \pm 0,14$  између 10 и 20°C. Високе вредности Q10 од 3,4 до 7,3 указују да температура утиче на оксидацију метана више од других фактора.
- **Притисак** - Разлика притиска је један од фактора који доводи до хоризонталног и вертикалног кретања депонијског гаса кроз тело депоније. Пад атмосферског притиска ваздуха може да "пумпа" гас из тела депоније.

## 2.4.6 Системи за дегазацију депонијског гаса

Планирање и постављање система за дегазацију депонијских гасова неопходно је због контролисаног одвођења ових гасова, чиме се онемогућава његово акумулирање у телу депоније [53]. При томе се омогућава и континуално праћење састава депонијског гаса као и концентрације његових компонената. Нарочито је битно праћење концентрације метана, који је један од извора настанка пожара и експлозија на депонији.

### 2.4.6.1 Пасивни системи за дегазацију депонијског гаса

Пасивни системи за дегазацију депонијског гаса функционишу на природној разлици притисака и дифузији гаса из тела депоније у атмосферски ваздух. Најједноставнији начин је кад се у телу депоније предвиде вентилациони канали, косо постављени и испуњени шљунком по читавој висини депоније. Дебљина слоја шљунка се креће од 300 до 500 mm. Размак између вентилационих канала креће се у границама од 20 до 60 m (слика 2.14).



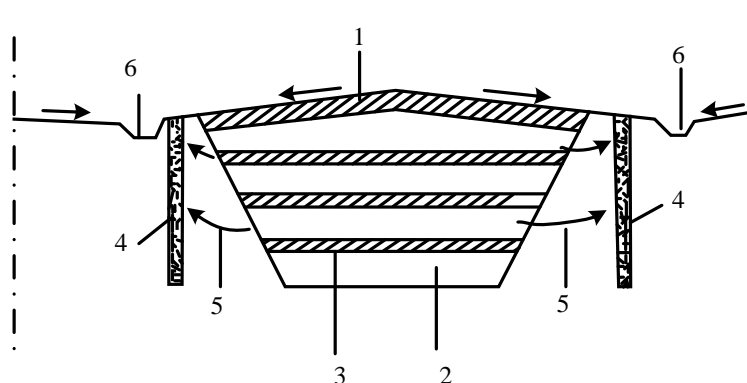
1. завршни прекривни слој, 2.депоновани отпад, 3. дневни прекривни слој, 4. шљунчане ћелије

**Слика 2.14** - Вентилационе шљунчане ћелије за евакуацију гасова [21]

Други начин постављања пасивних система је по ободу депоније. Алтернативно решење је постављање непропусне баријере око целе депоније. На овај начин се спречава ширење гаса ван депоније.

Уколико је тело депоније пропустљиво, на њеним бочним странама се пројектују вертикални евакуациони екрани за прикупљање гасова. Ови екрани су испуњени шљунком и удаљени су од 2 до 5 m од крајева депоније (слика 2.15).





1. завршни прекривни слој, 2. депоновани отпад, 3. дневни прекривни слој, 4. вентилационе шљунчане палете, 5. правци комуницирања гасова, 6. ободни одводни канали

**Слика 2.15** - Вентилациони екрани за вентилацију гасова [21]

Од пасивних система најбоље су се показали вентилациони објекти типа бунара-биотрнови. Гасни бунари (биотрнови) за одвођење депонијских гасова постављени су по ободу и унутар депоније у одговарајућем распореду који прати контуру депоније и који је прилагођен начину депоновања смећа у појединим сегментима.



**Слика 2.16** - Постављени биотрнови на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту [100]

Темељ бунара је од бетона и поставља се на припремљену подлогу зоне депоновања док се цеви од 1 m постављују постепено, како напредује попуњавање депоније. Биотрнови који се постављају у већ постоји депоновани слој отпада, немају темеље, већ се буше рупе у сметлишту прачника 600 – 650 mm, дубине 2 m, у које се убацује заштитна решетка [21].

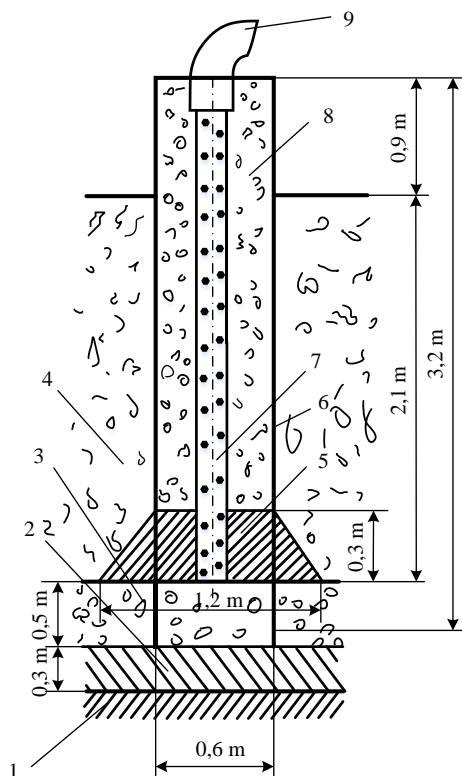
Дегазациона цев је перфорирана пластична цев спољашњег пречника 200 mm, преко које се врши евакуација гаса у околину. Материјал цеви је поливинил хлорид (PVC). Дужина цеви је према потреби у зависности од висине слоја смећа и инертног материјала. Цеви имају прикључак за спајање на завршетку (муф, односно проширење за спајање цеви увлачењем једна у другу).

Заштитна решетка се налази око перфориране цеви, пречника 600 mm. Она је армираног гвожђа и плетене жице, дужине према потреби у зависности од висине слоја отпада и инертног материјала. Простор између заштитне решетке и перфориране цеви испуњава се шљунком крупније гранулације (преко 32 mm), ради повећања површине додира гасова и дегазационе цеви и лакше евакуације гаса у атмосферски ваздух. Заштитна решетка се поставља пре насипања отпада ради лакшег формирања биотрна. Улога заштитне решетке је и та да заштити постављени биотрн од могућих оштећења од грађевинске механизације.

Одушна лула се поставља на горњем делу биотрна, као пластично колено од 90° засечено под углом за излазак гаса у атмосферу, а ради спечавања упада атмосферских падавина.

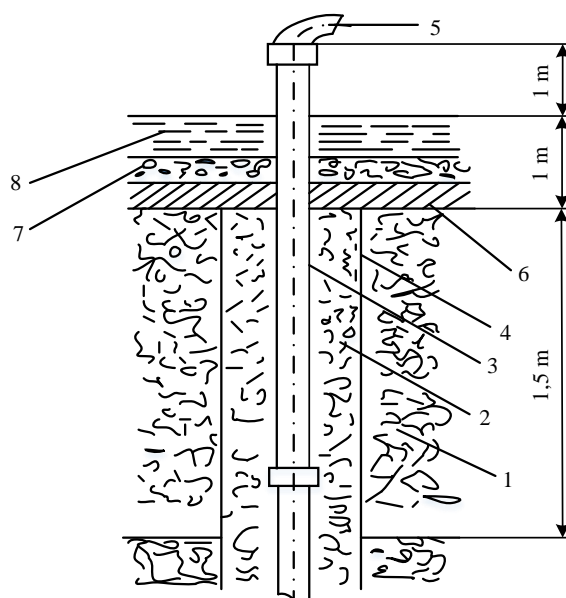
Пречници бунара су обично 0,6 до 1 m. Бунари већих пречника имају већу површину додира између шљунка и отпада и захтевају мањи надпритисак за евакуацију гаса. Уобичајена дубина бунара износи од 50 до 90 % дубине отпада, изузев у случајевима појаве подземних вода када се њихова дубина зауставља на нивоу подземних вода. Унутрашњост бунара се попуњава или шљунком или туцаником и то у целој висини [66]. Висина бунара у оквиру депоније треба да је најмање 1 до 3 m изнад прекривног слоја. Међусобни размак бунара је 20 до 40 m, а њихов број се одређује према очекиваној продукцији депонијског гаса. Често се на врху бунара постављају горионици за гасове или се монтирају на посебно постављене вертикалне перфориране полиетиленске цеви профила 50 до 75 mm. Висина горионика изнад завршног прекривног слоја депоније може бити од 3 до 6 m.

Око комплекса депоније препоручује се вегетациони заштитни појас који представља додатну брану распрострањавања мириса и служи као тампон зона између депоније и оближњих објеката, услед евентуалног настанка пожара.



1. земља, 2. слој глине, 3. слој шљунка за дренажу, 4. слојеви отпада и инертног материјала, 5. темељ биотрна, 6. заштитна решетка, 7. пластична перфорирана цев, 8. шљунак, 9. одушина лула

**Слика 2.17** - Пресек биотрна после депоновања слојева отпада и инертног материјала висине 2,5m [66]



1. Слојеви отпада и инертног материјала, 2. шљунак гранулације преко 32 mm, 3. пластична перфорирана цев, 4. заштитна решетка, 5. одушина лула, 6. слој глине дебљине 20 cm, 7. слој шљунка дебљине 20 cm, 8. слој земље за рекултивацију 60 cm

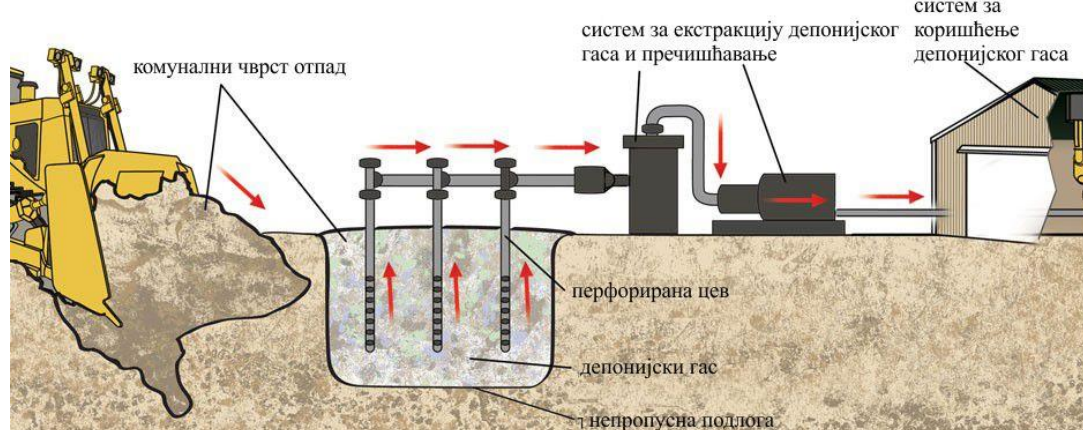
**Слика 2.18** - Пресек биотрна по покривању заштитним слојем за техничку и биолошку рекултивацију [66]

### 2.4.6.2 Активни системи за дегазацију депонијског гаса

Активни системи за дегазацију депонијског гаса сматрају се најбољим средством за сакупљање депонијског гаса. Осим примарне улоге сакупљања депонијског гаса који настаје у телу депоније, они смањују концентрацију емитованог депонијског гаса у атмосферски ваздух, штите животну околинду, смањују ефекат стаклене баште, елиминишу могућност настанака пожара и експлозија на депонији и користи се за добијање енергије.

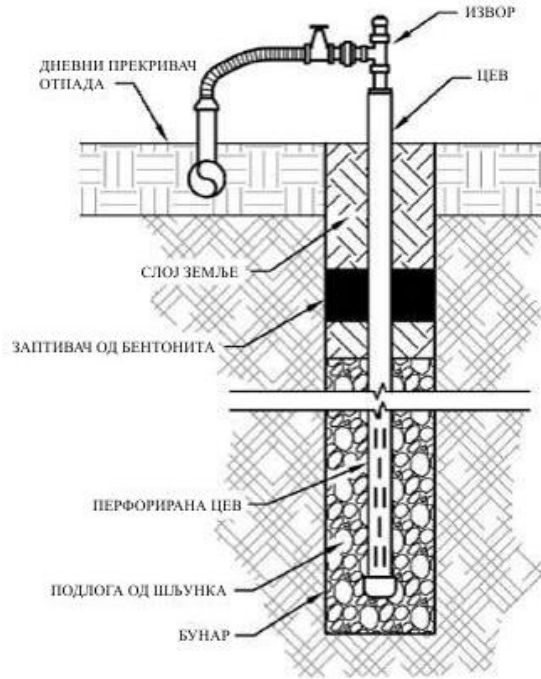
Компоненте овог система су (слика 2.20):

- хоризонтални и вертикални екстракциони бунари;
- мрежа сабирних и одводних цеви за транспорт депонијског гаса до колектора;
- вакуум пумпа или компресор;
- уређај за спаљивање депонијског гаса;
- постројење за коришћење гаса.

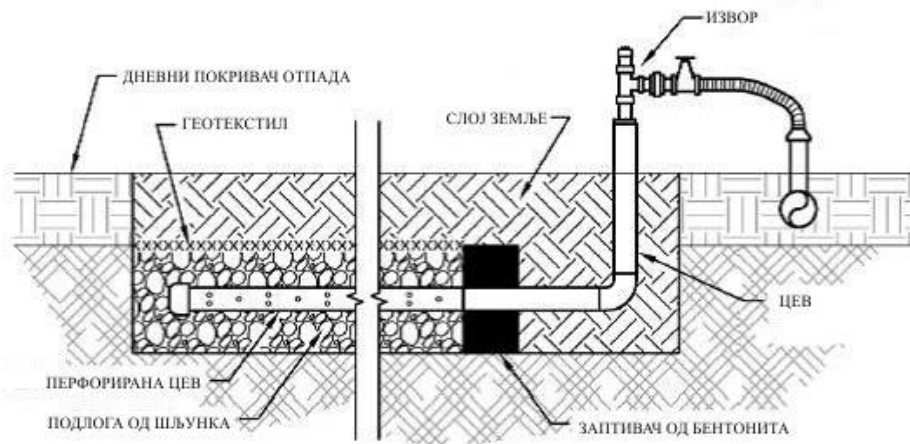


Слика 2.19 - Активни систем за дегазацију депонијског гаса [105]

Активни системи за дегазацију депонијског гаса са депоније састоје се од вертикалних бунара (слика 2.21) и хоризонталних бунара (слика 2.22) у којим се сакупља гас који имају уграђене вентиле за регулисање протока и узорковање гаса [104]. У бунарима су постављене цеви од поливинил хлорида (PVC) или полиетиелена високе густине (PE) тако да се радијуси њиховог дејства поклапају. Размак између бунара је од 50 до 60 m код дубоких депонија са композитном HDPE фолијом, док је код депонија са глинеом подлогом око 30 m. Цев је перфорирана у делу где се сакупља депонијски гас. Бунари се повезују у мрежу сабирних и одводних цеви.



Слика 2.20 - Вертикални екстракциони бунар [104]



Слика 2.21 - Хоризонтални екстракциони бунар [104]

Вакуум пумпе или компресори служе за сакупљање депонијског гаса и транспорт до бакље за спаљивање или до постројења за коришћење депонијског гаса.

## 2.5 Санитарне депоније у Републици Србији

Једини начин организованог поступања са отпадом у Републици Србији је одлагање отпада на депоније. Процењено је да се у Републици Србији организовано сакупља око 60% комуналног отпада. Сакупљање је организовано претежно у градским срединама, док су сеоске средине знатно слабије покривене. Сакупљање комуналног отпада у Републици Србији обављају углавном јавна комунална предузећа чији су оснивачи локалне самоуправе. Комунални отпад који се организовано сакупља одлаже се на 164 званично регистроване, општинске депоније. Свака локална самоуправа има сопствену депонију које углавном нису санитарне. Капацитет постојећих депонија је у већини општина већ попуњен, док већина депонија не задовољава ни минимум техничких захтева. Подаци о димензијама и запремини тела депонија нису поуздани, с обзиром да за многе од њих не постоји одговарајућа техничка документација [78]. Око 70 % свих активних депонија није предвиђена просторно планским документима и за њих није урађена студија о процени утицаја на животну средину, нити имају потребне дозволе. Не постоји контролисано одвођење депонијског гаса који настаје разградњом отпада у депонији, што може довести до пожара или експлозије. Процедне воде из депонија се не сакупљају нити пречишћавају и то може угрозити подземне и површинске воде и земљиште због високог садржаја органских материја и тешких метала. Такође не постоји мониторинг емисија компонената депонијског гаса и мониторинг процедурних вода са депонија.

Старост појединих депонија је различита. Депонија у Силбашу, општина Бачка Паланка, у функцији од 1956. године, депонија "Бубањ" у Нишу датира још од 1968. године, депонија у Панчеву почеле је са радом у току 2005. године, док је Регионална санитарна депонија Пирод почела са експлоатацијом 2013. године. Највеће депоније налазе се у Београду, Нишу и Новом Саду. У функцији су 7 регионалних санитарних депонија: у Кикинди, Лапову, Лесковцу, Јагодини, Пироту, Ужицу и Сремској Митровици. Основни подаци о регионалним санитарним депонијама приказани су у табели 2.18.

Табела 2.18 - Регионалне санитарне депоније у Републици Србији [31]

Депонија	Власништво депоније	Почетак рада депоније	Водонепропусне облоге	Депонијски филтрат			Депонијски гас	
				Сакупљање и третман	Упуштање	Рецикулација	Сакупљање и третман	Искоришћење
Кикинда	ЈПП "А.С.А. Кикинда д.о.о"	Активна од 2008.год.	Два слоја глине од 0,25 m	Сабирни базен. Нема третмана	Не	Да	Биотрнови	Не
Лапово "Врбак"	ЈПП "А.С.А. Еко д.о.о"	Активна од 2009.год.	Два слоја глине од 0,25 m	Сабирни базен. Нема третмана	Не	Да	Биотрнови	Не
Лесковац "Жељковац"	ЈПП "Poog Werner & Weber"	Активна од 2009.год.	Два слоја бетонитног тепиха	Аерациона и таложна лагуна	Да	Да	Биотрнови	Не
Јагодина "Гигош"	ЈПП "Poog Werner & Weber"	Активна од 2010.год.	Два слоја бетонитног тепиха	Аерациона и таложна лагуна	Да	Да	Биотрнови	Не
Ужице "Дубоко"	ЈКП "Дубоко"	Активна од 2011.год.	Глина и бетонитни тепих	Аерациона и таложна лагуна	Да	Да	Биотрнови	Не
Пирот "Мунтина падина"	ЈКП "Регионална депонија Пирот"	Активна од 2013.год.	Слој глине од 0,50 m	Аерациона и таложна лагуна	Да	Не	Биотрнови	Не
Шабач и Сремска Митровица "Срем-Мачва"	ЈКП "Регионална депонија Срем-Мачва"	Пробна дозвола од јануара 2014.год.	Слојеви глине од 0,15 m, укупне дебљине 0,50 m	Аерациона и таложна лагуна	Не	Да	Биотрнови	Не

На основу података из Републичког завода за статистику Републике Србије, од укупног броја депонија, 7,3 % депонија у Србији се налази на удаљеностима мањим од 100 m од насеља, 15,2 % депонија налази на удаљеностима мањим од 50 m од обале реке, потока, језера или акумулације, 14 депонија се практично налази на самој обали водотока [77].

На удаљеностима мањим од 500 m од зоне водоснабдевања налази се 6,7 % депонија, док се 12,2 % на удаљеностима мањим од 1.000 m.

Податке о удаљености депонија од заштићених природних добара и споменика културе пријавиле су само 63 општине. У три општине, депоније су удаљене мање од 100 m, док је осам на удаљеностима мањим од 1.000 m од наведених објеката. За

прикупљање отпада користе се најразличитије врсте возила, од специјалних ротопрес ауто-смећара и ауто-подизача за велике контејнере до обичних камиона и трактора са приколицом. У великом броју општина евидентиран је недостатак одговарајуће механизације за прикупљање отпада, а слична је ситуација и са механизацијом која се користи на самим депонијама.

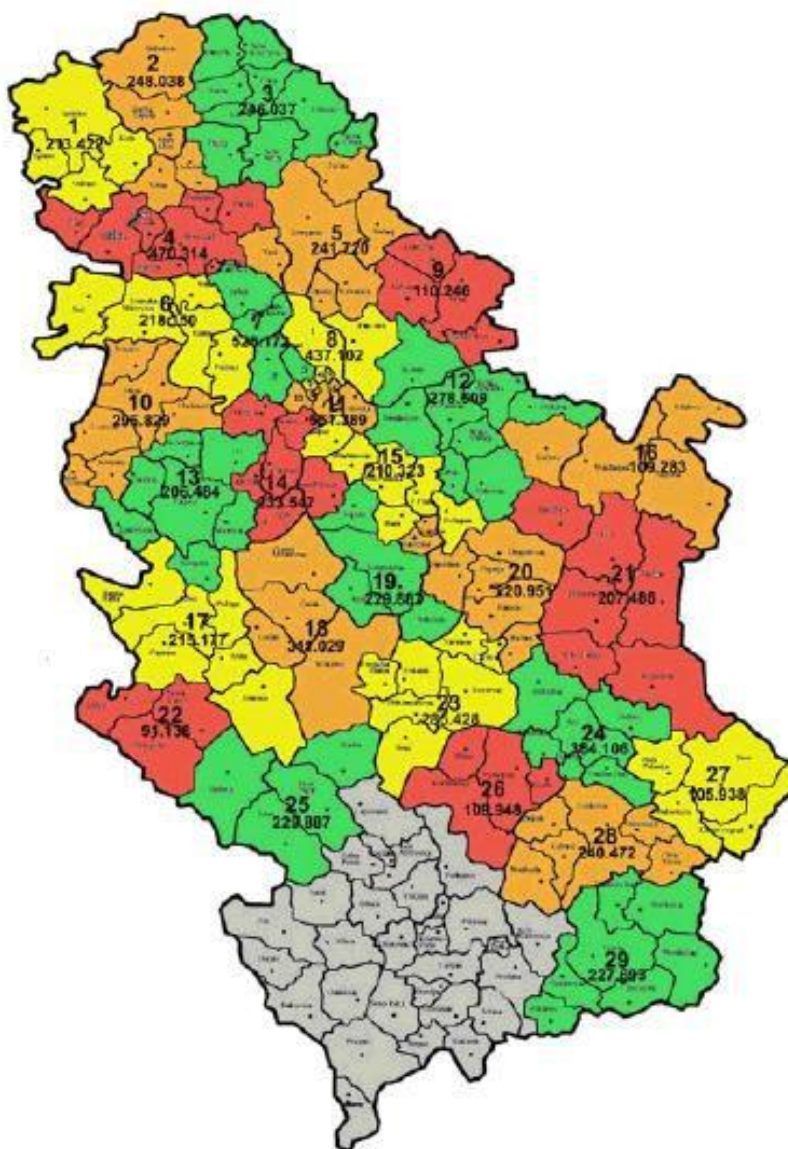
Посебан проблем представљају дивље депоније. Ове депоније су ван контроле јавних комуналних предузећа, баца се око 40% генерисаног комуналног отпада у Републици Србији. Према последњем извештају инспекције из 2009. године њихов број од 4.481 није незанемарљив [78]. У већини случајева дивље депоније се налазе у сеоским срединама и последица су недостатка средстава за проширење система сакупљања отпада, али и лоше организације управљања отпадом на локалном нивоу. Поред ових, дивље депоније се често формирају дуж саобраћајница у путном појасу, од којих је већи проценат на косинама насипа путева, одакле се отпад једноставно баца киповањем из камиона. Такве депоније су најчешће недоступне за уклањање. За депоновање се користе и природне депресије, јаме и вртаче где је чишћење практично немогуће.

Овакви проблеми управљања отпадом нису једнако и равномерно изражени у свим локалним самоуправама, а спровођење активности на увођењу интегралног система зависи првенствено од значајних материјалних средстава локалних самоуправа. И поред постојећих законских одредаба поступање са отпадом и даље није на задовољавајућем нивоу, али су последњих година забележени помаци, тако да је све више општина и градова са изграђеним објектима у оквиру центара за управљање и третман комуналног отпада. Усвајањем Националне стратегије управљања отпадом са програмом приближавања ЕУ, Влада Србије је поставила основу којом се обезбеђују услови за рационално и одрживо управљање отпадом. Доношењем Закона о управљању отпадом извршило се утврђивање савремених принципа, врсте и класификације отпада, планирања управљања, надлежности у управљању, организације управљања, управљање посебним токовима отпада, дозволе за управљање опасним отпадом, прекогранично кретање отпада, извештавање о отпаду и базе података, као и финансирање управљања отпадом. Једино економски оправдано решење је формирање регионалних центара за управљање отпадом у оквиру којих ће се отпад сакупљен из више општина третирати на постројењима за сепарацију рециклабилног отпада и остатак одлагати на регионалним депонијама, као што је утврђено и у Националној



стратегији управљања отпадом из 2003. године. Овакви региони ће имплементирати принципе интегралног система управљања отпадом за дужи временски период.

Према Националној стратегији управљања отпадом из 2003. године, предвиђено је затварање и рекултивација постојећих несанитарних депонија и изградња 29 регионалних санитарних депонија, са центрима за сепарацију рециклабилног отпада и трансфер станицама.



Слика 2.22 - Региони за управљање отпадом у Републици Србији [55]

До децембра 2009. године формирани региони за управљање отпадом су у неким случајевима другачије организовани од предлога датог у Националној стратегији из 2003. године. Већина локалних самоуправа још увек нису постигле договоре, нити потписале споразуме односно уговоре око формирања региона за управљање отпадом.

Након санације, већина досадашњих одлагалишта може бити претворена у трансфер станице и центре за сакупљање рециклабилног отпада, а преостала ће бити затворена изградњом регионалних депонија. Стратегијом за управљање отпадом за период од 2010. до 2019. године планирано је формирање 26 регионалних центара за управљање отпадом, где ће се вршити сепарација рециклабилног отпада, а отпад који нема употребну вредност ће се одлагати на санитарне депоније.

# **3. ПОЖАРИ НА ДЕПОНИЈАМА**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

Одлагање отпада на депонијама које нису правилно пројектоване, изграђене или се правилно не користе може изазвати озбиљне еколошке последице. То може довести до: појаве непријатних мириса, појаве депонијских гасова који могу довести до загађење ваздуха и настанка пожара и експлозија, ефекта стаклене баште, загађење површинских и подземних вода, загађење земљишта, појаве буке од возила, опасности по здравље радника на депонији и људи који живе близу депонија. На слици 3.1 приказан је процентуални удео учесталих карактеристичних појава на депонији.



Слика 3.1 - Приказ карактеристичних појава на депонији [1]

Иако је процентуала заступљеност појаве пожара на депонији од 16,7 % мала у односу на заступљеност осталих процеса и појава, последице и ризици по животну средину могу бити велики, што условљава посебан приступ и анализу свих релевантних параметара и узрока њиховог настанка. Не можемо са сугурношћу одредити када и где ће се десити пожари на депонијама, али зато можемо сагледати узроке настанка пожара, најчесталије периоде настанка као и класификацију пожара. Уколико дође до настанка пожара, период трајања пожара може бити различит уз појаву низа доминантних процеса и стања. Место настанка пожара одређује се праћењем индикатора пожара.

На просторима у нашем окружењу највећи депонијски пожар десио се у Сарајеву је септембра 1996. када је дошло до експлозије метана заробљеног у телу депоније након чега је одроњено око 500.000 m<sup>3</sup> смећа, и одбачено на даљину од 700 m. До сада су у нашим медијима забележени пожари на депонијама [48]:

- 12. 04. 2011. пожар на градској депонији у Јагодини,
- 17. 02. 2012. пожар на депонији "Бубањ" код Ниша,

- 05. 09. 2012. пожар на градској депонији "Бубањ" код Ниша,
- 03. 08. 2013. пожар на градској депонији Требиње,
- 26. 03. 2015. пожар на дивљој депонији код Крагујевца,
- 26. 06. 2015. пожар на градској депонији Параћин.

С обзиром да се на територији Републике Србије налази 164 комуналних депонија као и 4.481 дивљих депонија, озбиљност проблема настанка пожара на депонијама сагледава се према статистичким подацима које је објавио Сектор за ванредне ситуације, МУП Републике Србије (табела 3.1).

**Табела 3.1** - Подаци о настанку пожара на територији Републике Србије

Година	Број пожара на депонијама
2011	1.672
2012	1.663
2013	949
2014	511
2015	877

Број пожара на депонијама на територији Нишавског округа који обухвата 71 насеље и преко 250.000 становника је веома значајан. На то указују и статистички подаци Управе за ванредне ситуације у Нишу за временски период од 2009. до 2015. године, по којима је 7,57% пожара на депонијама од укупног броја пожара на отвореном простору (листопадна шума, четинарска шума, мешана шума, макија, сортне житарице, остале житарице, воћњак, виноград, ливада, депонија смећа, контејнер и остали отворен простор). Број пожара на депонијама за исти временски период износи 5,60% од укупног броја пожара (пожари на грађевинским објектима, отвореном простору и саобраћајним средствима). У протеклих шест година од укупног броја пожара на отвореном простору који износи 6.920, број пожара на депонијама (санитарним и дивљим) је 524.

Приказ броја пожара на депонијама на територији Нишавског округа по годинама дат је у табели 3.2.

**Табела 3.2** - Подаци о настанку пожара на територији Нишавског округа

Година	Број пожара на депонијама
2009	60
2010	60
2011	106
2012	93
2013	96
2014	37
2015	78

Евидентно је да се по статистичким подацима, из табеле 3.1 и 3.2 број пожара задњих година видно смањује, што се може објаснити бољом превенцијом пожара на депонијама, применом и поштовањем законске регулативе, анализирањем предходних пожара, применом искуства из предходних ситуација, бољом сарадњом грађана и др.

### **3.1 Превенција настанка пожара на депонијама**

Главне методе за спречавање пожара на депонијама укључују ефикасно управљање депонијама и континуално праћење индикатора пожара. Спровођење превентивних мера заштите од пожара смањују: материјалну штету и ризик од здравствених опасности, настанак повреда и смртних исхода становништва, радника на депонији као и ватрогасаца и еколошке последице. По правилу, трошкови превенције су јефтинији од трошкова гашења пожара и санација депонија након пожара.

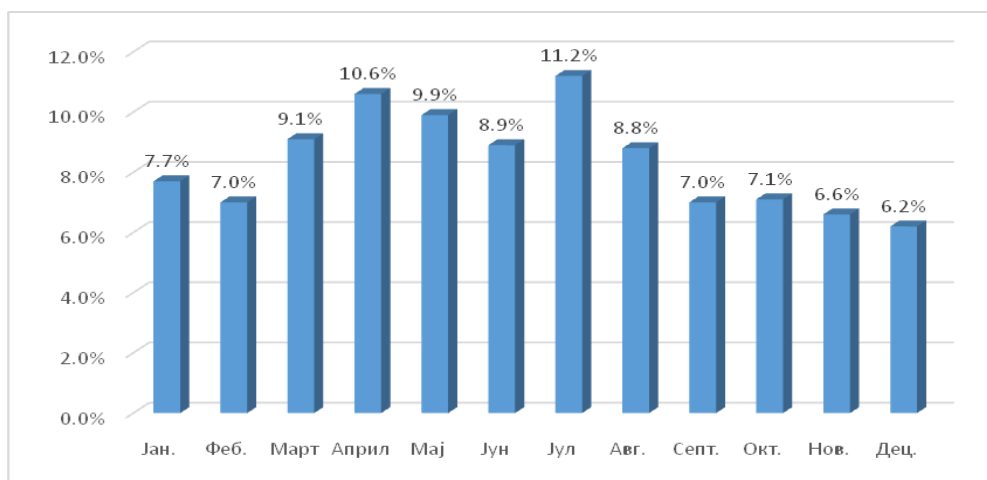
Превентивне мере за спречавање опасности од настанка пожара су:

- забрана или ограничавање јавног приступа оперативним областима на депонији,
- целодневно надгледање депоније и видео надзор,
- забрана неовлашћеног сакупљања отпада,
- контролисање отпада који се допрема на депонију,
- забрана отвореног пламена на депонији,
- забрана пушења на депонији,
- забраном заваривања на активном делу депоније,
- сабијање и дневно прекривање отпада инертним материјалом,
- избегавање гомилања великих количина сувог или запаљивог материјала, као што је папир или зелени отпад,
- правилно пројектован и одржаван система за дегазацију депонијског гаса,
- пажљиво праћење индикатора пожара,
- изградња хидрантске мреже,
- опремање свих просторија и возила на депонији апаратима за гашење пожара,
- обученост радника за безбедност и здравље на раду,
- обученост радника за заштиту од пожара.

### 3.2 Узроци, период настанка пожара на депонијама и његове карактеристике

Тешко је прецизно одредити узрок пожара на депонијама јер постоји велики број различитих фактора који доприносе формирању и њиховом настанку. На пример фактори који узрокују паљење депонијског гаса су сложени како по својим физичко-хемијским карактеристикама тако и по учесталости и дужини трајања. Од укупног процента фактора који су узрок паљења на депонијама, око 40% обично немају доказано порекло настанка. Познато је да око 20% пожара настаје услед тињања и жарења отпадног материјала који има различиту тачку паљења (цигарете, шибице, папир, тканине, итд.) [10]. Такође је познато да је око 5%, пожара на депонијама изазвано самопаљењем, око 7% поновним паљењем претходно гашеног пожара и око 8% услед недовољне контроле отворених пожара.

На основу статистичких података најучесталији периоди настанка пожара су између марта и августа и тада се јавља око 60% пожара у односу на укупан проценат појаве пожара на депонијама у току године (слика 3.2).

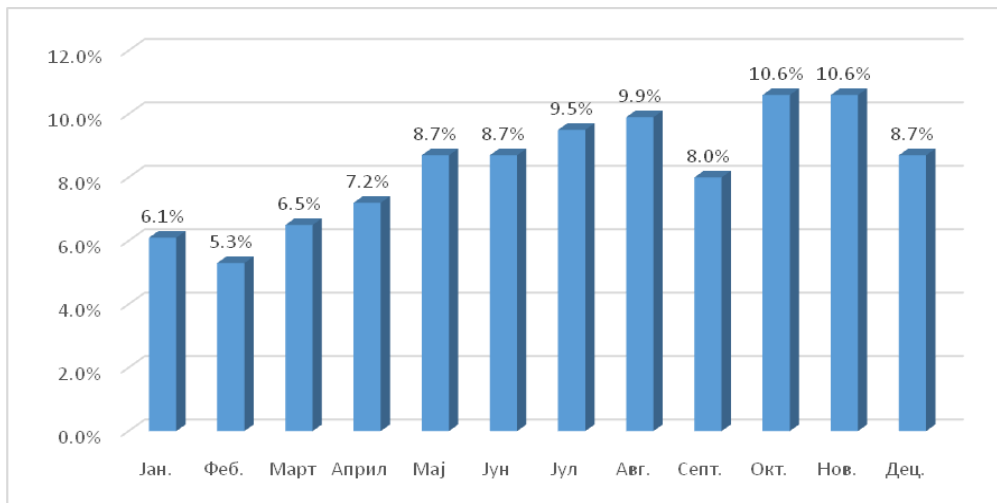


Слика 3.2 - Месечна учесталост пожара на депонији [10]

Регистрован број пожара у јулу је 11,2%, у априлу 10,6%, у мају 9,9%, што заједно представља трећину пожара на годишњем нивоу. Ова месечна учесталост пожара може се објаснити присуством доминантног фактора настанка пожара као што је повишена температура ваздуха и смањен проценат влаге у ваздуху.

Пожари на депонијама, који су резултат самопаљења, постепено се повећавају са смањењем температуре ваздуха и променом осталих метеоролошких услова (слика

3.3). Период највећег броја оваквих пожара, јавља се у октобру 10,6% и новембру 10,6%.



Слика 3.3 - Учесталост пожара насталих спонтаним сагоревањем на депонији [10]

Недовољно сабијен инертни материјал може омогућити продор кисеоника из ваздуха који доспева у тело депоније, убрзава реакцију оксидације или доприноси потпуној оксидацији делимично оксидованог гаса. Процес оксидације праћен је ослобађањем топлоте у телу депоније и сваки повишен ступањ оксидације представља ризик настанка пожара. Продор амбијенталног ваздуха у тело депоније може бити и повећан услед разлике барометарског притиска између тела депоније и спољашњег ваздуха. Ови процеси су изражени у пролеће и касну јесен и резултат су јаких ветрова и атмосферских промена које се манифестују загревањем и хлађењем површине депоније.

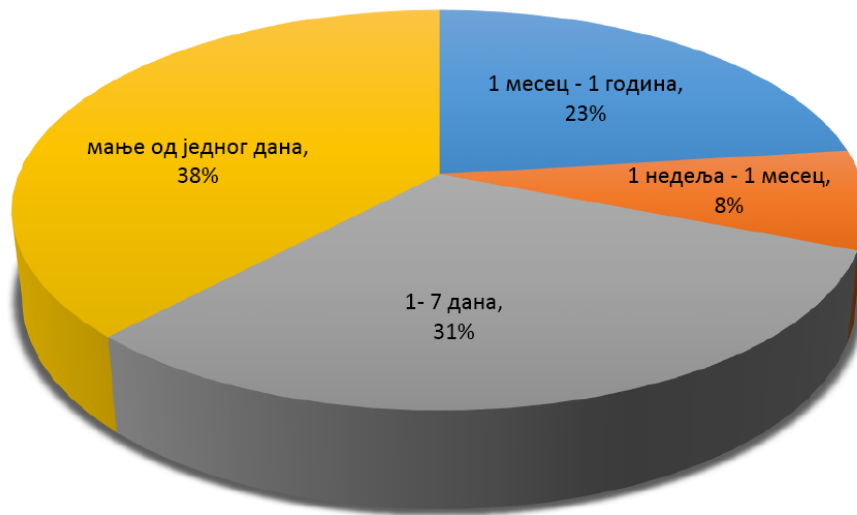
Појаву пожара на депонији прати низ доминантних процеса и стања као што су појава пламена 34%, непријатни мириси 28%, настанак дима 10%, улегнића на површини депоније 21%, итд. Остали процеси и стања 7% укључују емисију непотпуних продуката сагоревања и цурења процедурних вода као резултат активности гашења пожара (слика 3.4).

Временски период трајања депонијских пожара и његових пратећих појава може бити од пар дана до неколико месеци па чак и годину. На овај временски период утиче период трајања површинских пожара који се брзо уоче и одмах приступи акцији гашења пожара, за разлику од подземних пожара који могу бити присутни у телу депоније и по неколико месеци док се не уоче (слика 3.5).





Слика 3.4 - Заступљеност процеса и стања присутних у току пожара [54]



Слика 3.5 - Период трајања пожара на депонији [54]

### 3.3 Врсте депонијских пожара

На основу количине и површине запаљивог материјала - отпада као који је захватио пожар, депонијске пожаре можемо класификовати у четири категорије [64]:

- *I категорија* - пожар који се лако гаси и обухвата пожаре који настају на возилима, опреми или објектима који се налазе на депонији;
- *II категорија* - пожар на радној површини или површини радне косине где се одлаже отпад и обухвата мање од 200 m<sup>3</sup> горивог отпада;
- *III категорија*- пожар који укључује од 200 до 5.000 m<sup>3</sup> горивог отпада, а за који је потребно до недељу дана да би се угасио;

- *IV категорија* - пожар који обухвата више од 10.000 m<sup>3</sup> горивог отпада за чије је гашење потребно више од две недеље.

У зависности од места настанка пожара на комплексу депоније, можемо разликовати [10]:

- пожаре на активном делу депоније који је процентуално најзаступљени (77%);
- пожаре и на возилима, који укључују пожаре на камионима за првоз смећа, пресама, компакторима и другим возилима (4%);
- пожаре дрвећа, шипражја и траве који настају услед ширења пожара са депоније (12%);
- пожаре на грађевинским објектима на депонији - на управној згради са пратећим канцеларијама и другим објектима (портирница, вага) (7%).

Према начину горења пожаре делимо на:

- пламтеће - сагоревање отвореним пламеном и
- жареће пожаре - сагоревање тињањем без пламена.

Пламтећи пожари су карактеристични за површинске пожаре, док су жарећи пожари карактеристични за подземне пожаре.

Пожаре на депонијама можемо сврстати у две групе [63]:

- површински и
- подземни пожари.

**Површински пожари.** Ови пожари настају на активном делу депоније где се свакодневно одлаже отпад. Гориви материјал је некомпактан отпад, стар пар дана или недеља обично на дубини од 0,31 m до 1,22 m, у фази аеробне разградње [38]. Ови пожари могу бити интензивирани од стране депонијског гаса (метан), што може да проузрокује пожар широм депоније. Приликом неконтролисаног сагоревања отпада емитује се густ бели дим и гасовити продукти непотпуног сагоревања. У летњим месецима, уколико се прописно не сабија велика количина одложеног свежег отпада, долази до брзог разлагања. Ако се отпад не покрије довољном количином земље одмах након одлагања како би се спречила инфилтрација ваздуха већа је могућност настанка пожара.

Узроци настанка површинских пожара могу бити следећи: одлагање непримећених тињајућих материјала на депонију, прекомерно сакупљање депонијског

гаса у телу депоније, оштећење система за дегазацију депонијског гаса, нестручно и неадекватно управљање депонијским отпадом, удеси и хаварије на депонији, итд.

**Подземни пожари.** Подземни пожари на депонијама настају дубоко испод површине депоније, у депонованом отпаду који је месецима или годинама стар. Подземни пожари најчешће настају оптерећењем система за дегазацију депонијског гаса или услед самопаљења. Отпад често оксидише у непосредној близини бунара за сакупљање гаса, или близу површине депоније што омогућава продор кисеоника у тело депоније, што даље резултира брзом оксидацијом органског отпада [46]. Најчешћи узрок подземних пожара на депонији је повећање концентрације кисеоника у телу депоније, што повећава активност бактерија и доводи до пораста температуре (аеробна разградња).

Процес самопаљења у телу депоније настаје када се услед биолошке активности распадања органског отпада повећава температура. На око 80°C бактерије почињу да изумиру али у неким случајевима раст температуре се тада наставља. У процесу пиролизе температуре расту до тренука када реакције биолошке разградње постају егзотермне хемијске реакције, стварајући топлоту [38]. На прописно изведеној санитарној депонији, која се састоји од посебних и одвојених ћелија, топлота је у том случају заробљена и реакције се не могу ширити.

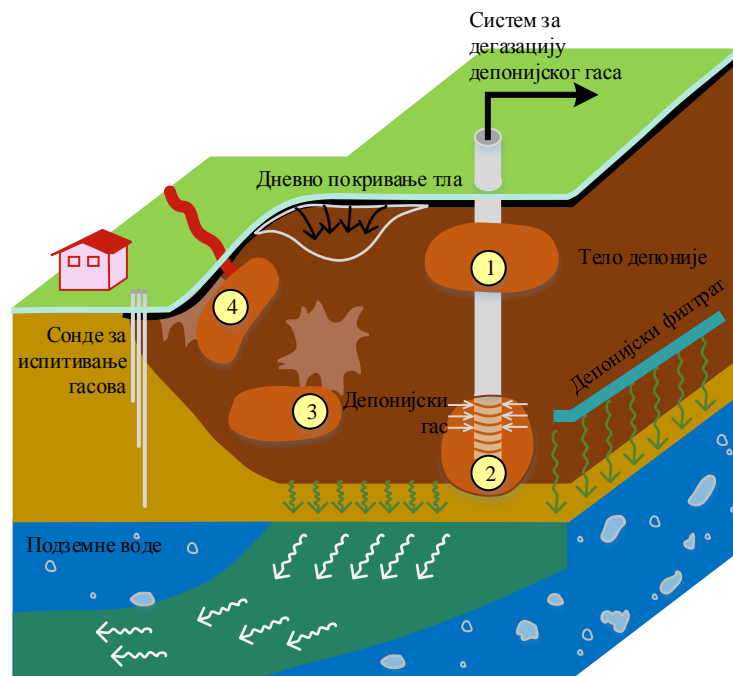
Температура самопаљења је карактеристична за сваки запаљиви гас и у великој мери зависи од његове хемијске структуре. У табела 3.3 приказана је температура самопаљења као и доња и горња граница запаљивости појединих компонената депонијског гаса. Вредности за интервал запаљивости и температуре самопаљења сваг запаљивог гаса добијене су експерименталним путем.

**Табела 3.3 - Интервал запаљивости и температура самопаљења појединих компонената депонијског гаса [13,15]**

Гас	Доња граница запаљивости/ експлозивности [%vol]	Горња граница запаљивости/ експлозивности [%vol]	Температура самопаљења [°C]
Метан	5,0	15,0	601
Водоник	4,0	74,2	400
Угљен моноксид	12,5	74,2	609
Етан	3,0	12,5	514
Пропан	2,2	9,5	468
Бутан	1,8	8,41	406

Створене "вруће тачке" могу доћи у контакт са нагомиланим метаном у телу депоније и изазвати пожар. Карактеристике оваквих пожара су да имају тенденцију да тињају недељама и месецима без прекида, без видљивог пламена или великих количина дима. Пожар се неприметно шири унутар тела депоније све док се не уруши површински слој, појаве пукотине или рупе на површини депоније или се уочи ослобађање дима. Подземни пожари у системима за дегазацију депонијских гасова детектују се услед повећане температуре код врха бунара или откривањем чађи у самом систему. Ови пожари производе запаљиве и отровне гасове који могу да оштете системе за сакупљање депонијског филтрата и сакупљање гаса. Овакви пожари обично се теже гасе од површинских.

Контролисање и спречавање подземних пожара може се остварити спречавањем уласка кисеоника или ваздуха у тело депоније. Ваздух је заробљен у отпаду приликом његовог одлагања на депонију. Недоволjna количина прекривног слоја преко отпада доводи до продирања амбијенталног ваздуха у тело депоније. Лоше пројектовани, изведени, лоцирани или оптерећени системи за сакупљање депонијског гаса могу бити узрок продора ваздуха. Манипулативни путеви од шљунка могу створити путање за улазак ваздуха. Услед слегања отпада, може доћи до појава пукотина кроз које продоре ваздух и кишница.



Слика 3.6 - Места настака подземних пожара [102]

Према месту настајања у телу депоније подземни пожари могу бити (слика 3.6):

1. на системима за дегазацију депонијског гаса близу површине депоније;
2. на системима за дегазацију депонијског гаса у телу депоније;
3. у телу депоније;
4. близу површине депоније.

Подземни пожари се деле на [67]:

- плитке и
- дубоке.

Плитки подземни пожари се стварају на дубини до 5 m. Стандарном опремом, која се користи за манипулацију на депонији, може да се допре до њих. Ови пожари настају када је:

- отпад старости до две године;
- отпад у аеробној фази разградње где је већ присутна већа температура отпада;
- отпад недовољно покривен слојем земље или слојем инертног материјала;
- лоше пројектован система за дегазацију депонијског гаса;
- температура амбијенталног ваздуха висока, најчешће у току лета;
- присутан ветар, који може да поспешу улазак топлог ваздуха кроз непокривен или лоше покривен отпад;
- у отпаду присутан врућ, тињајући или ужарен отпад.

Дубоки подземни пожари јављају се на дубини преко 5 m. Хлађење, гашење и ископавање запаљеног отпада је теже. Ови пожари настају када је:

- отпад стар и у одмаклој фази биолошке и хемијске разградње;
- тешко проналажење локација "врућих тачака";
- присутан физичко-хемијски процес који се одвија у самој маси отпада;
- присутан улазак ваздуха у тело депоније кроз лоше пројетоване или оштећене системе за дегазацију депонијског гаса или система за рекултивацију отпадних вода;
- стварање нових "врућих тачака" у правцу нагомиланог метана (метански цеп);
- стварање нових "врућих тачака" у правцу системима за дегазацију депонијског гаса.

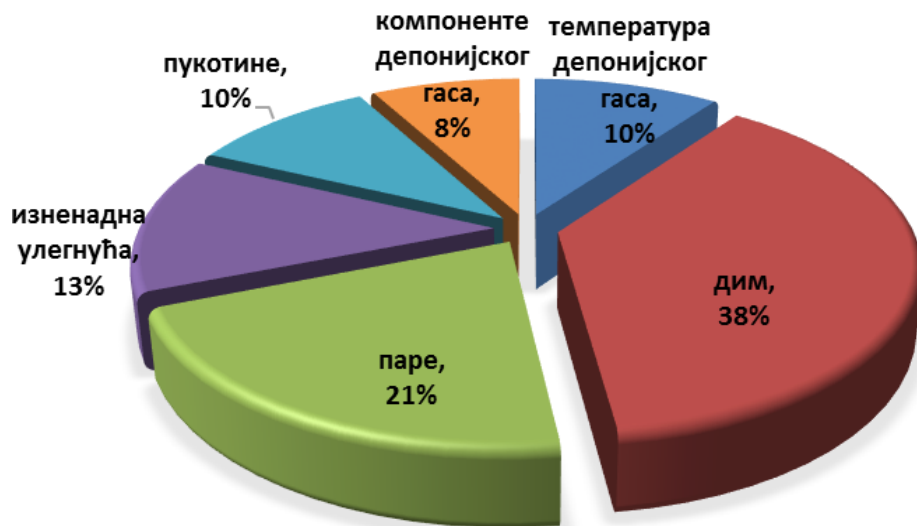
### 3.4 Индикатори за откривање "врућих тачака" у телу депоније

Постоје четири основна индикатора који указују на постојање подземних пожара на депонији [52]:

- присуство дима и мириса који се издваја из депоније;
- повећана температура у активним или пасивним системима за дегазацију депонијског гаса;
- појава пукотина, слегања или улегнућа;
- промена концентрације компонената депонијског гаса.

На основу појаве и праћења основних индикатора пожара као и промене њихових вредности у времену и простору, може се предвидети или потврдити присуство подземног пожара. Такође се може и одредити место "врућих тачака" у телу депоније.

У већини случајева индикатори пожара на депонијама су дим и паре (59%), изненадна улегнућа (13%), појава пукотина на површини депоније (10%), промена концентрације компонената депонијског гаса (8%) и промена температуре депонијског гаса (10%) (слика 3.7) [54].



Слика 3.7 - Процентуална заступљеност индикатора пожара на депонији [54]

Индикатори за могућ настанак подземних пожара су следећи [95]:

- температура у системима за дегазацију депонијског гаса је већа од 55°C;

- концентрација кисеоника у системима за дегазацију депонијског гаса је већа од 5 %<sub>vol</sub>;
- концентрација азота у системима за дегазацију депонијског гаса је већа од 20 %<sub>vol</sub>.

Индикатори за вероватан настанак подземних пожара су [67]:

- пораст температура депонијског гаса у току једне недеље је између 37°C и 47°C;
- однос концентрације метана и угљен-диоксида је испод вредности од 1;
- температура у телу депоније је већа од 65°C;
- видно смањење концентрације метана за мање од једне недеље;
- концентрација метана опадне 20% за месец дана;
- повећање концентрације азота и водоника у системима за дегазацију депонијског гаса за месец дана.

Индикатори сигурног настанака подземних пожара су [83]:

- када се системи за дегазацију депонијског гаса и системи за прикупљање депонијског филтрата оштете или уруше, што је последица повећане температуре;
- однос концентрације метана и угљен-диоксида је испод вредности од 0,5;
- за кратко време концентрација метана се смањи испод 30%<sub>vol</sub>;
- температура у системима за дегазацију депонијског гаса је већа од 74°C;
- појава јаког неподношљивог мириса;
- промене у саставу депонијског гаса;
- повећање притиска и протока депонијског гаса;
- појава улегнућа и пукотина;
- повећане количине депонијског филтрата и њихово цурење;
- повећање концентрације угљен-моноксида обично изнад 0,15 %<sub>vol</sub> ;
- присутни су остаци сагоревања у виду гара и чађи у системима за дегазацију депонијског гаса;
- манифестује се појава пламена у системима за дегазацију депонијског гаса.

### 3.4.1 Лоцирање "врућих тачака" у телу депоније у току подземних пожара

Присуство "врућих тачака" које одређују место настанка подземних пожара, могу се детектовати на основу улегнућа, дима и мириса који се издвајају са површине депоније. Они показују на ком делу депоније је настао пожара, али не и на којој дубини. За прецизније место налажења "врућих тачака" приступа се испитивању концентрације депонијског гаса путем квантитативне лабораторијске анализе и мерењу температуре депонијског гаса и температуре у телу депоније [67].

#### 3.4.1.1 Праћење концентрације депонијског гаса

Праћење састава и концентрације депонијског гаса обезбеђује користан увид у ефикасност мера за заштиту од пожара и у стање и ток развоја пожара у телу депоније. Компоненте депонијског гаса чије се концентрације прате су метан, кисеоник, угљен-моноксид и угљен-диоксид.

У табели 3.4 приказане су дозвољене вредности концентрација метана и кисеоника, као и прекорачене дозвољене вредности које се третирају као рани индикатори пожара [18, 24, 27, 35, 37, 36,].

**Табела 3.4 - Вредности концентрација компонента депонијског гаса**

Документ	Концентрација метана [%vol]	Концентрација кисеоника [%vol]	Концентрација угљен -мооксида [%vol]
SWANA	Нормална 45 - 58	Идеална 0-0,5 Нормална <1	Рани индикатор < 0,0025
ISWA	Нормална 35 - 50	Нормална 3-4	Рани индикатор -
ME-BC	Нормална 30 - 60	Нормална 2 Максимална <2,5	Рани индикатор >0,1
US EPA	Нормална 45 - 60	Нормална 0,1 -1 Максимална < 5	Рани индикатор > 0,2
USACE	Нормална 40 - 70	Нормална 3,2	Рани индикатор > 0,1
Ohio EPA	Рани индикатор >45	Нормална < 1,5	Рани индикатор < 0,01



На основу повећања односно смањења концентрација компонента депонијског гаса можемо да предвидимо настанак пожара. Присуство кисеоника у концентрацијама већим од 1 %<sub>vol</sub> предстаља индикацију да постојеће баријере нису ефикасне у спречавању продора ваздуха у депонију и да је потребан додатни прекривни слој земље или да ваздух улази кроз системе за дегазацију депонијског гаса. Током депонијског пожара, ниво кисеоника испод површине се креће од 15 %<sub>vol</sub> до 21 %<sub>vol</sub>. Како гашење пожара напредује, ниво кисеоника пропорционално опада и када је пожар потпуно угашен ниво кисеоника обично пада испод 1 %<sub>vol</sub>. Повећање концентрације метана на више од 40 %<sub>vol</sub> је показатељ да је присуство кисеоника искључено и да се биолошки режим враћа на хладније анаеробне услове.

Концентрација метана и угљен-диоксида чије су нормалне границе приближно око 45 %<sub>vol</sub> до 60 %<sub>vol</sub> опадају у току одигравања подземних пожара. На основу датих података у табели 3.5 може се закључити да од анализираних гасова угљен-моноксид има највећи запремински проценат и да је оправдано да се користити као поуздан индикатор подземних пожара.

**Табела 3.5** - Промене концентрација компонента депонијског гаса у току пожара [67]

Гас	Промена концентрације	Концентрације у телу депоније [% <sub>vol</sub> ]	Концентрације у "врућим тачкама" [% <sub>vol</sub> ]
Метан	Смањење	55 - 56	10
Угљен - диоксид	Смањење	43 - 44	16
Кисеоник	Повећање	0,05	8
Угљен- моноксид	Повећање	0,0006 - 0,0019	0,0052

У табели 3.6 дата је концентрација угљен-мооксида која се узима као квалитативни фактор вероватноће настанка пожара у телу депоније.

**Табела 3.6** - Емпиријска скала за процену настанка пожара у телу депоније на основу концентрације угљен-мооксида [63]

Концентрација угљен-мооксида [% <sub>vol</sub> ]	Могућност настанка пожара у телу депоније
0 - 0,0025	Нема пожара
0,0025 - 0,01	Могућ пожара у телу депоније
0,01 - 0,05	Могућ тињајући пожар
0,05 - 0,1	Вероватан пожар у телу депоније
> 0,1	Пожар у телу депоније

Концентрације угљен мооксида преко 0,1 %<sub>vol</sub> су сасвим довољан показатељ за настанак пожара, док остали индикатори служе за потврђивање пожара. Концентрације

угљен монооксида до 0,01 %<sub>vol</sub> предсављене као индикатор могућих тињајућих пожара, али треба имати у виду да и други процеси у телу депоније могу произвести ту концентрацију, што не потврђује присуство пожара.

Доказано је да су концентрације угљен-монооксида од 1 до 10 %<sub>vol</sub> показатељи за тињајући пожар, док су за сагоревање пламеном концентрације мање од 0,02 %<sub>vol</sub> [12]. Код активних тињајућих пожара концентрације угљен-монооксида крећу се од 0,1 %<sub>vol</sub> до 0,09 %<sub>vol</sub>, а када пређу у површинске пожаре концентрације угљен монооксида имају вредности преко 2,8 %<sub>vol</sub>. Концентрације угљен-монооксида могу да варирају на два суседна мерна места. Зато је потребно извршити мерење на што већем делу депоније у континуитету.

Услед нехомогености депонованог отпада и у зависности од одржавања депоније смањење концентрације угљен-монооксида може да траје у временском интервалу 1 до 6 месеци.

#### 3.4.1.2 Праћење температуре депонијског гаса

Праћење температуре је поуздан индикатор у превенцији депонијских пожара, тако и за утврђивање ризика од настанка пожара и праћење тока гашења пожара. Како је температура депоније у аеробној фази која траје од неколико дана до неколико недеља у интервалу од 80 до 90 °C, након преласка у анаеробну фазу температура у телу депоније је у интервалу од 30 до 50 °C и траје годинама, свако повећање температуре указује на налажење "врућих тачака" приликом пожара.

**Табела 3.7** - Вредности температуре као индикатори настанка пожара

Документ	Температура [°C]
SWANA	Нормална 16 - 52 Рани индикатор 52 -60
ISWA	-
ME-BC	Рани индикатор > 60
US EPA	Рани индикатор > 54
USACE	Нормална 29 - 41 Рани индикатор > 60
Ohio EPA	Рани индикатор > 66

У табели 3.7 приказане су нормалне вредности температуре као и повећане вредности температуре који представљају рани индикатор пожара [18, 24, 27, 35, 37, 36,].

Како повећање температуре у телу депоније може бити у временском интервалу од 18 до 24 месеци, она итекако утиче на квалитет и квантитет депонијског гаса и представља индикатор настанка пожара [9,26]. Вредности овог индикатора пожара указују на почетак одређених процеса у телу депоније:

- температуре веће од 55°C указују да постоји процес загревања [40, 95];
- температуре изнад 65°C могу настати услед аеробног распадања, самозагревања, делимично угашеног површинског пожара, егзотермне хемијске реакције, спонтаног сагоревања и тињајућег сагоревања [36];
- температуре преко 73,89°C су показатељи загревања али не и пожара;
- деструкција PVC цеви настаје већ приликом 74°C;
- температуре до 85°C утичу на век система за дегазацију депонијског гаса и депонијског филтрата [69];
- на температурама преко 80°C престаје производња метана [39, 83];
- температуре између 100°C и 121°C показују да је присутно је подземно тињање [16];
- ако је температура до 149°C, онда су потребни и други индикатори који би потврдили појаву пожара као што је концентрација угљен-моноксида или однос метана и угљен-диоксида;
- температуре преко 149°C потврђују пожар.

Повећање температуре утиче на интегритет покривача, системе за прикупљање депонијског филтрата и депонијског гаса. Уколико је температура гаса у активним или пасивним системима за дегазацију депонијског гаса повећана али нема појаве других индикатора пожара као што је појава дима, улегнућа или мириса, тешко је утврдити тачно место подземног пожара. Мерење температуре пожара у телу депоније може се одредити путем термопарова.

Мерења температуре врши се на површини депоније и на различитим дубинама у телу депоније у избушеним бунарима или на постојећим биотрновима. У табели 3.8 дат је приказ измерених температура у "врућим тачкама" на одређеним дубинама у телу депоније у односу на температуре депонованог отпада који није захваћен пожаром.

Табела 3.8 - Температурни интервал "врућих тачака" у телу депоније [67]

Дубина "вруће тачке" [m]	Температура у "врућим тачкама" [°C]	Температура у телу депоније [°C]
3-4	40-60	7-22
5	40-60	22-35
10	550	39-65
15	105	45-55
25-30	70	30-40

Температура у телу депоније зависи од количине и састава запаљивог отпада. У табели 3.9 приказане су количине топлоте које се ослобађају приликом сагоревања различите врсте отпада.

Табела 3.9 - Вредности топлотне моћи различите врсте отпада [89]

Компоненте отпада	H <sub>d</sub> [kJ/kg]		
	Радна маса	Сува маса	Горива маса
Папир	15.750	17.530	18.650
Картонске кутије	16.380	17.280	18.260
Пластифицирани папир	17.070	17.910	18.470
Воскирани картон	26.350	27.290	27.660
Трава	4.760	19.250	20.610
Лишће	18.490	20.540	21.460
Дрвени трупци	4.870	9.740	9.840
Цветнице	8.560	18.580	19.590
Дрво и кора	19.570	19.940	20.140
Гума	25.930	26.230	29.180
Тапацир	16.120	17.320	17.800
Полистирен	38.020	38.090	38.230
PVC	22.590	22.640	23.160

Пожари могу и сами да се угасе ако је околни отпад негорив или ако се у телу депоније одвијају процеси који користе кисеоник. Смањивањем концентрације кисеоника брзина хемијске реакције сагоревања опада, а процес сагоревања код већине горивих материја се прекида.

### 3.5 Гашење пожара на депонијама

Интервенција гашења пожара на депонијама зависи од регулације и карактеристика депоније, горивог материјала на депонији, извора паљења, врсте пожара, метеоролошких услова, безбедности ватрогасаца, снабдевања водом, приступа и покретљивости тешке опреме за гашење пожара, логистике и др. Неопходно је да становништво, радници на депонији и Ватрогасно-спасилачке јединице науче што

више из прошлих искустава, спрече настајање пожара, ублаже новонастале пожаре и пронађу најефикасније методе за гашење пожара на депонијама.

Удаљеност депоније од ватрогасне јединице и прилази депонији и су битни чиниоци приликом интервенције гашења пожара. Навалном групом руководи командант Ватрогасно-спасилачке јединице и заменик команданта који морају да реше различите логистичке проблеме да би олакшали операцију гашења пожара. Након извиђања пожара и процене ситуације, доносе одлуку и издају команду за рад и међусобну координацију и комуникацију у акцији гашења пожара. У току гашења пожарају могу да се формирају неколико сектора рада [3]. То укључује распоређивање запослених на депонији на одређене задатке, обезбеђивање довољног броја ватрогасаца, средстава за гашење пожара и тешке машинерије и ако затреба евакуацију и спасавање становништва. У зависности од типа и локације пожара (површински или подземни пожари), гашење пожара може захтевати специјализоване кадрове и опрему који можда нису доступни у датом моменту. Подземни пожари обично захтевају употребу тешке опреме (булдозери, багери, итд.) за ископавање запаљеног отпада и омогућавање гашења истог. По потреби може да се изврши мобилизација пасивне смене и осталих припадника Ватрогасне спасилачке јединице, Индустриска професионална ватрогасна јединица као и Добровољна ватрогасна јединица.

Уколико пожари и експлозије на депонији поприме размере ванредне ситуације, онда се у оперативну процедуру укључују Управа за ватрогасно-спасилачке јединице, Управа за управљање ризиком, Управа за цивилну заштиту, Национални тренинг центар за ванредне ситуације и Управа за превентивну заштиту који су у надлежности Сектора за ванредне ситуације.

Пожари, нарочито они подземни, могу да утичу на интегритет депоније, што би могло изазвати урушавање површинског слоја депоније под тежином радника, ватрогасаца или опреме. Отежавајуће околности представљају временски услови (екстремно ниске или високе температура, јак ветар и др.), ноћни услови рада, високе температуре и појава густог дима који се образују као продукти сагоревања отпада тако да су сви учесници у акцији гашења пожара у обавези да носе личну заштитну опрему и изолационе апарате.

Важно је да постоји континуално праћење квалитета ваздуха и воде, како би се њихове вредности пре настанка пожара могле узети у обзир и упоредиле са вредностима за време и након трајања пожара.

Гашење пожара своди се на елиминацију бар једног од три неопходна услова за одвијање процеса горења: запаљивог отпада, ваздуха или извора паљења. То се постиже увођењем средстава за гашење пожара који својим деловањем могу снизити температуру гориве материје, промену квантитативне количине гориве материје и промену концентracије кисеоника.

За гашење пожара користе се следеће методе:

- метод хлађења - смањење температуре у жаришту пожара запаљеног отпада и смањење температуре самозапаљивости и запаљивости запаљивог отпада који није обухваћен пожаром;
- метод изолације жаришта пожара од ваздуха - отклањање дотока кисеоника и смањење концентracије кисеоника;
- метод интензивног успоравања брзине хемијске реакције у пламену;
- метод механичког скидања пламена - као резултат деловања млазом воде или затрпавањем земљом;
- метод преграђивања пожара или
- комбинацијом наведених метода.

Према статистичким подацима најзаступљенији метод гашења пожара на депонији је метод ископавања 40 %, затим метод покривање земљом 29 %, метод гашења водом 17 %, метод гашења пеном 11 % и метод гашење инертним гасом 3 % (слика 3.8).



Слика 3.8 - Процентуална заступљеност метода за гашење пожара на депонији [54]

Под средствима за гашење пожара подразумевамо материје које су у стању да потпуно прекину процес сагоревања. При избору средстава за гашење пожара неопходно је имати у виду:

- својства горивог отпада,
- количину горивог отпада,
- метеоролошке услове.

### 3.5.1 Примена воде за гашење пожара

Вода је ефикасно средство за гашење пожара на површини или близу површине депоније, али није тако ефикасна за гашење дубоких подземних пожаре. Дејство воде је првенствено расхладно које потиче од њене велике специфичне топлоте од 4.182 kJ/kgK и која има високу латентну топлоту испаравања 2.400 kJ/kg на температури од 25 °C. Да би се 1 kg вода загрејао од 10 °C на 100 °C и прешо у парно стање он ће одузети укупно 2676 kJ од жаришта пожара. Један литар воде на атмосферском притиску даје око 1696 dm<sup>3</sup> водене паре [47].

Вода се креће кроз лоше сабијене слојеве отпада, путањама са најмањим отпором. Теже продире кроз прекривне слојеве слабе пропустљивости, поготово ако је слој отпада сабијен компакторима. Вода теже натапа влакнасте материје (памук, дрво, чађ, и др.). То може имати за последицу немогућност продирања воде до плитких и дубоких подземних пожара. Повећање способности влажења постиже се помоћу специјалних овлаживача који имају особину да смање површински напон.

У ситуацијама када постоји прекривни слој земље на површини депоније, вода се убацује испод прекривног слоја а најбоље је убризгати је у бунаре и друга расположива места. Да би остали отворени, постављају се мреже које спречавају урушавање. Вода се у бунаре убацује из цистерни или се директно пумпа из хидранта или оближњих извора стајаће воде (језера, резервоаре) Скидање прекривног слоја не треба ни разматрати, јер се тиме ствара могућност за улазак ваздуха, што убрзава горење и ширење пожара.

Коришћење великих количина воде може утицати на ток пожар доприносећи процесу аеробног распадања. Такође, додавање воде депонији ствара додатну количину филтрата, који може оптеретити системе за његово сакупљање као и до изливања у површинске и подземне воде око депоније. Треба увек рачунати на то да су потребне велике количине воде, јер је за апсорбовање енергије ослобођене сагоревањем 1t отпада потребно 5.000 l воде. Употребом пене ова количина може бити знатно смањена.

Према подацима Управе за ванредне ситуације у Нишу, Сектор за ванредне ситуације, МУП Републике Србије, на територији општине Сврљиг пожар на депонији комуналног отпада обухватио је површину од 1 ha. Акција гашење пожара трајала је један дан и у њој је учествовало четири припадника Ватрогасно-спасилачке јединице, један припадник јединице из садејства, три радник ЈКП Сврљиг са три ватрогасних возила и једним возилом тешке машинарије. Као средство за гашење пожара коришћена је вода у количини од 75 m<sup>3</sup> и већа количина земље.

### 3.5.2 Примена пене за гашење пожара

Пена је важно средство код сузбијања депонијских пожара и представља колоидни систем мехурића гаса који је окружен танким слојем течности који су испуњени угљен-диоксидом или ваздухом. Изабрани тип пене мора да задовољи услов постојаности на горивој површини депоније. Основни ефекат гашења пеном је угушујући, мада не треба занемарити и њен расхлађујући ефекат.

Ваздушна пена гаси пожаре типа А и В. Настаје у две фазе: у првој фази се меша се екстактом, а у другој се удубава компримован ваздух при чему се ствара пена. Одлуку о употреби пене доноси командант ватрогасно-спасилачке јединице на лицу места, на основу података о конкретној ситуацији.

У зависности од броја пенушања ваздушна пена може бити:

- тешка,
- средња и
- лака.

Ефикасност пене огледа се у:

- спречавању приступа ваздуха зони сагоревања;
- стварању водене паре којом се смањује концентрација кисеоника изнад зоне сагоревања, а врши се и апсорпција топлоте;
- малом површинском напону, тако да пена лако продире у пукотине;
- заштити горивог материјала који још није захваћен пожаром.

Постоје два основна типа пене.

Пена класе А је посебна формулација угљоводоника. Ове површински активне материје смањују површински напон течности, што обезбеђује бољи продор воде и повећано дејство. Када се изложи ваздуху, пена класе А облаже и изолује гориво, штитећи га од паљења. При гашењу чврстих материја пена се у слојевима лепи за



површине. Као топлотни изолатор ефикасно раздваја пламен од саме материје а истовремено спречава даље ослобађање продуката термичког распадања које омогућава сагоревање чврстих материја пламеном и изолује гориве материје, штитећи их од паљења. Код тињајућих материја, такође је ефикасна јер слој пене ефикасно спречава приступ кисеоника до места жаришта [47].

Пена класе В се корист за гашење пожара који укључују запаљиве течности. Такође се користи и за смањење испарења приликом њиховог изливања. При гашењу запаљивих течности, пена као специфично лакша материја плива на површини течности. Слој пене својом дебљином делује као моћан топлотни изолатор између површине течности и пламена који се одржава изнад површине запаљене течности. Пена у себи садржи угљен-диоксид или ваздух који су одлични топлотни изолатори. Престанком дејства пламена на површину течности, интензитет испаравања опада. Чим је површина течности у потпуности прекривена слојем пене, пламен ће сасвим нестати јер пена, не само да делује као топлотни изолатор, већ успорава или у потпуности онемогућава даље испаравање са површине течности.

Према подацима Сектор за ванредне ситуације, МУП Републике Србије пожар на дивљој депонији кабловске изолације и пластике у Јагодина обухватио је површину од 1 ha и 8 буради са трафо уљем. У току три дана гашења пожара учествовало је 73 ватрогасаца Ватрогасно-спасилачког батаљона Јагодина и 32 припадника јединице из садејства са 36 ватрогасних возила. Од средстава за гашење пожара употребљено је 800 m<sup>3</sup> воде и 3000 l екстракта за добијање средње и тешке пене [3,50].

### **3.5.3 Примена ископавања и прекривања отпада и изоловања запаљене секције**

Најбољи начин за контролу и гашење површинског пожара је прекривањем великим количинама мокре или влажне земље или другог прекривног материјала. Материјал се наноси постепено од ивица ка центру да би се област пожара покрила и сабила. Код подземних пожара, најбољи начин је гасити пожар ископавањем и његово хлађење водом, земљом или снегом и "прерасподелом" отпада. Уколико постоје тињајуће сабијене бале комуналног отпада треба их уклонити, раздвојити и појединачно угасити. Ове мере смањују количину ваздуха за даљи развој пожара, смањују интензитет пожара и количину продуката сагоревања која се емитује [63].

Метод изоловања запаљиве секције заснива на изоловању запаљене масе отпада од остатка депоније. Одвајање се постиже ископавањем око запаљене масе отпада, док се не дође до незапаљивог материјала (обично земље или камена). Ископани ров се затим пуни материјалом слабе пропустљивости како би се спречило продирање кисеоника кроз запаљену масу. На основу праћења температуре и концентрације компоненета депонијског гаса утврђује се успешност ове методе. Када се пожар потпуно угаси, уклања се материјал и ровови се пуне отпадом.

# **4. МЕРЕЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ДЕПОНИЈСКОГ ГАСА**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

Састав депонијског гаса, у зависности од литературних извора, дефинише се на различите начине, али су те разлике незнатне. У табели 4.1 дат је састав депонијског гаса и приказане су његове главне компоненте [81, 86].

Табела 4.1 - Главне компоненте депонијског гаса [81, 86]

Компонента депонијског гаса	Концентрација [%vol]	Карактеристике
Метан	45-60	Гас без боје и мириса.
Угљен-диоксид	40-60	Гас без боје и мириса, мало кисео. У атмосфери се налази у малим концентрацијама (0,02 %vol).
Азот	2-5	Гас без боје, мириса и укуса. У атмосферском ваздуху присутан је у концентрацији од 79 %vol.
Кисеоник	0,1-1	Гас без боје, мириса и укуса. У атмосферском ваздуху присутан је у концентрацији од 21 %vol.
Амонијак	0,1-1	Гас без боје са оштрим мирисом.
Неметанска органска једињења (НМОС)	0,01-0,6	Налазе се у природи или се вештачки могу синтетизовати. У депонијском гасу се налазе као: акрило-нитрити, етил-бензен, хексан, метил-етил-кетон, тера-хлор-етилен, толуени, три-хлор-етилен, винил-хлорид и ксилен.
Сулфиди	0-1	Дају непријатан мирис покварених јаја. У депонијском гасу се налазе као: водоник-сулфид, диметил сулфид, меркаптани.
Водоник	0-0,2	Гас без боје и мириса.
Угљен-моноксид	0-0,2	Гас без боје и мириса, изузетно токсичан.

У циљу одређивања састава депонијског гаса, у дисертацији, је извршено узорковање депонијског гаса са локација на депонијама у Нишу и Пироту. Број узорака по депонији био је условљен бројем биотрнова на депонији. На несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу и на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту извршено је узорковање на 10 места.

Мерења су вршена гасним анализатором *MRU Vario Plus Industrial GmbH*, произвођача из Немачке, према стандардима:

- SRPS ISO 10780:2010., Емисије стационарних извора - Мерење брзине и запреминског протока струје гасова у каналима (*Stationary source emissions - Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams in ducts*);
- DML 3.2:2010., Одређивање садржаја кисеоника, угљен-диоксида, угљен-моноксида, оксида азота (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), сумпор-диоксида, укупних угљоводоника (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) и водоник-сулфида;
- Метода базирана на упутству произвођача аутоматског анализатора гасова MRU VARIO PLUS INDUSTRIAL, Немачка;

- ЕРА 3А:2008 (*Метода 3А - Одређивање концентрација кисеоника и угљен-диоксида у емисијама из стационарних извора (Инструментална метода уз употребу анализатора)*) [42];
- ЕРА 10:2006 (*Метода 10 - Одређивање емисија угљен-диоксида из стационарних извора (Инструментална метода уз употребу анализатора)*) [41];
- ЕРА 7Е:2008 (*Метода 7Е - Одређивање емисија азотних оксида из стационарних извора (Инструментална метода уз употребу анализатора)*) [44];
- ЕРА 6С:2008 (*Метода 6С - Одређивање емисија сумпор-диоксида из стационарних извора (Инструментална метода уз употребу анализатора)*) [43];
- ЕРА СТМ 030 (*Одређивање емисија азотних оксида, угљен-монооксида и кисеоника из мотора, котлова, и индустријских грејача на природни гас употребом преносивих анализатора*) [14];
- ЕРА СТМ 034 (*Тест Метода–Одређивање кисеоника, угљен-монооксида и азотних оксида из стационарних извора за периодично праћење (Употреба преносивих електрохемијских анализатора)*) [82].

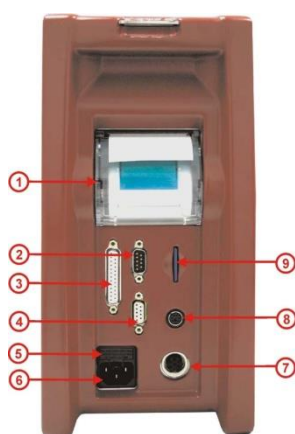
Помоћу гасног анализатора *MRU - Vario Plus Industrial* и термовизијске камере *EasIR-9* праћена је и температура депонијског гаса на биотрновима.

Апарат за гасну анализу, *MRU -Vario Plus Industrial*, пројектован је за мерење концентрације следећих гасова: метана ( $\text{CH}_4$ ), кисеоника ( $\text{O}_2$ ), угљен-диоксида ( $\text{CO}_2$ ), угљен-монооксида ( $\text{CO}$ ), азотних оксида ( $\text{NO}_x$ ), сумпор-диоксида ( $\text{SO}_2$ ), водоник-сулфида ( $\text{H}_2\text{S}$ ) као и за мерење температуре, атмосферског притиска и протока депонијског гаса [101].

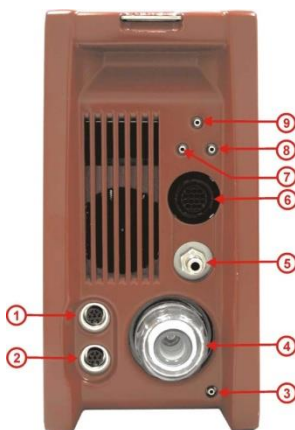
Апарат за гасну анализу, који је коришћен за мерење концентрације депонијског гаса, приказан је на слици 4.1.



1. Дисплеј,
2. Тастатура,
3. Метални држачи,
4. Гумена заштита ивица,
5. Отвор за вентилацију.



1. Штампач,
2. RS232 порт,
3. AUX порт,
4. RS485 порт,
5. Осигурач,
6. Прикључак за напајање,
7. Прикључак за акумлатор,
8. Прикључак за РС тастатуру,
9. ММС картица.



1. AUX конектор,
2. Прикључак мерача температуре,
3. Издувни систем за кондензат,
4. Филтер,
5. Прикључак за сонду,
6. Прикључак грејања,
7. Пнеуматски прикључци,

Слика 4.1 - Гасни анализатор MRU - Vario Plus Industrial [101]

Камера EasIR-9 је дигитална, ручна, инфрацрвена, камера која формира термалну слику мерењем инфрацрвене радијације одређеног тела или целокупне сцене. Термокамера EasIR-9 може да региструје температурну разлику од 0,1°C у интервалу температура од -20°C до 250°C [94]. Превођењем инфрацрвеног зрачења у видљиву слику настаје термограм. Сваки термограм представља слику за себе и поседује

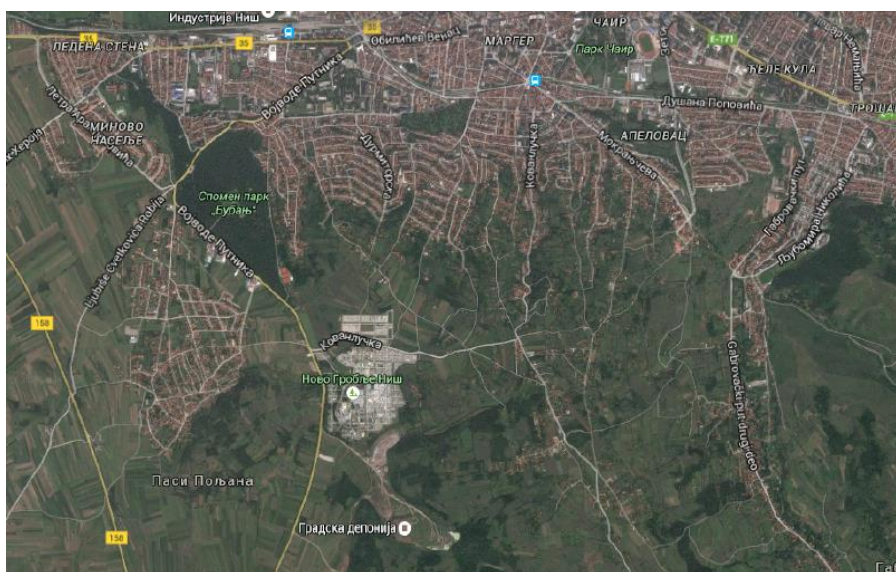
сопствену палету боја која те боје доводи у везу са температуром. Термовизијска камера EasIR-9, коришћена у мерењу, приказана је на слици 4.2.



Слика 4.2 - Термовизијска камера EasIR-9 [94]

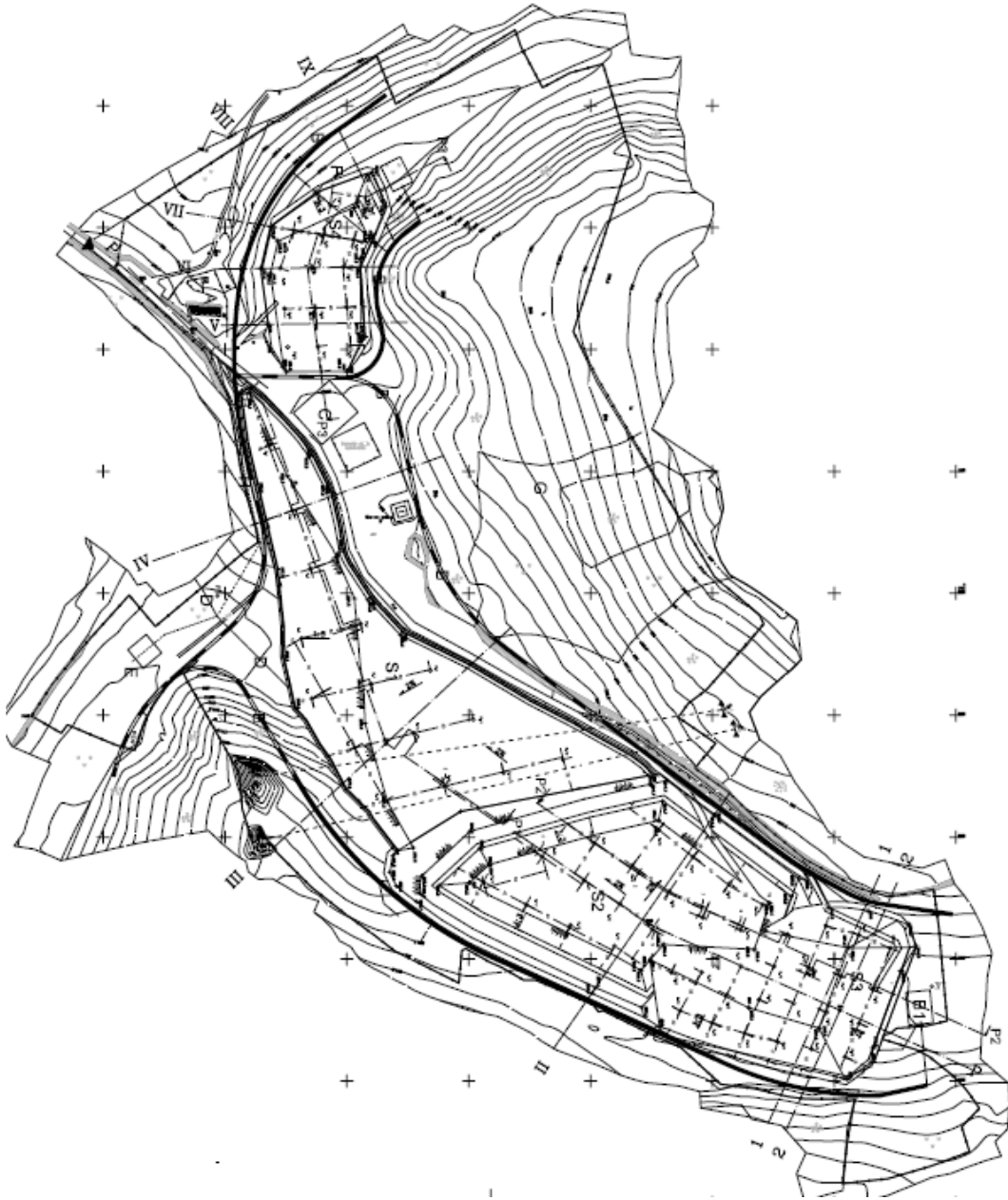
#### 4.1 Несанитарна депонија "Бубањ" у Нушу

Несанитарна депонија "Бубањ" налази се на јужном ободу града Ниша, у природној долини, а у експлоатацији је од 1968. године. Укупна површина постојеће депоније је 31,07 ha, од чега је на подручју Града Ниша 23,25 ha, а на подручју Општине Доњевац 7,82 ha. Локалитет градске депоније је такав да нема много потенцијала за даље ширење простора за одлагање отпада. Удаљеност локације од центра града је 6 km, од најближег насеља збијеног типа (Паси Пољана) је преко 1000 m, од појединачних кућа у близини депоније износи од 200 до 300 m а од Меморијалног парка "Бубањ" налазе се на удаљености већој од 1,5 km [23] (слика 4.3).



Слика 4.3 - Положај несанитарне депоније "Бубањ" у односу на град Ниш [97]

Несанитарну депонију "Бубањ" чине четири сегмента S1, S2, S3 и S4, од којих је само S4 активни део депоније док су остала три сегмента депоније затворена и рекултивисана (слика 4.4) [21].



Слика 4.4 - Приказ сегмена S1, S2, S3 и S4 на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу [21]

Активни део депоније S4 је у експлоатацији од јуна 2010. године и налази се на укупној површини од око 2,85 ха. Овај сегмент депоније не задовољава критеријуме савременог управљања комуналним отпадом, простор није инфраструктурно адекватно опремљен, капацитет депоновања је исцрпљен, а заштита животне средине није у потпуности обезбеђена [23]. Депоновање отпада на сегменту S4 није вршено плански и на адекватан начин. Отпад по површини депоније није распоређен на правилан начин, а



прекривање отпада инертним материјалом није вршен на задовољавајући начин и у интензитету у коме је то потребно (слика 4.5) .



**Слика 4.5** - Активни део S4 несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

Око сегмента S4 постоје канали за сакупљање депонијског филтрата и пријем атмосферских вода [22]. Због неправилног планирања тела депоније евидентирани су зоне у којима се акумулирају процедурне воде која се сливају кроз тело депоније и скупљају у најнижим деловима. У оквиру сегмента S4 као и на читавом комплексу депоније није решено питање сакупљања и пречишћавања процедурних вода, које у садашњем стању пониру у тело депоније или површински гравитирају према депресијама формираним у оквиру тела депоније. Акумулација процедурних вода евидентирана је на површини непосредно уз лагуну за сакупљање атмосферских вода. Лагуне за сакупљање атмосферских вода са ширег подручја залеђа сегмента S4 изграђене су са североисточне стране сегмента S4. Изоловане су HDPE фолијом и опремљене опремом за препумпавање.

На сегменту S4 за дегазацију депонијског гаса користи се пасивни систем, али су уочени бројни недостаци на конструкцијама биотрнова, од тога да се налазе на самим рубовима отпадне масе, до тога да су конструкције биотрнова нарушеног интегритета (слика 4.6).

Несанитарна депонија "Бубањ" служи за одлагање отпада 250.000 становника са територије Града Ниша, као и за одлагање отпада из општине Дољевац на чијој територији живи 18.441 становника. Састав отпада за територију Града Ниша дефинисан је у оквиру пројекта под називом "Утврђивање количине и морфолошког састава отпада у Републици Србији" који је реализовао Департман за инжењерство заштите животне средине, Факултета техничких наука из Новог Сада током 2008.

године. Резултати поменутог пројекта постали су саставни део Стратегије управљања отпадом на територији Републике Србије за период од 2010. до 2019. године [78] (табела 4.2).



Слика 4.6 - Пасивни ситем за дегазацију депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Табела 4.2 - Морфолошки састав комуналног отпада на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу [23]

Компонента отпада	Масени удео у укупној количини [%]	Густина [ t/m <sup>3</sup> ]
Укупан органски отпад	40,56	
Баштенски отпад	10,00	0,458
Остали биоразградиви отпад	30,56	0,458
Пластика	17,96	
Пластична амбалажа	3,01	0,090
Пластичне кесе	9,18	0,092
Тврда пластика	5,77	0,138
Фини елементи	9,32	0,303
Папир	7,90	0,068
Картон	6,12	0,068
Текстил	5,67	0,106
Стакло	4,74	0,345
Пелене	4,08	0,068
Метал	1,95	
Амбалажни остаци	1,38	0,679
Алуминијумске конзерве	0,57	0,480
Композитни материјал	1,33	1,000
Кожа	0,36	0,156

На основу снимљених геодетских кота сегмента S4 2014. године, утврђене су висине смећа, а на основу снимака нултог стања, добијене су укупне количине отпада

које је депоновано у протеклом периоду. Запремина депонованог отпада у границама сегмента S4 срачуната је са профила тела депоније, моделирањем постојеће површине терена и подине депоније. Постављено је укупно 11 профила на размаку од приближно 25 m, преко дефинисане површине постојеће депоније, а на основу растојања између профила срачуната је укупна запремина одложеног смећа која износи 289.538,57 m<sup>3</sup>.

Репрезентативна количина комуналног отпада за територију Града Ниша усвојена је на основу мерења ЈКП "Медиана". Подаци добијени овим мерењима на основу којих се изводи закључак о меродавној количини отпада на годишњем нивоу од 70.000 t/god приказани су у табели 4.3.

**Табела 4.3** - Количина отпада на несанитарно депонији "Бубањ" у Нишу [23]

Период	Количина депонованог отпада [t/dnevno]	Количина депонованог отпада [t/nedeljno]	Количина депонованог отпада [t/godišnje]
Мај, 2011.	162,86	1.140,00	59.442,86
Август, 2011.	201,63	1.411,40	73.594,43
Децембар, 2011.	191,43	1.340,00	69.871,43
Март, 2012.	185,67	1.299,71	67.770,59
Мај, 2012.	195,60	1.369,20	71.394,00
Септембар, 2012.	196,61	1.376,24	71.761,09
Децембар, 2012.	183,71	1.286,00	67.055,71
Март, 2013.	173,43	1.214,00	63.301,43
Јун, 2013.	170,50	1.193,50	62.232,50

С обзиром да је за даље депоновање прорачуната укупна запремина отпада 223.212,13 m<sup>3</sup> главним пројектом санације, затварања и рекултивације предвиђено да сегмент S4 буде у функцији до 2017. године [23].

#### **4.1.1 Климатске, геоморфолошке и хидрогеолошке карактеристике подручја**

Подручје Града Ниша припада појасу умерено - континенталне климе. Овај тип климе карактеришу дуга топла лета и јесени, хладне зиме и кратка пролећа. Климатски параметри приказани у наставку базирани су на подацима измереним на метеоролошкој станици "Тврђава" у Нишу [99].

**Температура.** Температура представља један од најважнијих климатских елемената. Она модификује климу, утиче на интензитет испаравања, влажност ваздуха, облачност и на падавине. Средња годишња температура ваздуха износи 11,9°C, најхладнији је месец јануар са средњом температуром од 0,6°C, док је најтоплији месец

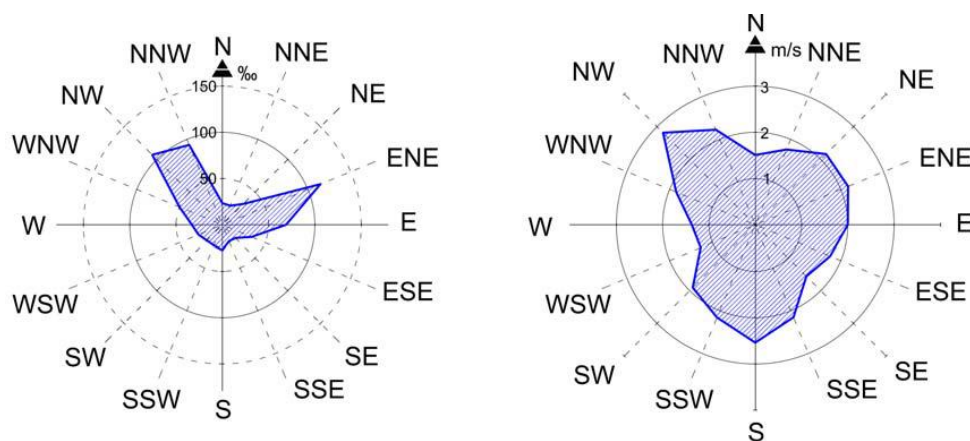
јул са средњом температуром од 22,5°C [99]. У табели 4.4 приказане су вредности средње максималне односно минималне температуре током месеци за град Ниш.

**Табела 4.4** - Карактеристичне вредности температура ваздуха за град Ниш [99]

Вредности температуре	Јан.	Феб.	Мар.	Апр.	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Окт.	Нов.	Дец.
Средњи месечни максимум [°C]	5,0	7,5	13,0	18,4	23,8	27,1	29,8	30,1	25,0	19,3	11,9	6,1
Средњи месечни минимум [°C]	-2,2	-1,4	2,3	6,4	11,0	13,8	15,4	15,4	11,5	7,4	2,6	-0,8

Мразних дана, од октобра до априла, има просечно годишње 80 или 21,9% у години, са максималном честином у јануару просечно 22 дана. Период без мраза на подручју Града Ниша траје просечно 203 дана или 55,5% годишње. Учесталост тропских дана (у којима је максимална температура ваздуха најмање 25°C, односно 30°C) износи просечно годишње 49 дана, са периодом јављања од маја до октобра.

**Ветрови.** Анализа просечних годишњих фреквенција ветрова показује да је најдоминантнији северозападни ветар, док је на другом месту по учесталости североисточни ветар. Најмању учесталост имају ветрови који дувају из правца југозапада, југа и југоистока. Учесталост времена без ветра је релативно мала. Ружа ветрова за подручје Града Ниша је приказана на слици 4.7 [99].



**Слика 4.7** - Ружа ветрова по честини и по брзини за подручје Града Ниша [99]

Највећу учесталост има североисточни ветар, који се јавља са учесталošћу 117,0 % а затим северозападни ветар са 105,0 % док најмању учесталост имају јужни и југозападни ветар са свега 23% односно 17%. Период тишина траје 313 % у току године.

**Релативна влажност ваздуха.** Највеће средње месечне вредности релативне влажности ваздуха имају месеци са најнижим температурама ваздуха, а то су децембар 81%, јануар 80%, фебруар 74% и новембар 77%. Јули и август имају најмање средње вредности 61%. Средња годишња вредност влажности ваздуха износи 70%, а годишња амплитуда 20%.

**Падавине.** Падавине на територији Града Ниша се карактеришу значајним неравномерностима односно смењивањем веома влажних и доста сушних периода. Током године јављају се два влажнија и два сушнија периода. Главни (примарни) максимум падавина наступа крајем пролећа и почетком лета, док се споредни јавља крајем јесени и почетком зиме. Примарни минимум падавина јавља се крајем јула, у августу и два јесења месеца, а секундарни минимум је везан за два зимска месеца (јануар и фебруар) и први пролећни месец (март) [99].

Средња годишња сума падавина износи 580,3 mm, најкишнији месец је мај са 58 mm, а најсувљи јануар са 38,8 mm. Од годишњих доба највише падавина има пролеће 157,1 mm, а најмање зима 127,1 mm.

**Геоморфолошке и хидрогеографске карактеристике подручја.** У погледу геолошке старости седимената, заступљене су неогене творевине (језерске) мио-плиоценске старости и квартарне творевине, представљене делувијалним, делувијално-пролувијалним и терасним наслагама, где припадају и рецентне антропогене творевине [23].

Неогене творевине су хетерогеног састава дефинисане макроскопским опсервацијама на терену. Његов литолошки састав чине:

- глиновито-песковити шљункови, калцификовани, сивобеле боје;
- ситнозрни до средњезрни пескови са карбонатним везивом;
- слабо везани пешчари и лапоровите глине.

Састав мио-плиоценских творевина, које леже испод квартарних наслага, чине средњезрни шљунак, заобљени валутци, песак, слабовезани пешчар, лапоровита глина и поломљен глинац.

Квартарне творевине су таложне и представљене су:

- делувијалним наслагама глина насталих спирањем;
- делувијално - полувијалним песковима;
- терасне насlage депоноване радом реке Јужне Мораве, где припадају суглине;

- најмлађа творевина (секундарни насип) је настала одлагањем отпада.

Делувијално-пролувијани седименти чине средњезрни песак глиновито-шљунковит, док се терасни седименти налазе се само у уској зони депоније, где доминира прашинаста глина, средње консолидована, браон боје.

**Хидрогеолошке карактеристике подручја.** У оквиру хидрогеолошких појава на ужем подручју депоније јављају се три "површинске акумулације" воде које су различите површине и које садрже различите акумулиране количине воде.

Прва акумулација налази се на самом улазу у депонију [23].

У зони неактивних депонијских поља на дубини од 12 m присутан је ниво процедних вода које отичу западно у депресију означену као акумулација II која се пружа ка селу Малошиште.

Акумулација III налази се испред лучног дела депоније, која има највећи садржај воде. Процењено је се да дејством отпадних вода неће бити ремећен хемизам биланса подземних вода ван локације депоније.

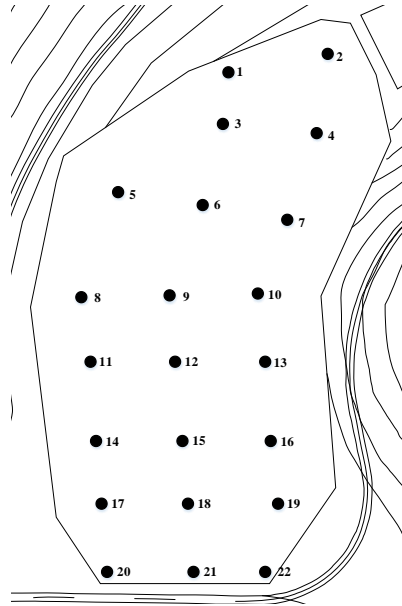
Лабораторијским испитивањем појединих узорака тла добијене су следеће вредности коефицијента филтрације [23]:

- шљунковито-песковите глине припадају релативно пропустљивим стенским масама са вредностима коефицијента филтрације:  $k_f = 5,540 \times 10^{-5}$  -  $6,74 \times 10^{-5}$  cm/s;
- прашинасто-песковито је средње пропустљиво тло са вредностима коефицијента филтрације:  $k_f = 3,59 \times 10^{-6}$  -  $1,37 \times 10^{-5}$  cm/s;
- прашинаста глина је слабо водопрпусно тло са вредношћу коефицијента филтрације:  $k_f = 6,89 \times 10^{-8}$  -  $1,15 \times 10^{-7}$  cm/s;
- песковити шљункови припадају јако пропустљивим стенским масама са вредностима коефицијента филтрације  $k_f = 9,30 \times 10^{-4}$  -  $1,60 \times 10^{-3}$  m/s.

#### **4.1.2 Резултати мерења депонијског гаса на биотрновима**

На активном делу S4 несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу, за дегазацију депонијског гаса користи се пасивни систем који се заснива на природној разлици притисака и дифузије гаса из тела депоније у атмосферу. Гасни бунари - биотрнови постављени су по ободу и унутар депоније по распореду који је приказан на слици 4.8. Укупан број биотрнова је 22 а налазе се на растојању од око 25 m. Биотрнови су перфориране PVC цеви, пречника 0,2 m и висине 3 m. Са порастом дубине депоније

расте и дубина биотрнова додавањем нове перфориране цеви на већ постојећу. У тренутку мерења концентрације компонената депонијског гаса, дубина биотрнова била је 24 m.



Слика 4.8 - Распоред биотрнова на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Депонување отпада на сегменту S4 није вршено плански и на адекватан начин, прекривање отпада инертним материјалом није вршено на задовољавајући начин и у интензитету у коме је то потребно, а због велике количине отпада приступ биотрновима је био на неким местима практично немогућ. Мерења концентрације компонената депонијског гаса су извршена на 10 биотрнова на којума је био могућ приступ (слика 4.9).



Слика 4.9 - Мерно место на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу



Мерење и одређивање састава депонијског гаса

Мерења на нишкој несанитарној депонији "Бубањ" вршена су на биотрновима бр. 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 21 и 22. Резултати мерења температуре као и концентрације компонената депонијског гаса приказани су у табели 4.5 [48].

**Табела 4.5 - Резултати мерења температуре и концентрације компонената депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу**

Датум мерења	Амбијентална температура [°C]	Биотрн	Температура депонијског гаса [°C]	CH <sub>4</sub> [%vol]	CO <sub>2</sub> [%vol]	O <sub>2</sub> [%vol]	CO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]
28.08. 2014.	26	9	39,1	6,20	13,5	20,2	1	1	0
		10	37,4	5,70	14,1	20,7	1	1	0
		12	46,5	4,30	13,7	20,0	2	1	0
		13	39,3	7,70	14,8	19,8	1	1	0
		15	45,2	4,60	12,8	19,3	2	1	1
		16	39,6	0,60	15,6	19,7	1	2	1
		18	48,7	0,50	14,1	20,5	1	2	0
		19	41,2	0,60	14,5	20,3	1	0	0
		21	38,3	19,20	12,7	20,1	1	0	0
		22	46,5	18,20	13,0	18,3	1	2	0
10.09. 2014.	21	9	38,8	5,90	12,5	19,9	1	1	0
		10	36,4	5,60	13,5	20,1	1	1	0
		12	42,3	4,30	13,5	19,7	0	1	1
		13	39,2	7,70	14,0	19,0	1	1	0
		15	41,8	4,30	12,2	18,5	2	1	0
		16	38,7	0,30	15,3	19,7	1	0	0
		18	44,7	0,40	13,9	18,3	1	2	1
		19	38,7	0,40	14,0	20,2	0	0	0
		21	39,8	19,00	12,3	19,9	0	0	0
		22	43,6	18,00	12,5	17,6	1	1	0
21.10. 2014.	23	9	36,5	6,00	12,8	20,3	1	1	0
		10	37,1	5,60	13,6	19,4	1	1	1
		12	39,3	4,30	13,6	19,7	1	1	1
		13	40,0	7,70	14,5	20,1	1	1	0
		15	40,2	4,40	12,6	19,6	2	1	0
		16	39,7	0,50	15,3	19,3	1	0	0
		18	41,3	0,50	14,0	20,0	1	2	1
		19	39,0	0,50	14,1	20,2	0	0	0
		21	39,3	19,20	12,3	19,3	0	0	0
		22	41,3	18,00	12,8	18,4	1	2	0
16.11. 2014.	15	9	32,4	5,80	12,0	19,6	2	1	0
		10	34,7	5,50	12,8	18,3	2	1	1
		12	35,5	4,10	12,5	17,4	1	1	1
		13	37,0	7,50	13,8	19,3	1	1	0
		15	38,4	4,10	11,9	18,8	2	2	0
		16	33,2	0,20	14,9	18,4	2	1	0
		18	35,8	0,30	13,6	19,0	2	2	1
		19	36,2	0,40	13,7	20,0	1	2	0
		21	36,6	18,10	12,0	18,2	1	1	0
		22	38,0	17,50	12,0	17,5	1	0	0



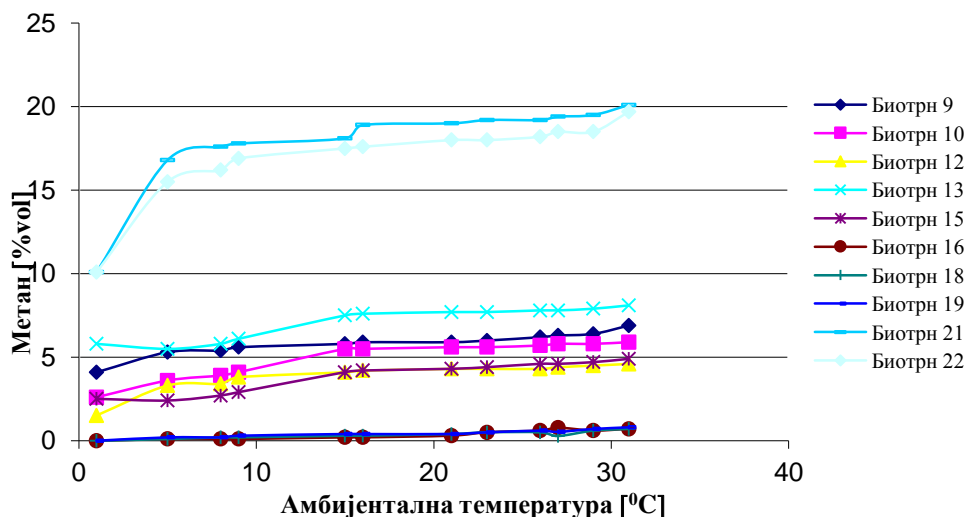
Наставак табеле 4.5

Датум мерења	Амбијентална температура [°C]	Биотрн	Температура депонијског гаса [°C]	CH <sub>4</sub> [%vol]	CO <sub>2</sub> [%vol]	O <sub>2</sub> [%vol]	CO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]
9.12. 2014.	5	9	29,9	5,30	10,7	18,1	1	1	0
		10	30,2	3,60	10,7	18,4	0	0	0
		12	30,6	3,30	10,8	20,1	0	0	0
		13	33,0	5,50	11,7	20,0	0	1	1
		15	34,3	2,40	10,1	18,7	1	1	0
		16	30,4	0,10	12,1	18,9	0	1	0
		18	32,4	0,20	10,5	19,3	0	1	0
		19	33,5	0,20	11,1	19,5	0	0	0
		21	34,7	16,80	10,0	19,2	1	0	0
		22	32,0	15,80	10,0	20,4	1	0	1
29.01. 2015.	1	9	27,7	4,10	9,8	19,4	0	0	0
		10	29,2	2,60	9,1	18,9	0	0	0
		12	28,3	1,50	9,1	19,5	0	0	0
		13	29,5	5,80	10,1	18,3	0	0	0
		15	28,7	2,50	8,8	17,2	0	0	0
		16	29,4	0,00	10,3	18,8	0	0	0
		18	28,6	0,00	9,6	19,2	0	0	1
		19	29,3	0,00	8,9	19,5	0	0	1
		21	29,4	10,10	7,5	18,1	0	0	0
		22	28,5	10,10	8,3	19,4	0	0	0
22.02. 2015.	16	9	26,0	5,90	12,2	18,2	2	1	0
		10	27,6	5,50	13,1	19,4	1	2	0
		12	27,8	4,20	13,1	19,3	1	1	0
		13	28,9	7,60	13,9	19,5	1	1	1
		15	27,3	4,20	12,0	18,0	1	2	0
		16	28,2	0,20	15,1	20,1	2	1	0
		18	26,2	0,30	13,8	20,6	2	2	0
		19	27,6	0,40	13,8	19,3	1	2	1
		21	28,1	18,90	12,1	20,0	1	1	0
		22	26,0	17,60	12,1	19,6	1	0	1
15.03. 2015.	8	9	25,5	5,40	10,8	19,8	1	1	0
		10	26,3	3,90	10,7	19,4	0	1	0
		12	25,8	3,40	11,0	20,1	1	1	0
		13	27,9	5,80	12,1	20,2	0	1	1
		15	26,5	2,70	11,1	20,2	1	1	0
		16	27,2	0,10	13,8	19,5	0	1	0
		18	25,7	0,20	11,9	19,4	0	1	0
		19	26,7	0,20	12,2	18,7	0	0	0
		21	27,7	17,60	11,1	20,5	1	0	0
		22	24,6	16,20	10,7	19,8	1	0	0
6.04. 2015.	9	9	26,0	5,60	11,1	18,2	0	1	0
		10	27,2	4,10	10,9	18,4	0	1	0
		12	26,4	3,80	11,2	19,8	1	1	0
		13	29,0	6,10	13,2	20,1	0	0	1
		15	28,7	2,90	11,3	19,4	0	1	0
		16	29,1	0,10	14,1	19,7	0	1	0
		18	28,7	0,20	12,2	20,1	0	1	1
		19	26,3	0,30	12,7	19,9	1	0	0
		21	28,5	17,80	11,3	19,8	1	0	0
		22	25,2	16,90	10,9	20,2	1	0	0

Наставак табеле 4.5

Датум мерења	Амбијентална температура [°C]	Биотрн	Температура депонијског гаса [°C]	CH <sub>4</sub> [%vol]	CO <sub>2</sub> [%vol]	O <sub>2</sub> [%vol]	CO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]
7.05. 2015.	31	9	28,5	6,90	14,2	19,3	2	1	0
		10	29,6	5,90	14,8	19,1	2	2	0
		12	27,3	4,60	13,9	20,8	2	2	0
		13	32,6	8,10	15,5	20,3	1	1	1
		15	35,0	4,90	13,1	18,2	2	1	0
		16	35,7	0,70	15,7	19,4	2	1	0
		18	39,1	0,70	14,2	19,8	2	2	1
		19	34,8	0,80	14,9	20,1	1	1	1
		21	32,0	20,10	13,4	20,4	1	1	0
4.06. 2015.	29	9	29,0	6,40	13,6	20,5	1	2	0
		10	30,6	5,80	14,5	19,7	1	1	0
		12	28,9	4,50	13,8	20,1	2	2	1
		13	39,4	7,90	14,9	20,4	1	1	1
		15	39,5	4,70	12,9	19,3	2	1	0
		16	38,2	0,60	15,7	18,9	1	2	0
		18	42,7	0,65	14,2	20,3	2	2	1
		19	36,4	0,70	14,6	20,5	1	0	0
		21	32,1	19,50	13,0	18,8	1	0	0
2.07. 2015.	27	9	29,6	6,30	2,0	20,2	0	0	0
		10	31,3	5,80	3,4	20,3	0	0	0
		12	30,5	4,40	3,9	20,5	0	0	0
		13	31,1	7,80	3,0	20,6	0	0	0
		15	43,4	4,60	5,0	18,6	1	2	0
		16	39,6	0,77	1,8	19,8	0	1	0
		18	51,0	0,28	0,1	20,68	2	25	1
		19	37,4	0,53	1,5	20,1	0	1	0
		21	32,9	19,40	12,9	19,5	0	0	0
22	35,8	18,50	12,0	15,0	1	1	0		

На слици 4.10 приказан је утицај атмосферског ваздуха на емисију метана. Са порастом температуре атмосферског ваздуха расте и количина емитованог метана са депоније. Овај пораст концентрације метана је нарочито изражен код биотрнова бр. 21 и 22 док је код осталих биотрнова мањи, што се тумачи стабилном температуром у телу депоније. Најмањи пораст концентрације метана је на биотрновима бр. 16, 18 и 19.



Слика 4.10 - Утицај амбијенталне температуре на концентрацију метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

#### 4.1.2.1 Праћење индикатора пожара

За разлику од површинских пожара који се одмах уочавају подземни пожари на депонијама настају испод површине депоније, у депонованом отпаду који је месецима или годинама стар. На основу појаве и праћења основних индикатора пожара може се предвидети настанак површинских пожара и предвидети или потврдити присуство подземног пожара и одредити место "врућих тачака" у телу депоније. Постоје четири основна индикатора пожара [52]:

- повећана температура у активним или пасивним системима за дегазацију депонијског гаса;
- промена концентрације компонената депонијског гаса;
- појава пукотина, слегања или улегнућа;
- присуство дима и мириса који се издваја из депоније.

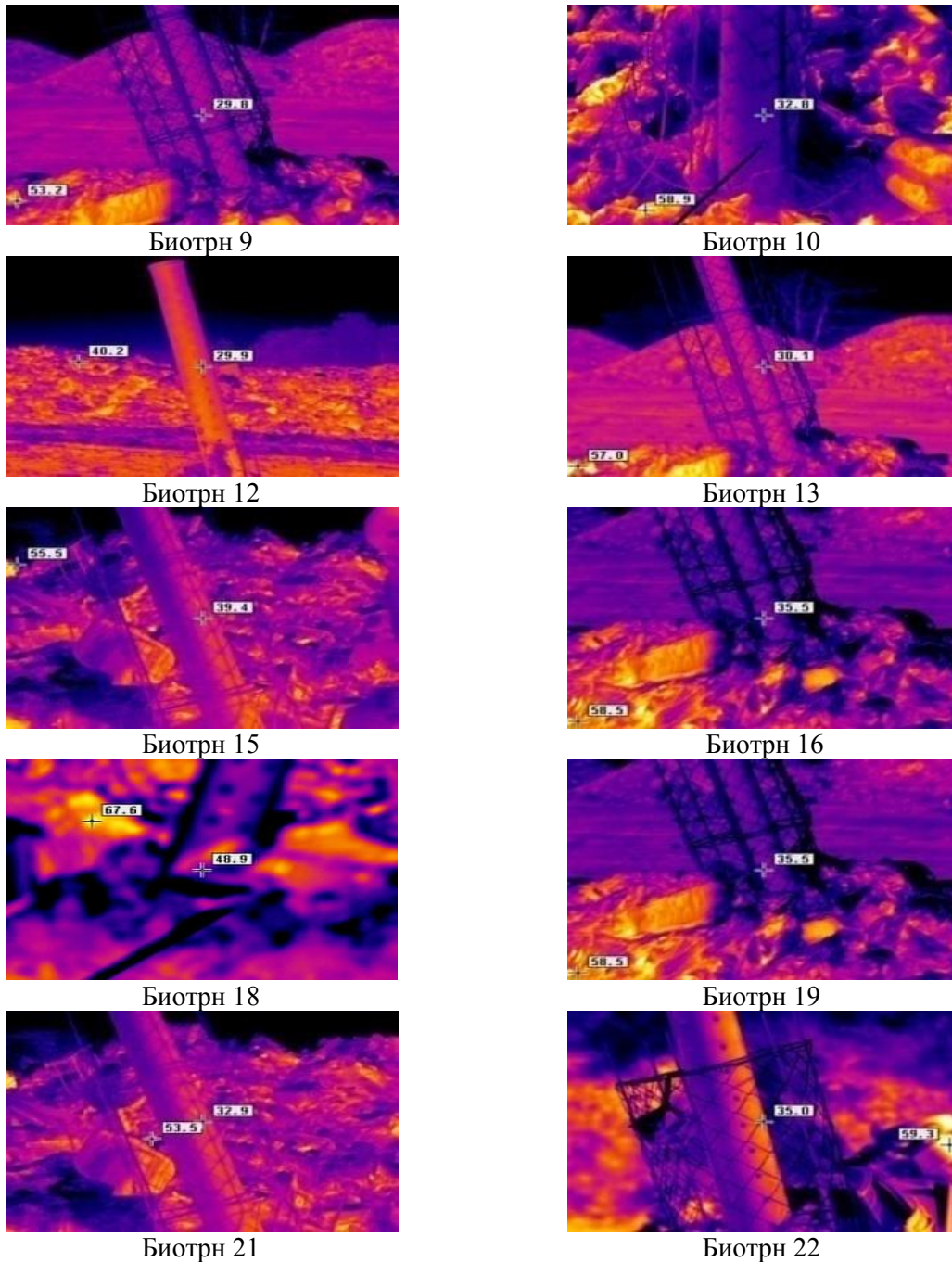
На несанитарној депонији "Бубањ" праћени су наведени индикатори пожара. У табели 4.6. приказане су вредности метеоролошких параметара за град Ниш у тренутку вршења мерења дана 02.07.2015. године на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу.

Табела 4.6 - Метеоролошки параметри за град Ниш, 2. јун 2015. године

Температура амбијенталног ваздуха [°C]	Притисак [bar]	Правац ветра	Брзина ветра [m/s]	Влажност ваздуха [%]
27	0,993	Северо-западни	3	68

**Праћење температуре депонијског гаса.** Праћење температуре се показало као веома корисно како у превенцији депонијских пожара, тако и за утврђивање ризика од настанка пожара и праћење тока гашења.

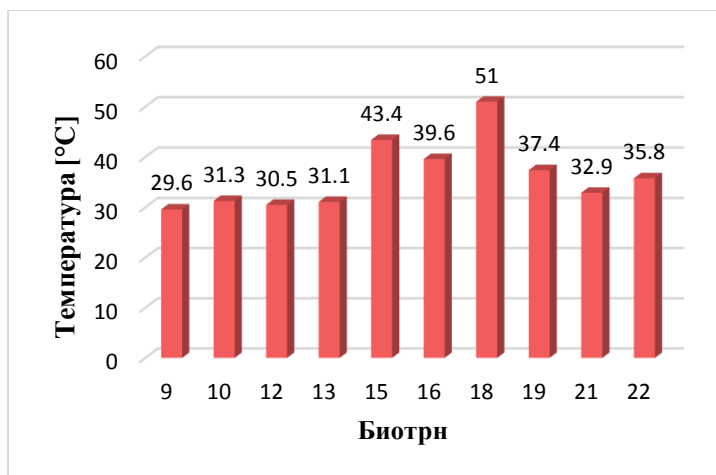
Термокамером EasIR-9 направљени су снимци биотрнова. На слици 4.11 приказани су снимци добијени термовизијском камером на којима су приказане вредности температуре биотрнова кроз које се врши дегазација депонијског гаса.



Слика 4.11 - Термовизијски снимци биотрнова на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Мерења температуре термовизијском камером показују да је температура биотрнова у интервалу од 28,6°C на биотрну бр. 8 до 48,9 °C на биотрну бр. 18. Овим снимцима није уочено евентуално повећање температуре депонијског гаса.

На слици 4.12 приказана су мерења температуре гасним анализатором MRU Vario Plus Industrial.



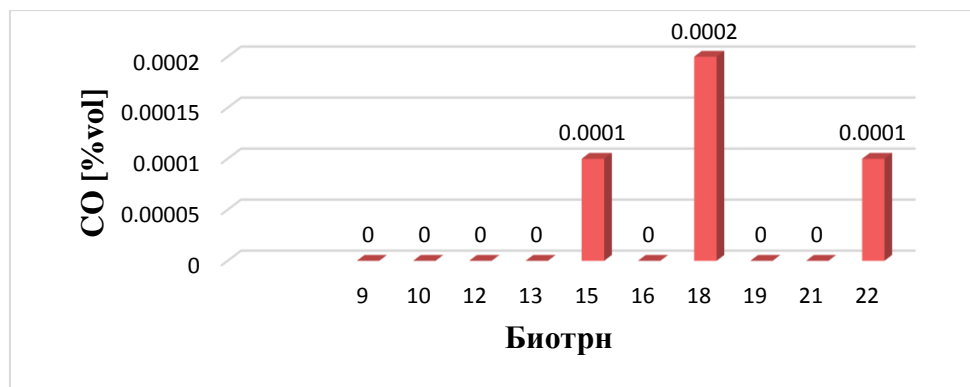
**Слика 4.12** - Вредности измерене температуре депонијског гаса на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Измерене вредности температуре гасним анализатором су у интервалу од 29,6°C на биотрну бр. 9 до 51°C на биотрну бр.18. Према прописима US EPA и SWANA [24, 36] нормална температура у телу депоније је до 52°C, температуре веће од 55°C указују да постоји процес загревања [40, 95], између 100°C и 121°C присутно је подземно тињање [16], док температуре преко 149°C потврђују присуство подземног пожара [67]. На основу измерених вредности долазимо до закључка да овај индикатор не указује на могућност настанка пожара нити потврђује присуство подземног пожара.

**Праћење концентрације компонената депонијског гаса.** Компоненте депонијског гаса чије се концентрације прате су угљен-моноксид, кисеоник, метан и угљен-диоксид.

**Праћење концентрације угљен-моноксида.** Промена концентрације угљен-моноксида користити као поуздан индикатор подземних пожара. Услед нехомогености депонованог отпада и у зависности од одржавања депоније смањење концентрације угљен моноксида може трајати у временском интервалу 1 до 6 месеци.

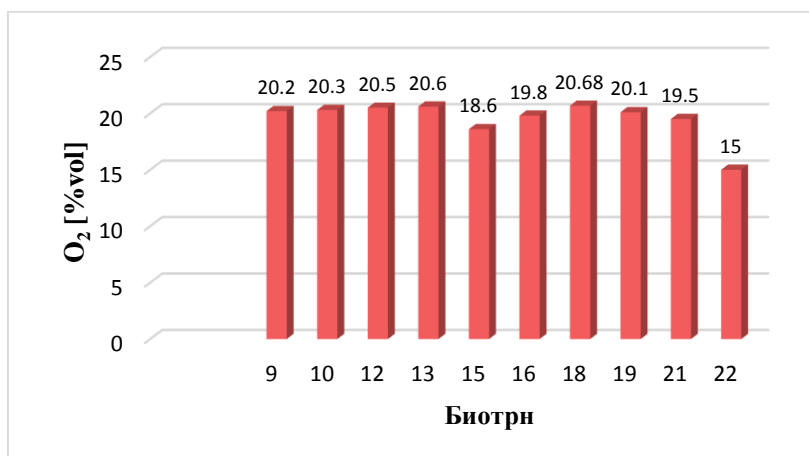
На слици 4.13 приказане су измерене вредности концентрација угљен-моноксида на биотрновима. Најмање концентрације угљен-моноксида од 0,0001 %<sub>vol</sub> измерене су на биотрновима бр.15 и 22 док је највећа концентрација од 0,0002 %<sub>vol</sub> измерена на биотрну бр.18.



Слика 4.13 - Измерене вредности концентрације угљен-моноксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

На свим осталим биотрновима концентрација угљен-моноксида није била забележена. Како при концентрацијама угљен-моноксида од 0 до 0,0025 %<sub>vol</sub> нема могућности за настанак пожара, при концентрацијама од 0,0025 %<sub>vol</sub> до 0,05 %<sub>vol</sub> је могућ тињајући пожар у телу депоније, док концентрације преко 0,1 %<sub>vol</sub> указују на пожар у телу депоније [63,67], овај параметар пожара на несанитарној депонији "Бубањ" не указује ни на какву могућност настанка пожара нити потврђује присуство подземног пожара.

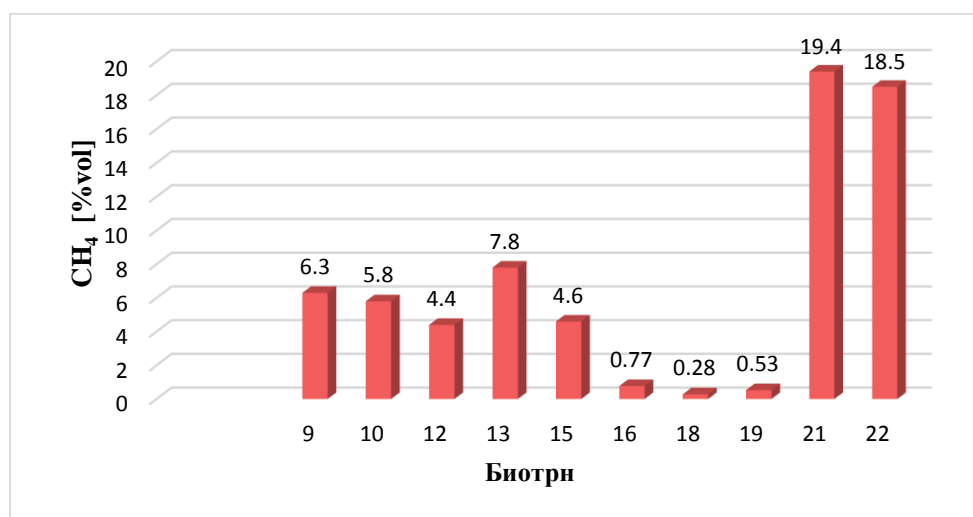
**Праћење концентрације кисеоника.** Према US EPA и SWANA нормалне концентрације кисеоника су у интервалу од 0,1 %<sub>vol</sub> до 1 %<sub>vol</sub>, а дозвољена максимална концентрација је до 5 %<sub>vol</sub>. Током депонијског пожара, ниво кисеоника испод површине се креће од 15 %<sub>vol</sub> до 21 %<sub>vol</sub>. Како гашење пожара напредује, ниво кисеоника пропорционално опада и када је пожар потпуно угашен ниво кисеоника обично пада испод 1 %<sub>vol</sub>. На слици 4.14 приказане су вредности измерених концентрација кисеоника.



Слика 4.14 - Вредности измерених концентрација кисеоника на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Измерене концентрације кисеоника на биотрновима које се креће у интервалу од 15 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.22 до 20,68 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.18. Повећане концентрације кисеоника на биотрновима показује могућност настанка пожара али с обзиром да је измерена температура као и концентрација измереног угљен-диоксида у границама нормале, ово повећање тумачи се као последица продирања ваздуха у тело депоније услед недовољне количина прекривног слоја отпада и лоше пројектованог и изведеног пасивног система за дегазацију депонијског гаса.

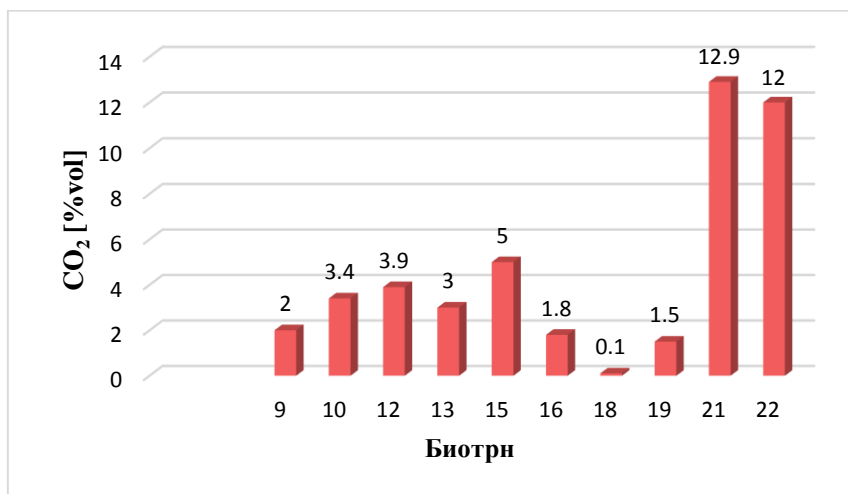
**Праћење концентрације метана.** Стварање метана почиње у четвртој анаеробној фази разлагања отпада при чему се угљен-диоксид и метан налазе у приближном односу 1:1, а заједно чине око 95 % укупне количине депонијског гаса [89]. Концентрација метана и угљен-диоксида чије су нормалне границе приближно око 45 %<sub>vol</sub> до 60 %<sub>vol</sub> опадају у току одигравања подземних пожара. На слици 4.15 приказане су измерене вредности концентрације метана на биотрновима.



Слика 4.15 - Измерене вредности концентрације метана на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

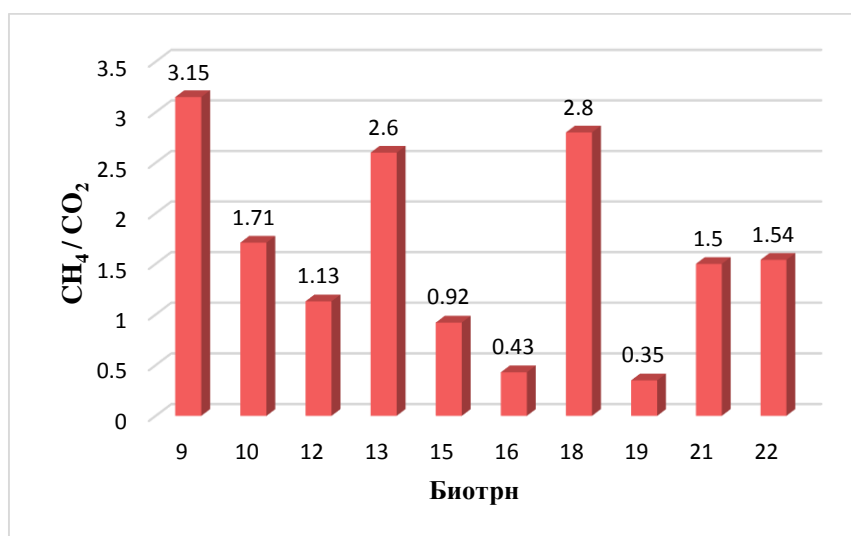
Како је интервал запаљивости/експлозивности метана у интервалу од 5 %<sub>vol</sub> до 15 %<sub>vol</sub> на основу измерених вредности концентрација можемо видети да је метан у интервалу запаљивости на биотрновима бр.9, 10 и 13. Максимална измерена концентрација метана је 19,4 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.21 док је минимална измерена концентрација 0,28 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.18. Смањење концентрације метана који је индикатор настанка пожара у овом случају може се објаснити стварањем "цепова метана" у појединим деловима депоније или петом завршном фазом разлагања отпада при чему аенаеробна фаза прелази у аеробну а метан се разлаже на угљен-диоксид и воду.

**Праћење концентрације угљен-диоксида.** Измерене концентрације угљен-диоксида приказане су на слици 4.16 у интервалу су од 0,1 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.18 до 12,9 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.21.



Слика 4.16 - Измерене вредности концентрације угљен-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Однос измерених концентрација метана и угљен-диоксида који има вредност мању од 1 је показатељ вероватноће настанка подземних пожара на депонији.



Слика 4.17 - Однос концентрација метана и угљен-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Са слике 4.17 се види да су вредности односа измерених концентрације метана и угљен-диоксида мање од 1 присутане на биотрновим бр.15, 16 и 19. Овакав однос може бити последица биолошке разградње и хемијских процеса у телу депоније.

**Појава пукотина, слегања или улегнића.** Овај индикатор сигурног настанака подземних пожара није уочен на површини депоније "Бубањ".



**Присуство дима и мириса који се издваја из депоније** Није уочена појава дима и мириса са површине депоније нити на биотрновима.

На основу обављених мерења у циљу праћења параметара депонијског подземног пожара може се закључити да нема подземног пожара. На свих 10 биотрнова на којима су извршена мерења није пронађена потврда свих индикатора о настанку пожара. Индикатори праћења температуре и концентрације угљен-монооксида били су у границама нормале што није својствено процесу сагоревања, а непостојање индикатора појаве дима, мириса, пукотина и улегнућа са тела депоније само су потврдили да не постоји подземни пожар. Док индикатори праћења концентрације кисеоника, метана и угљен-диоксида су показали да на несанитарној депонији "Бубањ" постоји могућност од настанка подземног пожара.

#### **4.1.2.2 Праћење индикатора загађења ваздуха**

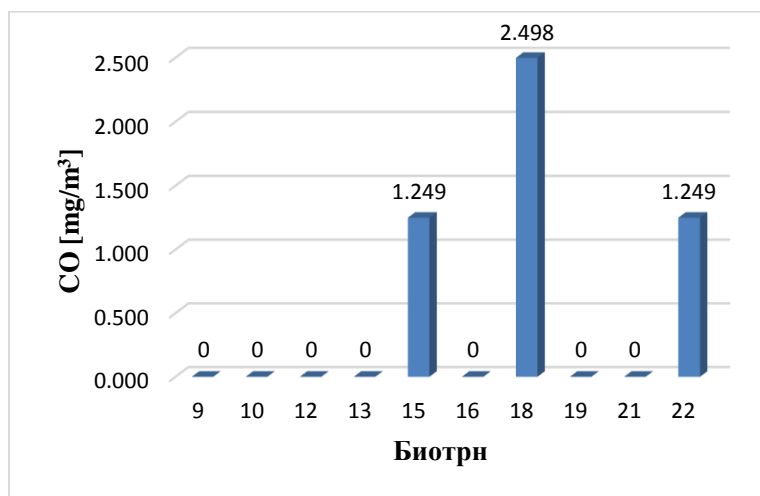
Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ниво загађености ваздуха прати се мерењем концентрација за сумпор-диоксида, азот-диоксида и азотних оксида, суспендоване честице (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), олова, бензена, угљен-монооксида, приземног озона, арсена, кадмијума, живе, никла и бензо(а)пирена у ваздуху инструментима за аутоматско мерење и/или узимањем узорака и њихову анализу (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)).

С обзиром да су измерене концентрације компонента депонијског гаса угљен-монооксида, азотних оксида и сумпор-диоксида, резултати мерења концентрација ових загађујућих материја упоређене су са прописаним граничним, толерантним и циљним вредностима нивоа загађујућих материја у ваздуху у циљу утврђивања нивоа загађености ваздуха [85].

На слици 4.18 приказане су вредности измерених концентрација угљен-монооксида на биотрновима.

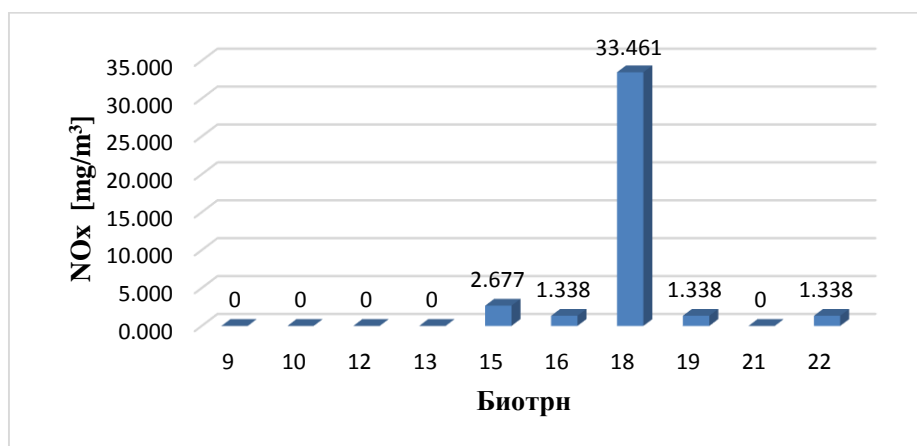
Максимална измерена вредност концентрације угљен-монооксида је 2,498 mg/m<sup>3</sup> на биотрну бр.18, док су минималне измерене вредности 1,249 mg/m<sup>3</sup> присутне на биотрновима бр.15 и 22. На осталим биотрновима нису забележене концентрације угљен-монооксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха гранична вредност концентрације за угљен-моноксид за период од 8 h износи 10 mg/m<sup>3</sup> док је толерантна вредност концентрације 16 mg/m<sup>3</sup> (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и

63/2013)). Можемо закључити да на биотрновима није дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације угљен-моноксида.



Слика 4.18 - Измерене вредности концентрације угљен-моноксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

На слици 4.19 приказане су вредности измерених концентрација азотних оксида на биотрновима.

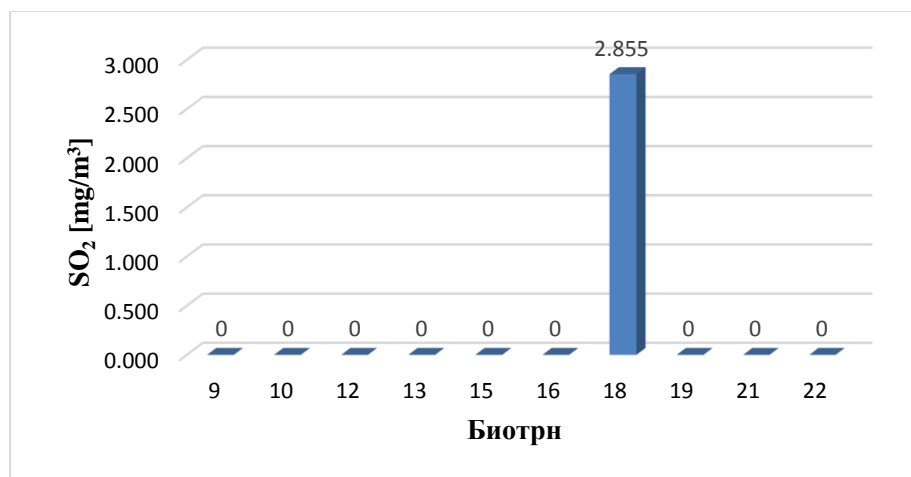


Слика 4.19 - Измерене вредности концентрације азотних оксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Измерене вредности азотних оксида су у интервалу од 33,461 mg/m<sup>3</sup> на биотрну бр.18 до 1,338 mg/m<sup>3</sup> измерене на биотрновима бр.16, 19 и 22. На биотрновима бр. 9, 10, 12, 13 и 21 нису забележене концентрације азотних оксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха гранична вредност концентрације за азотне оксиде за период од 1 h износи 0,15 mg/m<sup>3</sup> док је толерантна вредност концентрације 0,225 mg/m<sup>3</sup> (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)). Можемо закључити да је на 7 од 12

биотрнова дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације азотних оксида.

На слици 4.20 приказане су вредности измерених концентрација сумпор-диоксида на десет биотрнова.



Слика 4.20 - Измерене вредности концентрације сумпор-диоксида на биотрновима на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

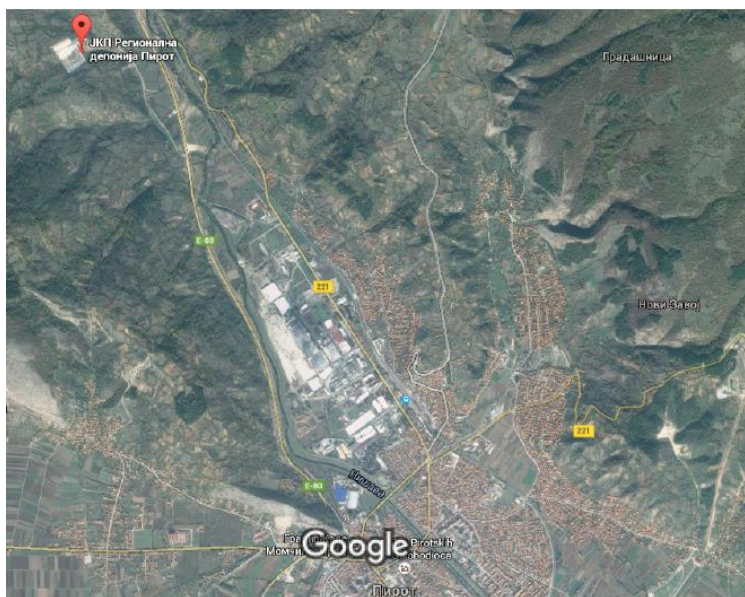
Једина измерена вредност сумпор-диоксида је 2,498 mg/m<sup>3</sup> на биотрну бр.18, док на осталих 9 биотрнова нису забележене концентрације сумпор-диоксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха гранична вредност концентрације за сумпор-диоксида за период од 1 h износи 0,35 mg/m<sup>3</sup> док је толерантна вредност концентрације 0,5 mg/m<sup>3</sup> (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)). Можемо закључити да на је само на једном биотрну дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације сумпор-диоксида.

## 4.2 Регионална санитарна депонија "Мунтина падина" у Пироту

Регионална санитарна депоније "Мунтина падина" лоцирана је на подручју природне долине, између гребена Дебел дел и Мунтина падина, на надморској висини између 420 до 480 m. Генерални пад терена износи 12,4 % у правцу североистока, генерални нагиб долине има правац према истоку, са отицањем према алувијалној равни Нишаве [65].

Депонија се налази северозападно од града Пирота, на удаљености ваздушном линијом око 4,5 km, док удаљеност од пута Ниш - Пирот износи око 500 m. У односу на прописане удаљености од насеља и посебних насељских садржаја, локација "Мунтина падина" испуњава услове удаљености веће од 1,5 km од најближег насеља, што је минимално прописано растојање од насеља збијеног типа (слика 4.21). Прве појединачне куће налазе се на већој удаљености од минималних 500 m, прописаних Уредбом о одлагању отпада на депоније ("Службени гласник РС", бр.92/2010).

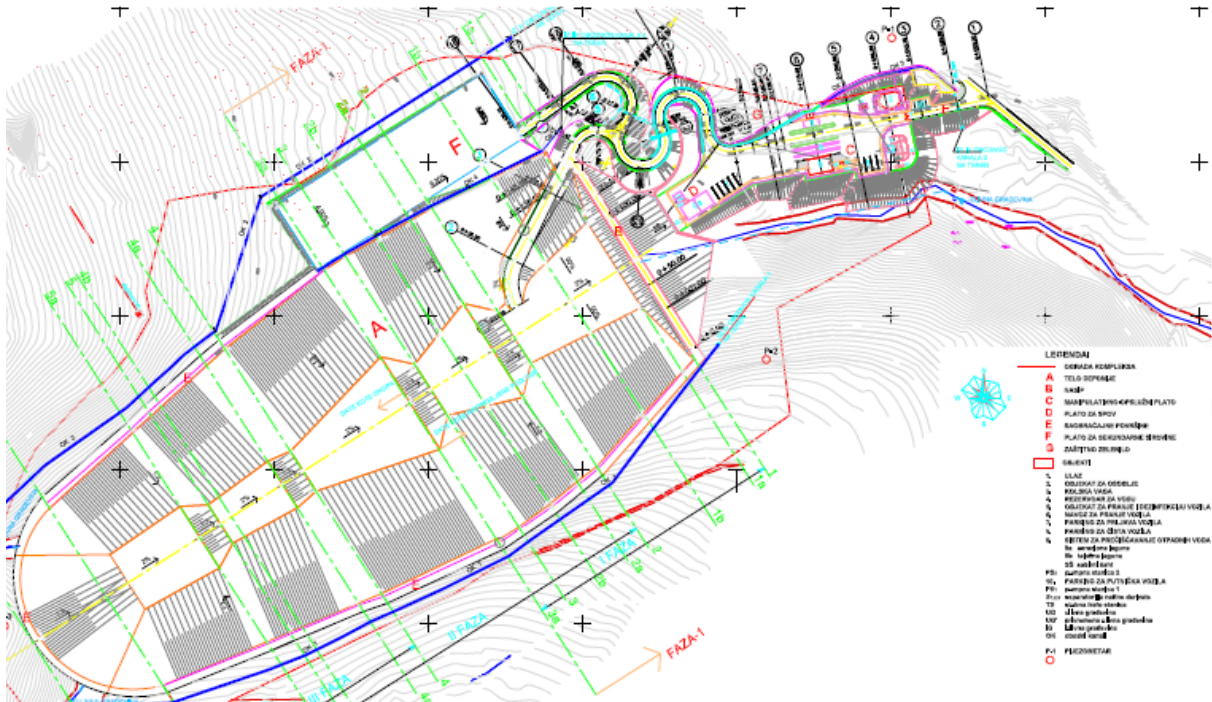
Локација регионална санитарна депонија "Мунтина падина" испуњава и следеће услове: од реке Нишаве удаљена 500 m удаљености од споменика културе до 1,5 km, удаљеност од аутобуске и железничке станице знатно више од прописаних 500 m, удаљеност депоније од здравствених установа и објеката прехрамбене индустрије је већа од 2 km која је прописана као минимална, удаљена од магистралних далековаода најмање 100 m [65].



**Слика 4.21** - Положај регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у односу на град Пирот [98]

Регионална санитарна депонија је заклоњена од околине, погодном конфигурацијом терена. Комплекс депоније (слика 4.22), укључујући комуникације, пратеће садржаје, тело депоније и заштитни појас заузима површину од 159.897,67 m<sup>2</sup>. На манипулативном платоу лоцирани су следећи објекти: капија са рампом, портирница, објекат за особље, колска вага, сервис за прање и дезинфекцију возила, песколов са сепаратором масти и уља, паркинг за прљава возила, паркинг за чиста возила и трафо станица. Санитарно уређени простор за свакодневно одлагање отпада

износи  $84.160 \text{ m}^2$ , капацитет депоније износи  $1.242.710 \text{ m}^3$ , што одговара периоду одлагања од 20 година.



Слика 4.22 - Шематски приказ регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту [65]

На основу постојећих података нивои подземних вода су на дубинама већим од 5 m, а појављују се само повремене воде при површини терена услед инфилтрације.

Сакупљање и одвођење процедурних вода уређено је постављањем цеви за дренажу и сакупљање процедурних вода које има двојаку улогу. Служе као филтерски слој за процедурне воде и као заштитни слој за цеви и облогу од притиска, који изазива кретање тешке опреме или извесна непредвиђена оптерећења. Цеви које су постављене у дренажни слој су од истог материјала као и облога.

Сакупљена вода се са тела депоније дренажним цевима преко колектора одводи до сабирног шахта где се ове воде сусрећу са фекално-техничком канализацијом. Из сабирног шахта се заједно уливају у постројење за пречишћавање отпадних вода.

Постројење за пречишћавање отпадних вода смештено је на западном делу манипулативног платоа, уз интерну саобраћајницу. Састоји се од две лагуне: аерационе капацитет  $600 \text{ m}^3$  и таложне запремине  $100 \text{ m}^3$ . Делимично пречишћена отпадна вода напушта лагуну, носећи суспендовану биомасу, а укупна количина ове органске материје је мања од оне у сировој отпадној води и она је потпуно другачијег карактера, односно може се таложењем издвојити. Евентуални прекомерни доток отпадне воде из



дренажне канализације у аерациону лагуну, спречава се сигурносним вентилом, постављеним у шахту - затварачници који се налази испред сабирног шахта. Отпадна вода се после третмана пребацује камион - цистерном до првог улива у градску канализациону мрежу [65].



**Слика. 4.23** - Изглед регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

За контролисану дегазацију нове депоније "Мунтина падина" у Пироту према технолошком решењу и пројектном задатку, усвојен је пасивни начин одвођења депонијског гаса из тела депоније путем биотрнова, а предвиђено је његово касније модификовање у активни систем за прикупљање и одвођење гасова. Гасни бунари (биотрнови) за одвођење депонијских гасова (пре свега метана) постављени су по ободу и унутар депоније у одговарајућем распореду који прати контуру депоније и који је прилагођен појединим фазама попуњавања депоније [66].



**Слика. 4.24** - Пасивни систем за дегазацију депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Попуњавање нове регионалне санитарне депоније чврстог комуналног отпада "Мунтина падина" у Пироту се одвија у три фазе. Укупан број биотрнова предвиђених да се поставе у све три фазе износи 69 [66]. Провера састава гаса, као и интензитета издвајања гасова мора се вршити како за време депоновања отпада у депонији, тако и после затварања депоније и то бар 10 година. Провера састава депонијских гасова врши се узимањем узорака гасова из биотрнова постављањем специјалних сонди за узимање узорака у дегазационе цеви на одговарајућу дубину, а затим анализирањем узорака помоћу одговарајућих гасних анализатора, што обављају специјализоване установе, које су регистроване за ову врсту делатности.

На основу података достављених од надлежних Јавних комуналних предузећа која се баве прикупљањем и дистрибуирањем отпада из пиротског округа (Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка) у табели 4.7 приказани су подаци о морфолошком саставу отпада на депонији "Мунтина падина" [65]. Такође у табели 4.7 приказане су и вредност средње густине отпада које зависе од: морфолошког састава отпада, средње густине и влажности појединих компоненти.

**Табела 4.7 - Морфолошки састав комуналног отпада на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту [65]**

Компонента отпада	Масени удео у укупној количини [%]	Средња густина [t/m <sup>3</sup> ]
Отпад са јавних површина	50,96	0,140
Органски отпад	23,20	0,450
Грађевински отпад	6,65	0,640
Папир	5,78	0,056
Пластика	2,82	0,080
Метал	2,45	0,750
Текстил	2,30	0,180
Стакло	1,15	0,280
Гума	0,95	0,129
Пепео	0,56	0,640
Остало	3,20	0,290

У току одређеног временског периода, на укупну количину отпада утиче и дневна количина отпада сакупљена у граду. Сви подаци о дневним количинама отпада који се сакупљају у наведеним општинама, добијени су од Јавних комуналних предузећа за ту општину. На основу наведене запремине и прорачунате средње густине несабијеног комуналног отпада за сваки град, добијене су укупне појединачне дневне, месечне и годишње количине комуналног отпада који је приказан у табели 4.8.

**Табела 4.8** - Количина отпада која се одлаже на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту [65]

Отпад	Дневна запремина отпада [m <sup>3</sup> /dnevno]	Месечна запремина отпада [m <sup>3</sup> /mesečno]	Годишња запремина отпада [m <sup>3</sup> /годишње]
У несабијеном стању	441,5	11.038	132.445
У сабијеном стању	143,5	3.588	43.050

На основу прогнозе броја становника која је урађена је за сваку општину, а на основу Података о прираштају броја становника у општинама између два задња пописа (1991. и 2002. године), у табели 4.9 приказан је пораст количине комуналног отпада који ће се одлагати на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту за период од 20 година.

**Табела 4.9** - Количине отпада у по годинама која треба да се депонује на регионалну санитарну депонију "Мунтина падина" у Пироту [65]

Година депоновања	Година	Пирот	Бабушница	Димитровград	Бела Паланка	Збирна количина [m <sup>3</sup> ]
0	2006	96.515	12.761	18.644	4.522	132.442
1	2007	97.480	12.825	18.738	4.545	133.587
2	2008	98.455	12.889	18.831	4.567	134.742
3	2009	99.439	12.953	18.925	4.590	135.908
4	2010	100.434	13.018	19.020	4.613	137.085
5	2011	101.438	13.083	19.115	4.636	138.273
6	2012	102.452	13.149	19.211	4.659	139.471
7	2013	103.477	13.214	19.307	4.683	140.681
8	2014	104.512	13.281	19.403	4.706	141.900
9	2015	105.557	13.347	19.500	4.730	143.134
10	2016	106.612	13.414	19.598	4.753	144.377
11	2017	107.678	13.481	19.696	4.777	145.632
12	2018	108.755	13.548	19.794	4.801	146.899
13	2019	109.843	13.616	19.893	4.825	148.177
14	2020	110.941	13.684	19.993	4.849	149.467
15	2021	112.051	13.752	20.093	4.873	150.769
16	2022	113.171	13.821	20.193	4.898	152.083
17	2023	114.303	13.890	20.294	4.922	153.409
18	2024	115.446	13.960	20.396	4.947	154.748
19	2025	116.600	14.030	20.498	4.972	156.099
20	2026	117.766	14.100	20.600	4.996	157.462



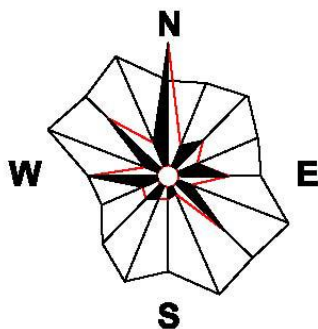
#### 4.2.1 Климатске, геоморфолошке и хидрогеолошке карактеристике подручја

Шире подручје града Пирота, карактерише умерено-континенталној клими као и планинска клими са севера. Велики утицај на измене локалних климатских прилика имају морфолошки услови.

**Температура ваздуха.** Средња годишња температура зоне предметне локације износи 11°C. Средња месечна температура најнижа је у јануару и износи -0,8°C, а највиша је у јулу и износи 21,2°C. Најчешће се у току јануара и фебруара, јавља период снежних падавина са просечним трајањем од око 60 дана [99]. Кишни месеци су најчешће у пролеће, када су и најчешће поплаве и бујична активност потока.

**Ветрови.** Анализом учестаности и брзине ветрова у Пироту, највећу частину јављања имају тишине које су заступљене са 626 %. Од ветрова преовладавају северни и северозападни са честином 103 %. Током године највише се јавља северозападни ветар са највећом честином у фебруару, а најмањом у октобру. Највећу частину у децембру има југоисточни ветар, док му је у септембру најмања. Нарочиту важност поред ових ветрова, има јужни ветар, који нема велику частину, свега око 7 %, али се јавља у свим годишњим добима, прилично је брз и јак. Доноси кишу и облачно време.

Средња брзина ветра у Пироту је доста мала, свега 0,9 m/s. Највећу просечну брзину имају ветрови југоисточног квадранта од 4,6 до 5,5 m/s, док преовлађујући северни ветар не показује велике вредности, свега 2,8 m/s [99]. Максимална забележена брзина ветра износи 18,9 m/s. Просечна годишња частина дана са јаким ветром је 9 дана, максимум има јануар од 1,5 до 7,0 дана, а минимум октобар са свега 0,2 до 1,0 дана. Локација "Мунтина падина" је добро заклоњена од доминантног северног ветра, као и северозападног, а у нешто мањој мери и југозападног. На слици 4.25 дат је приказ руже ветрова за подручје града Пирота.



Слика 4.25 - Графички приказа руже ветрова за подручје Пирота [99]

**Падавине.** Кишни месеци су најчешће пролећни (март, април), када су и најчешће поплаве и бујична активност потока, док је најсувљи месец септембар. Најкишовитије годишње доба је пролеће. Иначе средња годишња количина атмосферских падавина у ширем подручју локације износи око 679,0 mm/m<sup>2</sup>. Периоди снежних падавина су променљиви, а најчешћи су у току јануара и фебруара, са просечним трајањем око 60 дана.

**Геоморфолошке и хидрогеографске карактеристике подручја.** Терен ширег подручја регионалне депоније комуналног чврстог отпада, у основи је изграђен од кредних и тријаских седимената, са наслагама језерских седимената по ободу котлине и са неуједначено заступљеним седиментима квартара падинског и флувијалног генетског типа. Терен је изграђен искључиво од вулканита и вулканокластита, горње креде, који су у тектонском односу према доњој креди на падини "Будиног Дела" [65]. Прашинасто-песковите глине са дробином и шљунком су дебљине од 2 m до 4 m. Растресите су и меке, мале до средње стишљивости и слабе до средње водопрпусности. Шљункови, валутице и пескови су гранулометријски изразито неравномерног састава, заглињени, са претежно крупнозрним и полузаобљеним фракцијама шљунка и песка, дебљине од 0,5 m до 1,5 m. Веома су покретљиви под дејством бујичног водотока. Веома су добро водопрпусни и претежно су водозасићени. Шљункови и песковите глине су гранулометријски су прилично уједначени. Средње су стишљивости и средње водопрпусности. Андезити и вулканокластити са и без делувима су различите дебљине. Стенска маса је у површинској, знатно испуцала и издељена неправилним пукотинама које се лако одвајају. Пропусност је слаба у компактној, односно средња у испуцалој стенској маси. Пешчари и лапорци налазе се у делувијалном покривачу. Ове стенске масе су дебљине од 1 m до 2 m. Слабе су водопрпусности и слабе оводњености.

**Хидрогеолошке карактеристике подручја.** Променљиве и најчешће мале количине воде у делувијалним и колувијалним наслагама су условљене искључиво атмосферским падавинама, па је у време обилних киша и топљења снега могуће извирање воде и појава бројних пишtevина, које често изазивају нестабилност падине. На просторима за депонију нису евидентирана никаква изворишта питке воде, а цевоводи за поједине групе насеља не пролазе преко простора предвиђених за депонију [65].

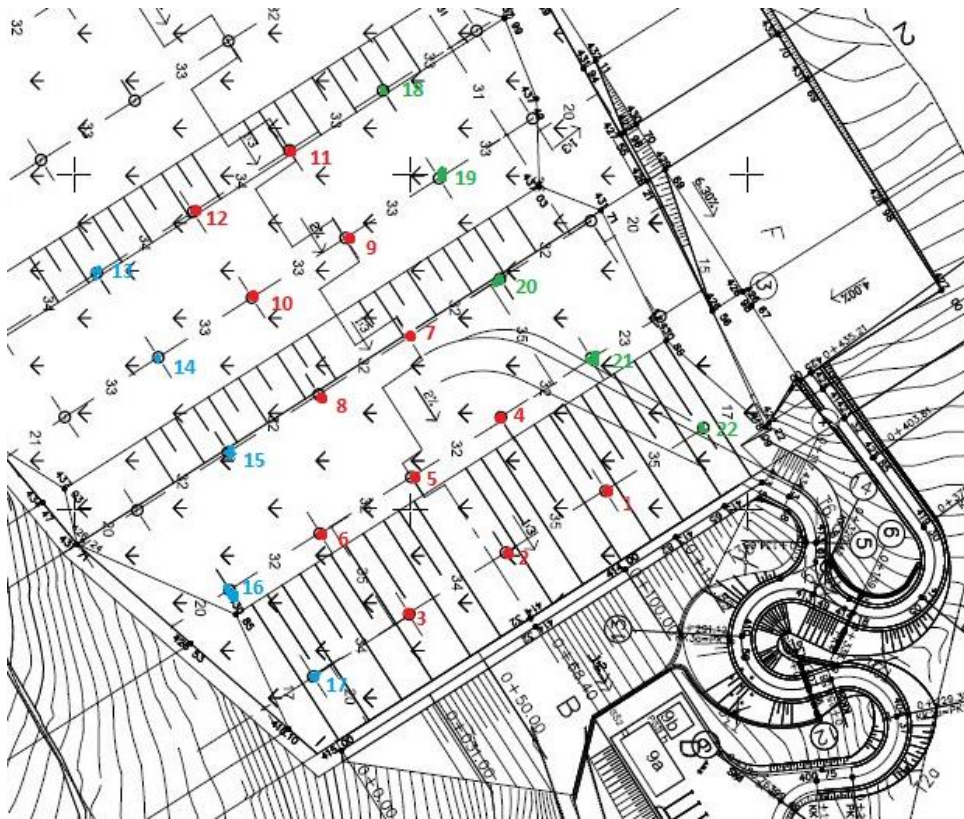
Знатна испуцалост стенске масе има за последицу већу ефективну порозност и пропусност стенске масе у зони депоније. Коефицијенти водопрпустљивости износе:

- за површинску зону распадања андезита:  $k_f = 1,6 \times 10^{-5}$  cm/s;
- за испуцалу стенску масу:  $k_f = 4,0 \times 10^{-5}$  cm/s.

Меродавни коефицијент водопропустљивости у делу где је лоцирана депонија износи око  $k_f = 1 \times 10^{-7}$  m/s.

#### 4.2.2 Резултати мерења депонијског гаса на биотрновима

На активном делу регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту, за дегазацију депонијског гаса користи се пасивни систем који се заснива на природној разлици притисака и дифузије гаса из тела депоније у атмосферу. Гасни бунари - биотрнови постављени су по ободу и унутар депоније по распореду који је приказан на слици 4.26. Укупан број биотрнова у тренутку мерења био је 12 а налазе се на растојању од око 25 m. Биотрнови су перфориране PVC цеви, пречника 0,2 m и висине 3 m. За мерна места мерења концентрације компонената депонијског гаса узети су биотрнови. Мерења су извршена на 10 биотрнова (слика 4.27).



Слика 4.26 - Распоред биотрнова на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту [66]



Слика 4.27 - Мерно место на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Мерења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" вршена су на биотрновима бр.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 и 16. Резултати мерења температуре као и концентрације компонента депонијског гаса на приказани су у табели 4.10.

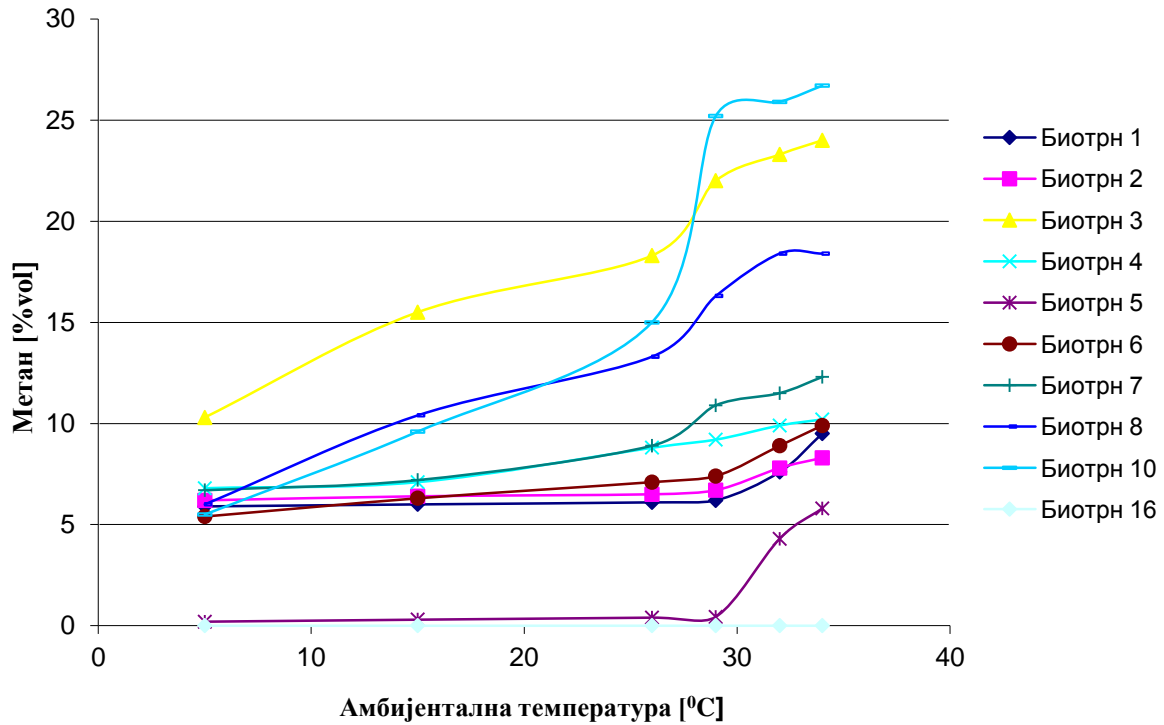
Табела 4.10 - Резултати мерења температуре и концентрације компонента депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Датум мерења	Амбијентална температура [°C]	Биотрн	Температура депонијског гаса [°C]	CH <sub>4</sub> [%vol]	CO <sub>2</sub> [%vol]	O <sub>2</sub> [%vol]	CO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]
07.04. 2015	5	1	12,9	5,90	13,70	12,70	1	0	0
		2	13,5	6,20	9,50	12,50	0	1	0
		3	13,5	10,30	10,30	11,60	1	1	0
		4	12,9	6,80	8,40	13,40	0	1	0
		5	13,3	0,20	7,20	13,80	0	1	0
		6	14,3	5,40	15,50	11,60	0	0	0
		7	13,9	6,70	14,60	10,80	0	2	0
		8	14,1	6,00	14,00	12,80	1	1	0
		10	14,7	5,50	13,90	11,90	1	2	0
		16	13,5	0,00	0,00	15,70	0	0	0
12.05. 2015	15	1	18,7	6,00	4,70	15,20	1	0	0
		2	19,8	6,40	5,20	14,50	1	1	0
		3	20,3	15,50	12,60	13,50	1	2	0
		4	22,5	7,10	4,90	15,30	0	1	0
		5	21,3	0,30	0,40	16,30	1	1	0
		6	24,1	6,30	5,60	14,00	1	0	0
		7	21,9	7,20	10,40	13,80	0	2	0
		8	24,7	10,40	9,30	14,70	1	2	0
		10	22,8	9,60	10,90	15,20	0	2	0
		16	20,6	0,00	0,10	16,70	0	0	0

Наставак табеле 4.10

Датум мерења	Амбијентална температура [°C]	Биотрн	Температура депонијског гаса [°C]	CH <sub>4</sub> [%vol]	CO <sub>2</sub> [%vol]	O <sub>2</sub> [%vol]	CO [ppm]	NO <sub>x</sub> [ppm]	SO <sub>2</sub> [ppm]
17.06. 2015.	26	1	25,1	6,10	5,10	18,20	0	1	0
		2	24,8	6,50	3,70	18,50	1	1	0
		3	26,3	18,30	10,80	15,50	1	1	0
		4	27,8	8,80	5,30	17,20	0	1	0
		5	28,4	0,40	0,50	20,10	1	1	0
		6	29,7	7,10	4,80	17,40	1	1	0
		7	24,3	8,90	5,40	18,30	0	1	0
		8	32,2	13,30	7,90	16,20	0	1	0
		10	33,4	15,00	11,50	13,30	1	0	0
13.07. 2015	29	16	26,9	0,00	0,10	19,70	0	0	0
		1	29,5	6,20	3,20	19,63	1	1	0
		2	29,5	6,70	4,30	19,20	1	1	0
		3	30,3	22,00	9,20	16,70	1	2	0
		4	31,4	9,20	6,70	18,90	0	1	0
		5	30,0	0,44	0,60	20,40	0	1	0
		6	34,3	7,40	4,60	18,10	0	1	0
		7	28,9	10,90	7,60	17,00	0	2	0
		8	38,5	16,30	9,20	15,40	1	2	0
14.08. 2015.	34	10	36,5	25,20	14,20	14,30	1	2	0
		16	29,3	0,00	0,10	20,80	0	0	0
		1	35,8	9,50	7,80	18,30	0	2	0
		2	36,3	8,30	5,80	20,10	0	1	0
		3	36,5	24,00	15,30	18,70	1	2	0
		4	37,4	10,20	9,40	15,50	0	0	0
		5	35,2	5,80	3,50	16,30	0	2	1
		6	38,1	9,90	8,50	18,50	1	1	0
		7	34,7	12,30	11,50	17,30	0	1	0
17.09. 2015.	32	8	42,7	18,40	12,60	16,80	1	0	0
		10	40,7	26,70	16,20	16,30	1	1	0
		16	35,8	0,00	0,20	15,40	0	0	0
		1	34,7	7,60	8,30	17,50	1	1	0
		2	33,3	7,80	6,30	19,60	0	0	0
		3	37,4	23,30	12,50	17,30	1	2	0
		4	35,2	9,90	7,90	16,50	0	2	0
		5	33,2	4,30	3,20	17,40	1	1	0
		6	36,4	8,90	9,10	17,20	0	0	0
7	32,8	11,50	10,20	18,50	1	1	0		
8	40,2	18,40	14,70	17,40	1	2	0		
10	41,3	25,90	13,40	16,40	1	1	0		
16	36,7	0,00	0,20	16,90	0	0	0		

На слици 4.28 приказан је утицај температуре атмосферског ваздуха на емисију метана. Мерења која су извршена у периоду од 6 месеци показала су да са порастом температуре атмосферског ваздуха расте и количина емитованог метана са депоније. Пораст концентрације метана са температуром је нарочито изражен на биотрну бр. 3 и 10. док је код осталих биотрнова тај пораст мањи, што се тумачи стабилном температуром у телу депоније. Најмањи пораст концентрације метана је на биотрну бр.5 док на биотрну бр.16 концентрација метана није забележена.



Слика 4.28 - Утицај амбијенталне температуре на концентрацију метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

#### 4.2.2.1 Праћење индикатора пожара

На регионалној санитарној депонији "Минтина падина" праћени су индикатори пожара на основу којих се може се предвидети настанак површинских пожара и предвидети или потврдити присуство подземног пожара. Праћени су следећи индикатори пожара [52]:

- повећана температура у активним или пасивним системима за дегазацију депонијског гаса;
- промена концентрације компонената депонијског гаса;
- појава пукотина, слегања или улегнућа;
- присуство дима и мириса који се издваја из депоније.

У табели 4.11. приказане су вредности метеоролошких параметара за 13.07.2015. године за град Пирот, када је вршено једно од мерења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту.



Табела 4.11 - Метеоролошки параметри за град Пирот, 13.07.2015. године

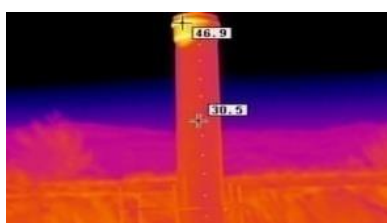
Температура амбијенталног ваздуха [°C]	Притисак [bar]	Правац ветра	Брзина ветра [m/s]	Влажност ваздуха [%]
29	0,957	северо-западни	3	37

Са порастом дубине депоније расте и дубина биотрнова додавањем нове перфориране цеви на већ постојећу. Дубина биотрнова у тренутку мерења концентрације компонената депонијског гаса приказана је у табели 4.12.

Табела 4.12 - Дубина биотрнова на којима су вршена мерења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Биотрн	1	2	3	4	5	6	7	8	10	16
Дубина [m]	12	12	12	12	12	12	15	15	12	3

**Праћење температуре депонијског гаса.** Пре него што се приступило мерењу температуре гасним анализатором *MRU Vario Plus Industrial*, термокамером *EasIR-9* направљени су снимци који показују температуру биотрнова. Овакви снимци могу да укажу на евентуално повећање температуре на биотрновима кроз које се врши дегазација депонијског гаса. Термовизијски снимци биотрнова приказани су на слици 4.29.



Биотрн 1



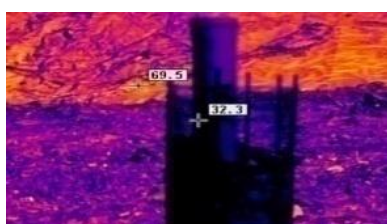
Биотрн 2



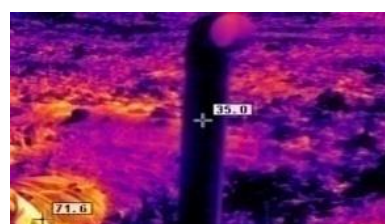
Биотрн 3



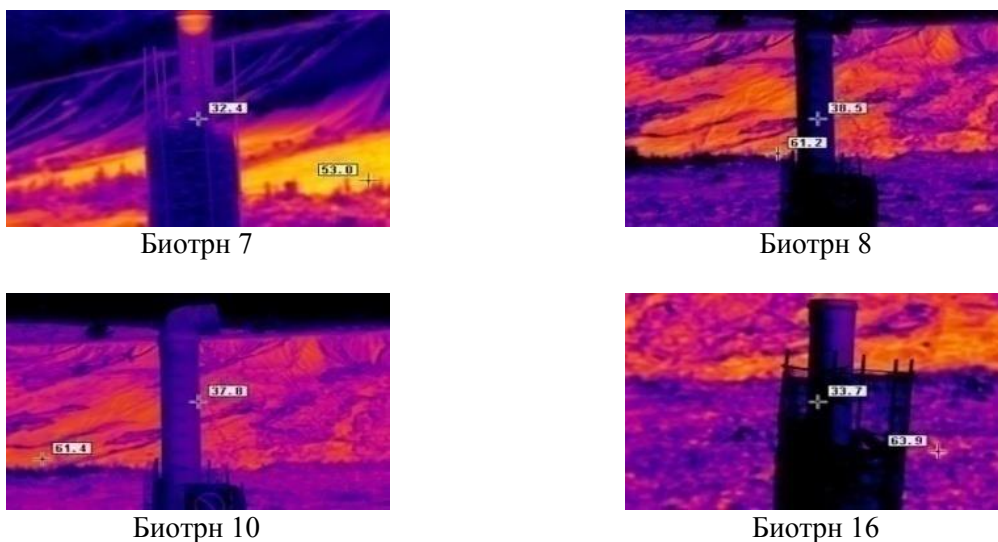
Биотрн 4



Биотрн 5

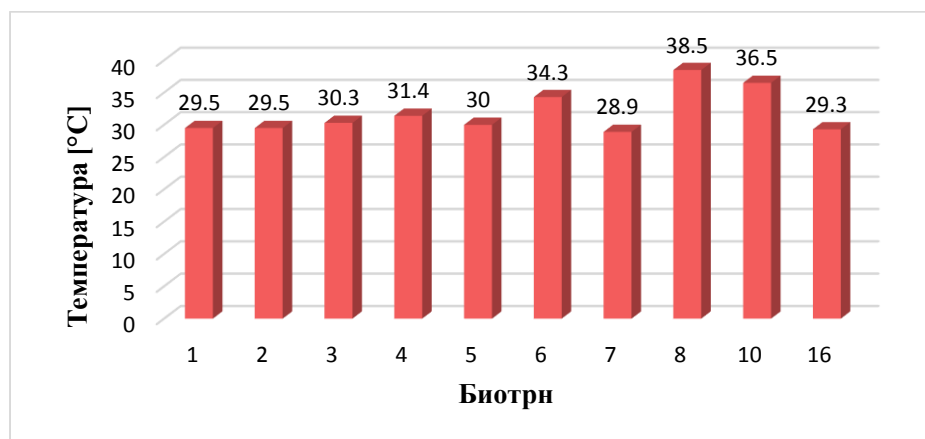


Биотрн 6



Слика 4.27 - Термовизијски снимци биотрнова на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Гасним анализатором *MRU Vario Plus Industrial* на 10 биотрнова измерена је температура депонијског гаса, а резултати мерења приказани су на слици 4.28.



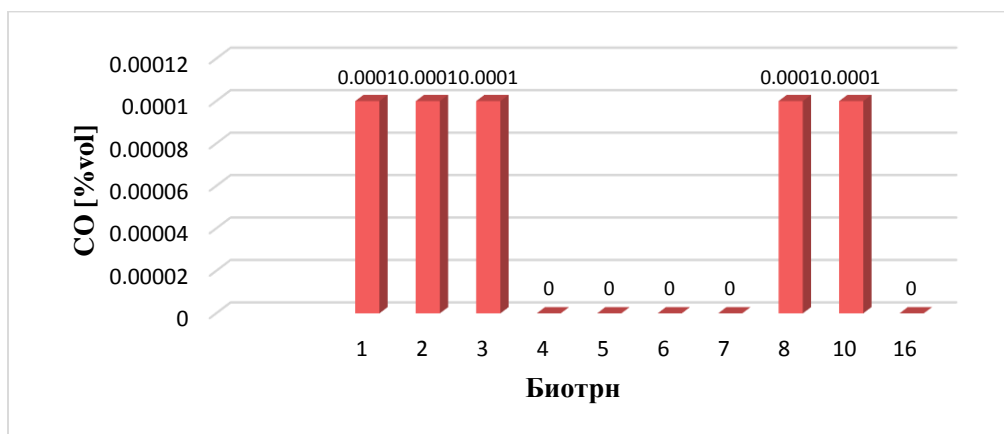
Слика 4.28 - Вредности измерене температуре депонијског гаса на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Минимална измерене вредности температуре је 28,9°C на биотрну бр.7 док максимална вредност на биотрну бр.8 износи 38,5°C. Измерене температуре су у рангу нормалних температура у телу депоније у анаеробној фази чије је максимална вредност 52°C. Како је повећање температуре је једна од пратећих појава пожара, на основу измерених вредности долазимо до закључка да овај поуздани индикатор пожара не указује на могућност настанка пожара нити потврђује присуство подземног пожара.



**Праћење концентрације компонената депонијског гаса.** Компоненте депонијског гаса чије се концентрације прате су угљен-моноксид, кисеоник, метан и угљен-диоксид.

**Праћење концентрације угљен-моноксида.** На биотрновима праћена је промена концентрације угљен-моноксида који се користити као поуздан индикатор подземних пожара.

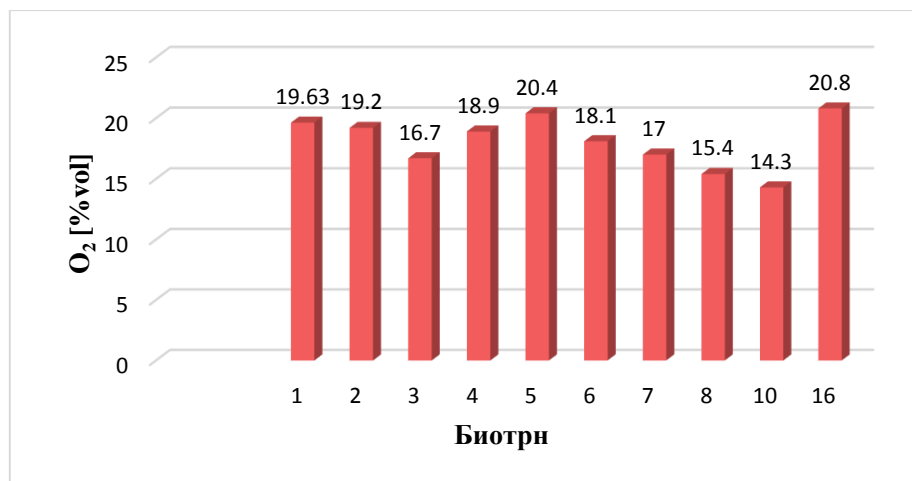


**Слика 4.29** - Измерене вредности концентрације угљен-моноксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

На слици 4.29 приказане су измерене вредности концентрација угљен-моноксида на биотрновима. Концентрација угљен-моноксида од 0,0001 %<sub>vol</sub> измерена је на биотрновима бр.1, 2, 3, 8 и 10 док на осталим биотрновима концентрација угљен-моноксида није била забележена. Како при концентрацијама угљен-моноксида од 0 до 0,0025 %<sub>vol</sub> нема могућности за настанак пожара, овај индикатор пожара на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" не указује ни на какву могућност настанка пожара нити потврђује присуство подземног пожара.

**Праћење концентрације кисеоника.** Кисеоник је још приликом одлагања на депонију присутан у отпаду. Нормалне концентрације кисеоника су у интервалу од 0,1 %<sub>vol</sub> до 1 %<sub>vol</sub>, а дозвољена максимална концентрација кисеоника је до 5 %<sub>vol</sub>. На слици 4.30 приказане су вредности измерених концентрација кисеоника.

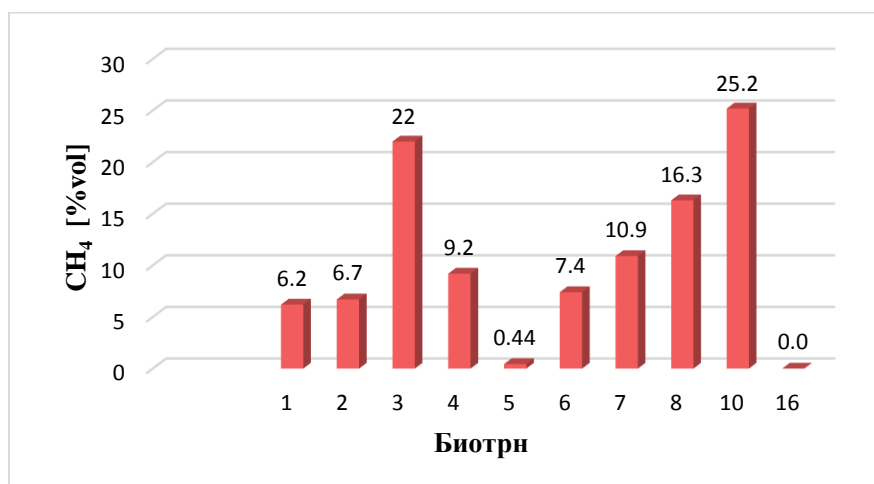
Измерене концентрације кисеоника на биотрновима које се крећу се у интервалу од 14,3 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.10 до 20,8 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.16. Повећане концентрације кисеоника од 15 %<sub>vol</sub> до 21 %<sub>vol</sub> су услов за настанак пожара, али с обзиром да је измерена температура као и концентрација измереног угљен-моноксида у границама нормале повећање концентрације кисеоника можемо тражити у другим узрочницима.



Слика 4.30 - Вредности измерених концентрација кисеоника на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Последица продирања ваздуха у тело депоније може бити услед слегања отпада, појаве пукотина на површини депоније и манипулативним путевима од шљунка кроз које продоре ваздух и кишница, недовољне количина прекривног слоја отпада и лоше пројектованог и изведеног пасивниог система за дегазацију депонијског гаса.

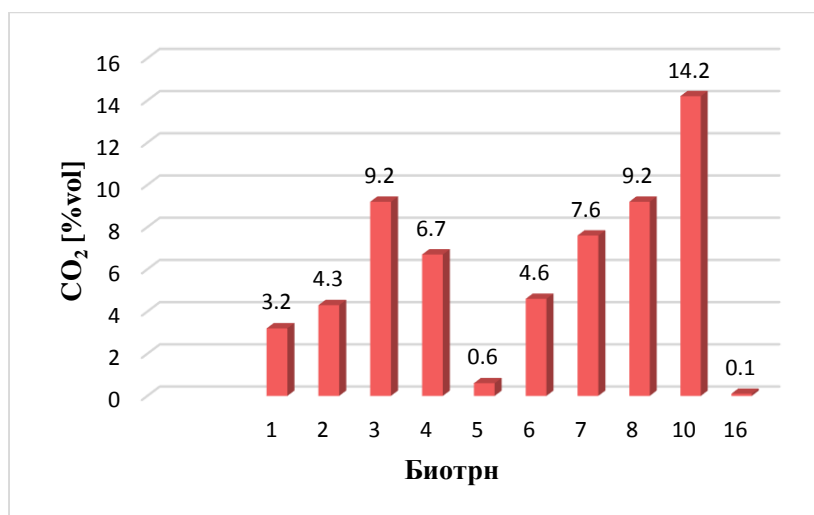
**Праћење концентрације метана.** У току трајања пожара концентрације метана и угљен-диоксида чије су вредности мање од њихових нормалних граничних вредности које износе приближно око 45 %<sub>vol</sub> до 60 %<sub>vol</sub>. Интервал запаљивости/експлозивности метана је између доње границе од 5 %<sub>vol</sub> и горње границе запаљивости /експлозивности од 15 %<sub>vol</sub>. На слици 4.31 приказане су измерене вредности концентрације метана на биотрновима.



Слика 4.31 - Измерене вредности концентрације метана на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

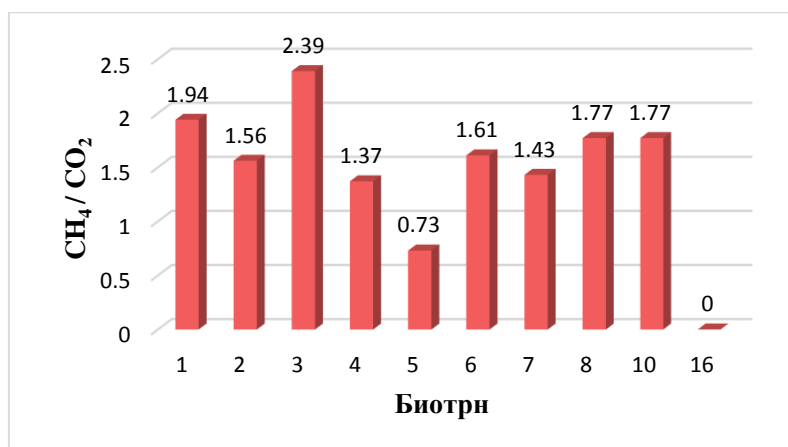
На основу измерених вредности можемо видети да је концентрација метана у интервалу запаљивости на биотрновима бр.1, 2, 4, 6 и 7. Максимална измерена концентрација метана је 25,2 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.10 док је минимална измерена концентрација 0,44 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.5. На биотрну бр.16 није измерена концентрација метана. Смањење концентрације метана који је индикатор настанка пожара у овом случају може се објаснити стварањем "цепова метана" у појединим деловима депоније или фазом разлагања отпада.

**Праћење концентрације угљен-диоксида.** Измерене концентрације угљен-диоксида приказане су на слици 4.32 у интервалу су од 0,1 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.16 до 14,2 %<sub>vol</sub> на биотрну бр.10.



Слика 4.32 - Измерене вредности концентрације угљен-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Однос измерене концентрације метана и угљен-диоксида који има вредност мању од 1 је показатељ вероватноће настанка подземних пожара на депонији.



Слика 4.33 - Однос концентрације метана и угљен-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Са слике 4.33 се види да су вредности односа концентрације метана и угљен-диоксида мање од 1 присутане на биотрну бр. 5 док на биотрну бр. 16 овај однос не постоји зато што није регистровано присуство метана. Овакав однос може бити последица биолошке разградње и хемијских процеса у телу депоније.

**Појава пукотина, слегања или улегнића.** Овај индикатор сигурног настанака подземних пожара није уочен на површини депоније "Мунтина падина".

**Присуство дима и мириса који се издваја из депоније** Није уочена појава дима и мириса са површине депоније нити на биотрновима.

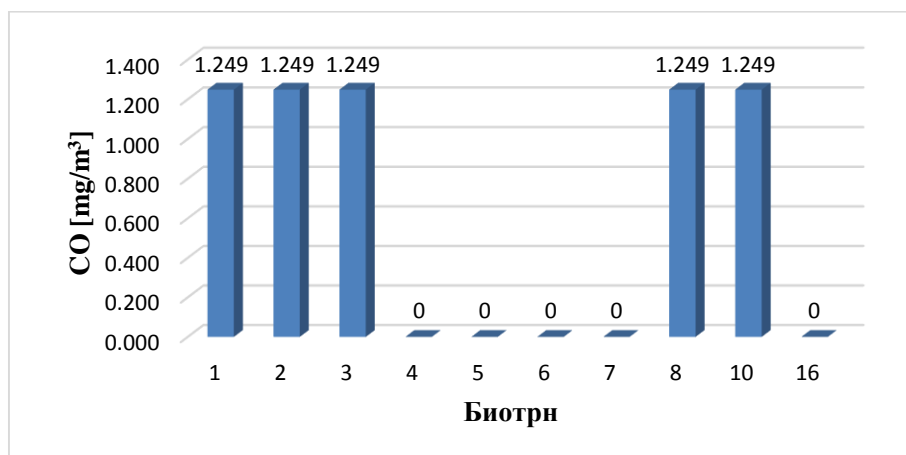
На основу обављених мерења у циљу праћења параметара депонијског подземног пожара може се закључити да нема подземног пожара. На свих 10 биотрнова на којима су извршена мерења није пронађена потврда свих индикатора о настанку пожара. Индикатори праћења температуре и концентрације угљен-моноксида били су у границама нормале што није својствено процесу сагоревања, а непостојање индикатора појаве дима, мириса, пукотина и улегнућа са тела депоније само су потврдили да не постоји подземни пожар. Индикатори праћења концентрације кисеоника, метана и угљен-диоксида су показали да на несанитарној депонији "Мунтина падина" постоји могућност од настанка подземног пожара.

#### **4.2.2.2 Праћење индикатора загађења ваздуха**

Неке од компонента депонијског гаса су и угљен-моноксид, азотни оксиди и сумпор-диоксиди који се према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ниво загађености ваздуха прате [85]. Резултати мерења концентрација ових загађујућих материја упоређене су са прописаним граничним, толерантним и циљним вредностима нивоа загађујућих материја у ваздуху у циљу утврђивања нивоа загађености ваздуха (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)). На слици 4.34 приказане су измерене вредности концентрације угљен-моноксида.

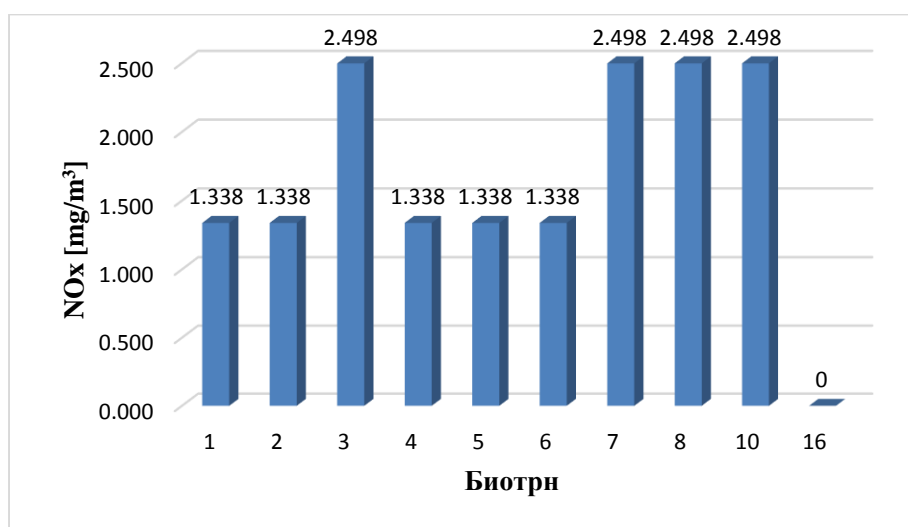
На биотрновима бр. 1, 2, 3, 8 и 10 измерене вредности концентрације угљен-моноксида су  $1,249 \text{ mg/m}^3$  док на осталим биотрновима нису забележене концентрације угљен-моноксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха гранична вредност концентрације за угљен-моноксид за период од 8 h износи  $10 \text{ mg/m}^3$  док је толерантна вредност концентрације  $16 \text{ mg/m}^3$  (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и

63/2013)). Можемо закључити да на биотрновима није дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације угљен-моноксида.



Слика 4.34 - Измерене вредности концентрације угљен-моноксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Измерене концентрације азотних оксида приказане су на слици 4.35.

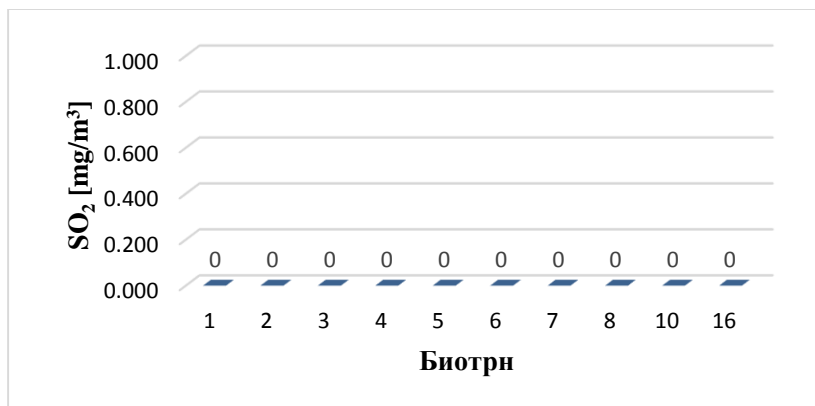


Слика 4.35 - Измерене вредности концентрације азотних оксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Измерене вредности концентрације азотних оксида су у интервалу од  $2,498 \text{ mg/m}^3$  на биотрну бр. 3, 7, 8 и 10 до  $1,338 \text{ mg/m}^3$  измерене на биотрновима бр.1, 2, 4, 5 и 6. На биотрну бр.16 није забележена концентрације азотних оксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха гранична вредност концентрације за азотних оксида за период од 1 h износи  $0,15 \text{ mg/m}^3$  док је толерантна вредност концентрације  $0,225 \text{ mg/m}^3$  (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)). Можемо

закључити да је на 11 од 12 биотрнова дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације азотних оксида.

Ни на једном од 10 биотрнова нису забележене концентрације сумпор-диоксида што је приказано на слици 4.36.



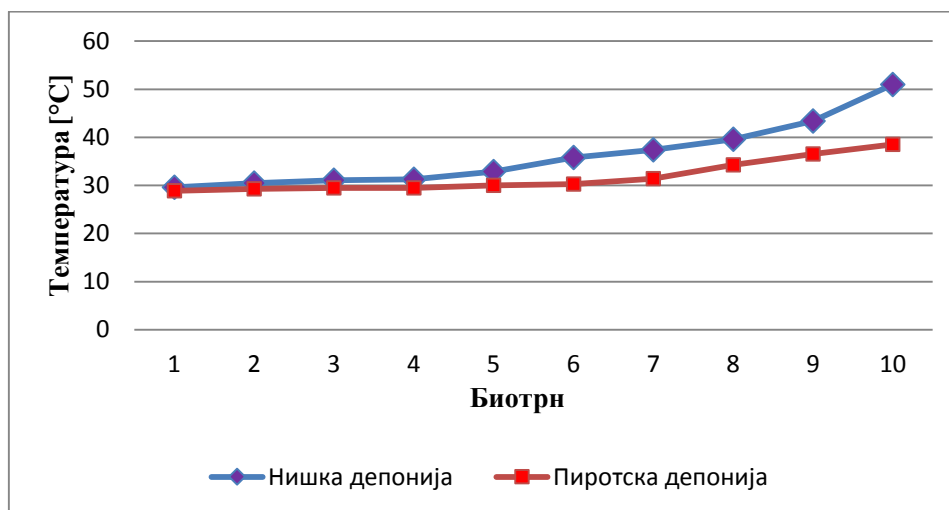
Слика 4.36 - Измерене вредности концентрације сумпор-диоксида на биотрновима на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

### 4.3 Упоредни резултати мерења несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу и регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

Пре сагледавања и упоређивања резултата добијених мерењем температуре и концентрација компонената депонијског гаса, са аспекта ризика од настанка пожара као и утицаја на загађење ваздуха, треба имати на уму да су мерења вршена на депонијама које имају различите карактеристике:

- две различите депоније- несанита и санитарна;
- старост депонија је различита;
- капацитет депоније није исти;
- процентуални морфолошки састав отпада је различит;
- количина отпада није иста;
- физичко-хемијски и биолошки процеси у телу депоније нису исти;
- систем за дегазацију депонијског гаса није исто инсталиран и одржаван;
- број инсталираних биотрнова није исти;
- висина биотрнова није иста.

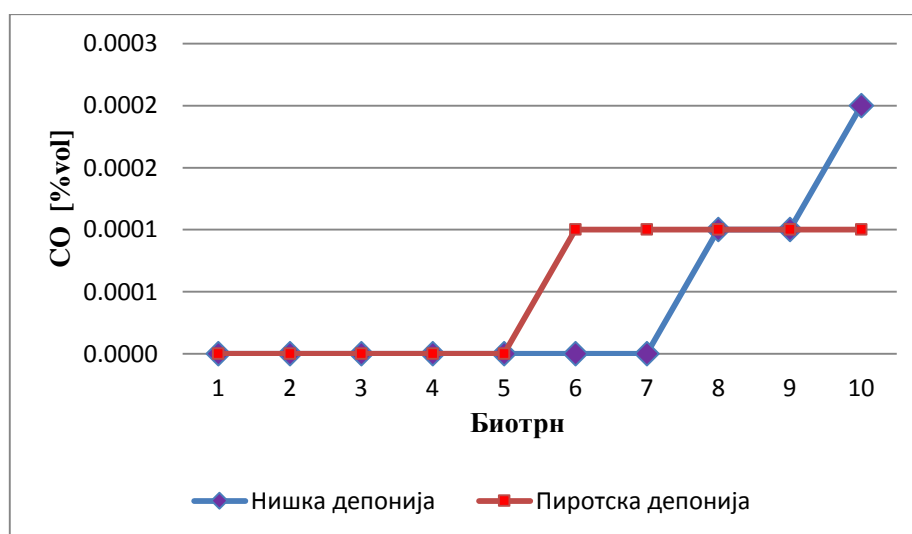
На слици 4.37 приказан је упоредни приказ измерених температура депонијског гаса на нишкој и пиротској депонији.



Слика 4.37 - Упоредни приказ измерених вредности температуре са нишке и пиротске депоније

Са слике 4.37 се види да је измерена температура депонијског гаса на нишкој депонији на свим биотрновима већа од температуре депонијског гаса на пиротској депонији. Температурни опсег на нишкој депонији креће се у интервалу од 29,6°C до 51°C док је на пиротској депонији температура у интервалу од 28,9°C до 38,5°C. Температуре и једне и друге депоније су у нормалном рангу, тако да овај индикатор не указује на настанак пожара.

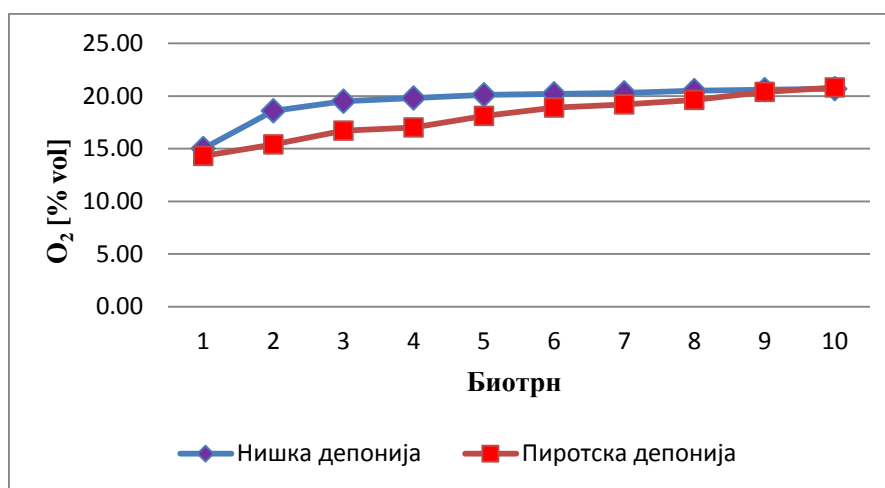
Упоредни приказ измерених концентрација угљен-моноксида са нишке и пиротске депоније приказан је на слици 4.38.



Слика 4.38 - Упоредни приказ измерених вредности концентрације угљен-моноксида са нишке и пиротске депоније

Са слике 4.38 се види да су измерене вредности концентрација угљен-моноксида присутне на 5 биотрнова на нишкој депонији док је тај број на пиротској депонији 3. Измерене вредности концентрације угљен-моноксида на нишкој депонији крећу се у интервалу од 0,0001 %<sub>vol</sub> до 0,0002 %<sub>vol</sub> док је на пиротској депонији измерена концентрација од 0,0001 %<sub>vol</sub>. Ове измерене вредности концентрације су у нормалним границама тако да овај индикатор не указују на настанак пожара.

На слици 4.39 приказане су измерене вредности концентрације кисеоника са нишке и пиротске депоније.



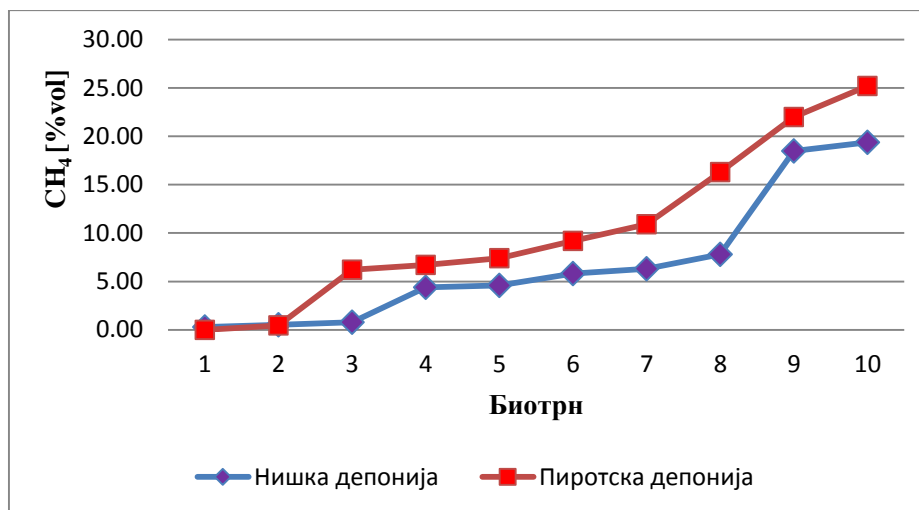
Слика 4.39 - Упоредни приказ измерених вредности концентрације кисеоника са нишке и пиротске депоније

Како је нишка депонија несанитарна концентрације кисеоника су веће него на пиротској депонији што се види са слике 4.39, али су на обе депоније присутна веће концентрације кисеоника од дозвољених. На нишкој депонији измерене вредности концентрације кисеоника су у интервалу од 15 %<sub>vol</sub> до 20,68 %<sub>vol</sub> док је на пиротској депонији измерена вредност концентрације кисеоника од 14,3 %<sub>vol</sub> до 20,8 %<sub>vol</sub>. Овај индикатор пожара указује да постоји вероватноћа од настанака пожара.

На слици 4.40 приказане су измерене концентрације метана на нишкој и пиротској депонији.

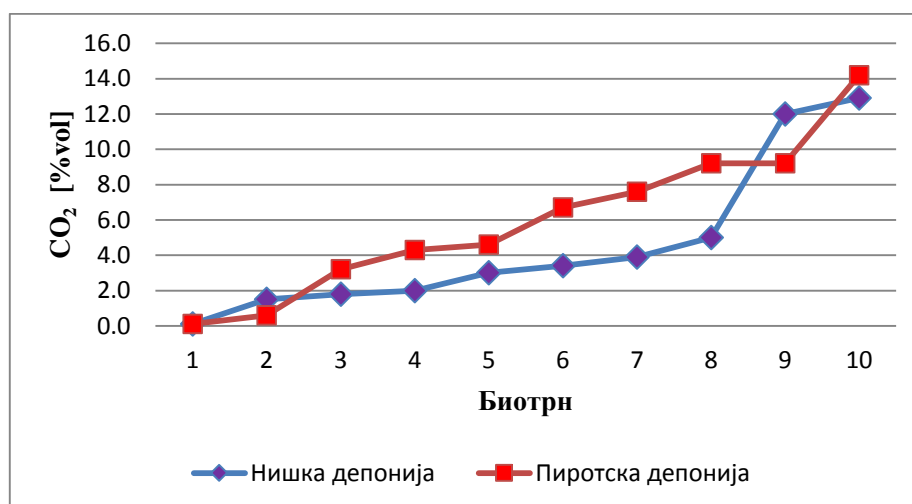
Измерене концентрације метана су веће на пиротској депонији него на нишкој депонији што може да се објасни старошћу депоније. Измерене вредности концентрације метана су у интервалу од 0,28 %<sub>vol</sub> до 19,4 %<sub>vol</sub> на нишкој депонији а на пиротској депонији интервал измерене концентрације метана је од 0,44 %<sub>vol</sub> до 25,2 %<sub>vol</sub>. На четири биотрна на пиротској депонији метан се налази у интервалу запаљивости/експлозивности док је на нишкој депонији тај број три. Овај индикатор указује на могућност настанка пожара.





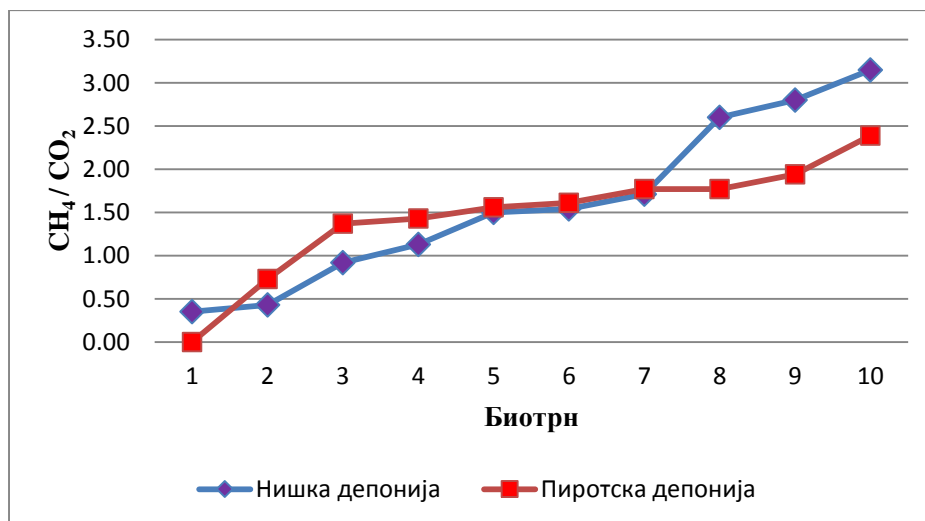
Слика 4.40 - Упоредни приказ измерених вредности концентрације метана са нишке и пиротске депоније

На слици 4.41 приказане су измерене вредности концентрација угљен-диоксида на нишкој и пиротској депонији.



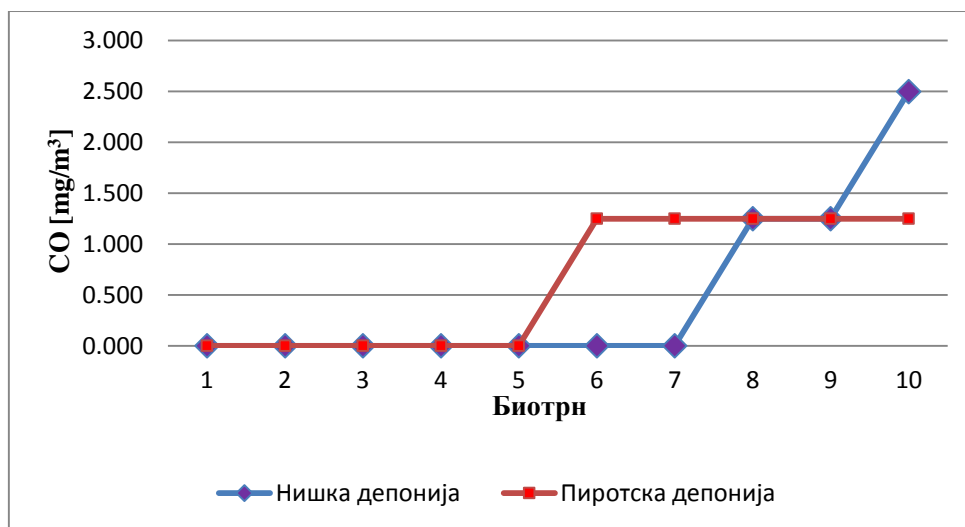
Слика 4.41 - Упоредни приказ измерених вредности концентрације угљен-диоксида са нишке и пиротске депоније

Измерене концентрације угљен-диоксида су веће на пиротској депонији и налазе се у интервалу од 0,1 %<sub>vol</sub> до 14,2 %<sub>vol</sub> док су на нишкој депонији измерене вредности концентрације од 0,1 %<sub>vol</sub> до 12,9 %<sub>vol</sub>. Што се тиче односа измерених концентрација метана и угљен-диоксида, њихове вредности приказане су на слици 4.42. Са слике се види да вредност мању од 1 имају два биотрна на пиротској и три биотрна на нишкој депонији. Овај параметар пожара указује да је већа могућност настанка пожара на нишкој депонији.



Слика 4.42 - Упоредни приказ односа концентрације метана и угљен-диоксида са нишке и пиротске депоније

Са аспекта загађења ваздуха сагледане су измерене вредности концентрација угљен-диоксида, азотних оксида и сумпор-диоксида. На слици 4.42 приказане су измерене вредности концентрација угљен-монооксида на нишкој и пиротској депонији.

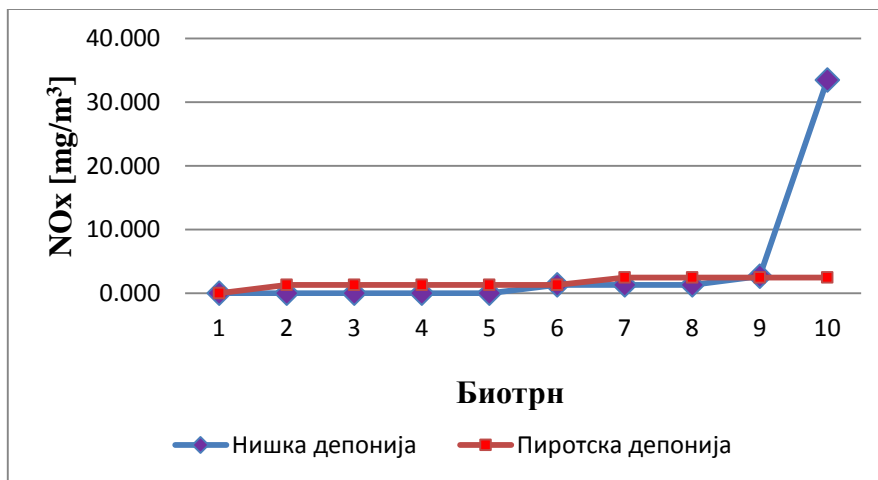


Слика 4.43 - Упоредни приказ измерених вредности концентрација угљен-монооксида са нишке и пиротске депоније

На пиротској депонији измерена вредност концентрације угљен-монооксида износила је 1,249 mg/m<sup>3</sup> док је на нишкој депонији измерена концентрација у интервалу од 1,249 mg/m<sup>3</sup> до 2,498 mg/m<sup>3</sup>. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха није дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације угљен-монооксида ни на једној депонији (Уредба о условима за

мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)).

На слици 4.44 приказане су измерене вредности концентрација азотних оксида на нишкој и пиротској депонији.

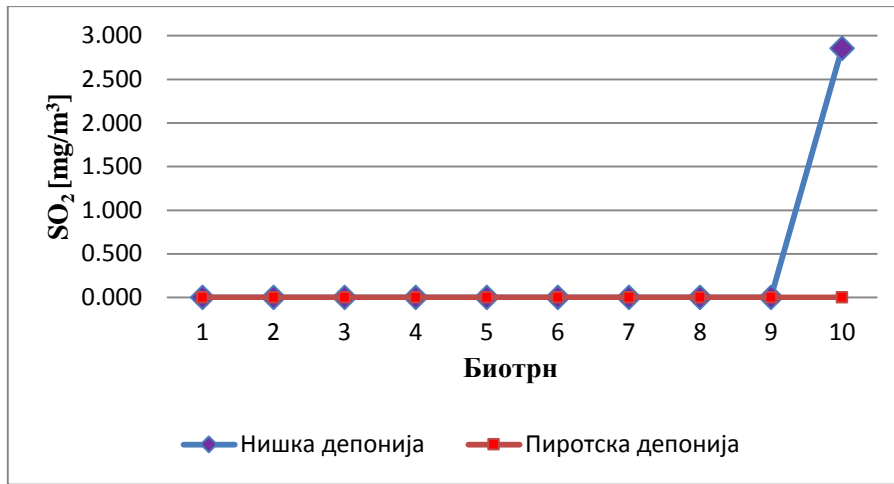


Слика 4.44 - Упоредни приказ измерених вредности концентрација азотних оксида са нишке и пиротске депоније

Измерене вредности концентрације азотних оксида на пиротској депонији су у интервалу од 1,338 mg/m<sup>3</sup> до 2,498 mg/m<sup>3</sup>. На нишкој депонији измерене вредности концентрација азотних оксида су у интервалу од 1,338 mg/m<sup>3</sup> до 33,461 mg/m<sup>3</sup>. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха на обе депоније дошло је до прекорачења граничних и толерантних вредности концентрације азотних оксида (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)).

На слици 4.45 приказане су измерене вредности концентрација сумпор-диоксида на нишкој и пиротској депонији.

На нишкој депонији на једном биотрну измерена је концентрација сумпор-диоксида од 2,498 mg/m<sup>3</sup> док на пиротској депоније нису измерене концентрације сумпор-диоксида. Према уредби о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха само на једном биотрну дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације сумпор-диоксида (Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ("Сл. гласник РС" број 11/2010, 75/2010 и 63/2013)).



Слика 4.45 - Упоредни приказ измерених вредности концентрација сумпор-диоксида са нишке и пиротске депоније

# **5. ПРОЦЕНА КОЛИЧИНЕ МЕТАНА НА САНИТАРНИМ ДЕПОНИЈАМА**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

Математички модели који се користе за предикцију емисије метана на депонијама, имају за циљ да комплексне промене које се дешавају на депонијама приликом разлагања отпада, прикажу једноставно, брзо и да добијени резултати буду репрезентативни. Генерисање метана на депонијама се обично моделира коришћењем кинетичке једначине првог реда на основу података о количини отпада који се депонује током времена, саставу отпада, временском периоду депоновања отпада и других релевантних фактора утицаја формирања депонијског гаса. Ови модели могу да се примењују за предикцију генерисања метана и на санитарним депонијама. У зависности од математичких модела за њихово решавање узима се количина и врста депонованог отпада, време депоновања отпада, споро и брзо разграђујуће фракције у депонованом отпаду, процентуална заступљеност фракција у отпаду, количина органског угљеника у отпаду, и др. Код неких модела узима се у обзир и врста система за дегазацију депонијског гаса.

## 5.1 Математички модели за прорачун емисије метана

Постоји већи број математичких модела, као што су: SWANA, TNO, Aflalzorg, LandGem, GasSim и EPER. Ови модели пружају могућност прорачуна максималне емисије метана током експлоатације санитарне депоније, а неки могу да прикажу емисију метана и након затварања и рекултивације депоније.

### 5.1.1 SWANA модел

Према Моделу SWANA (*The Solid Waste Association of North America*) предпоставља се да је стварање депонијског гаса током времена константно, да на његово стварање утиче врста депонованог отпада али не и његова старост. Продукција метана према првом моделу SWANA, може да се израчуна према једначини [8]:

$$G = \frac{WL_0}{(t_1 - t_f)} \quad t_1 < t < t_f \quad (5.1)$$

Где је:

$G$  - запреминска емисија метана у јединици времена (запремински проток)

$[\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{god}]$ ,

$W$  - маса отпада [t],

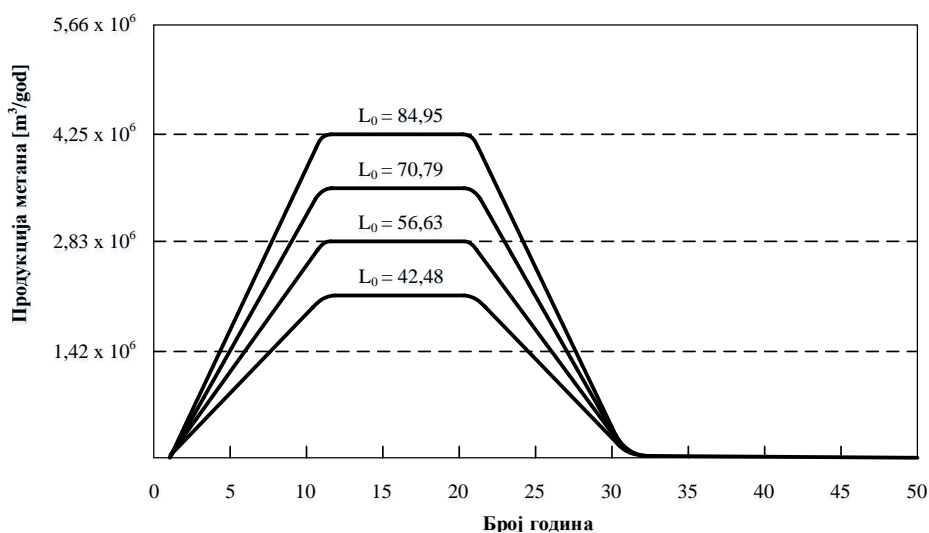
$L_0$  - потенцијал запреминске емисије метана у односу на масену количину отпада [ $\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{otpada}}$ ],

$t_1$  - време од одлагања отпада до почетка продукције метана [god],

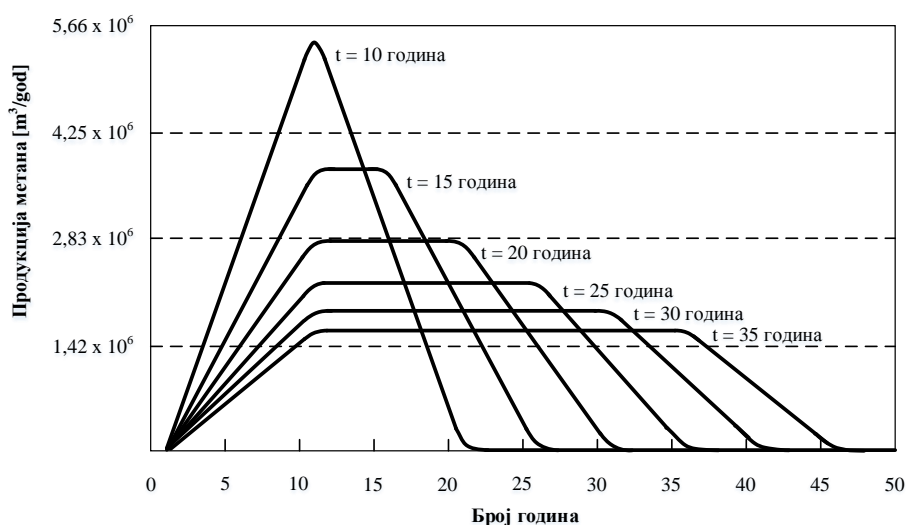
$t_f$  - време завршетка продукције метана [god],

$t$  - време након одлагања отпада [god].

На слици 5.1 приказане су вредности потенцијала запреминске емисије метана у односу на масену количину отпада, а на слици 5.2 приказан је временски период одложеног отпада. Може се закључити да повећање вредности потенцијала запреминске емисије метана утиче на повећање продукције метана са депоније док повећање времена одложеног отпада утиче на смањење продукције метана.



Слика 5.1 - Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за први модел SWANA [8]



Слика 5.2 - Време одложеног отпада у односу на продукцију метана у зависности од старости депоније за први модел SWANA [8]

За прорачун продукције метана по другом моделу SWANA у обзир се узима и сатрост депонованог отпада. За сваку јединицу количине отпада, брзина продукције метана опада експоненцијално. Продукција метана према другом моделу SWANA, може да се израчуна према једначини 5.2:

$$G = WL_0ke^{-k(t-t_1)} \quad (5.2)$$

Где је:

$G$  - запреминска емисија метана у јединици времена (запремински проток)

$[m^3_{CH_4}/god]$ ,

$W$  - маса отпада  $[t]$ ,

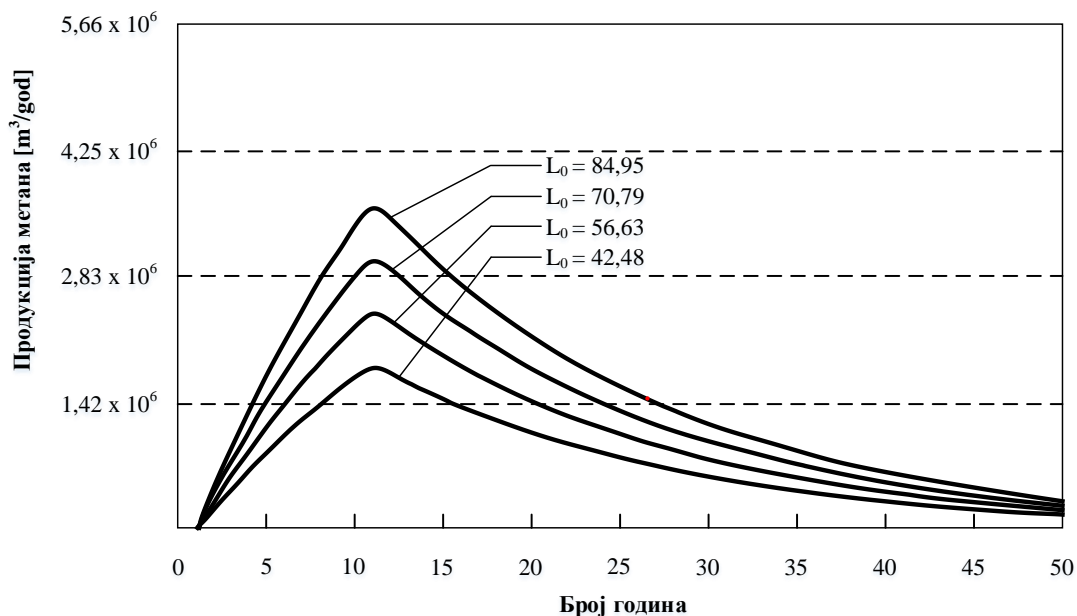
$L_0$  - потенцијал запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада  $[m^3_{CH_4}/t_{otpada}]$ ,

$t_1$  - време од одлагања отпада до почетка продукције метана  $[god]$ ,

$t$  - време након одлагања отпада  $[god]$ ,

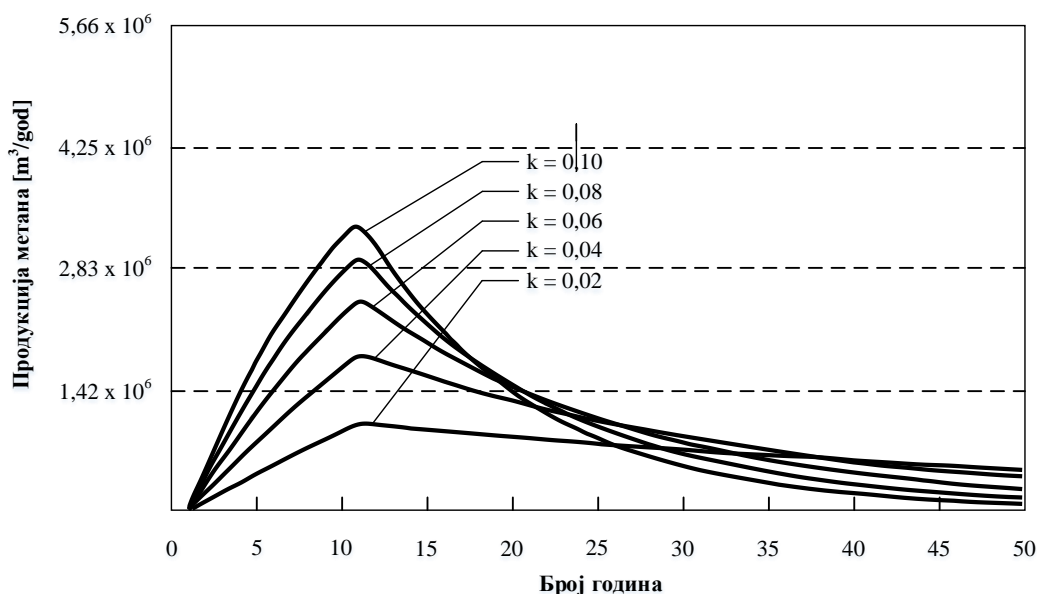
$k$  - константа брзине распадања  $[god^{-1}]$ .

На слици 5.3 приказане су вредности потенцијала запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада а на слици 5.4 приказане су вредности за константу брзине распадања.



Слика 5.3 - Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за други модел SWANA [8]





Слика 5.4 - Вредности константе брзине распадања за други модел SWANA [8]

Трећи модел SWANA који је настао модификацијом другог модела узима у обзир и брзине распадања депонованог отпада и може се представити следећом једначиним:

$$G = WL_0 \frac{k + s}{s} (1 - e^{-s(t-t_1)}) (ke^{-k(t-t_1)}) \quad (5.3)$$

Где је:

$G$  - запреминска емисија метана у јединици времена (запремински проток)  $[m^3_{CH_4}/god]$ ,

$W$  - маса отпада  $[t]$ ,

$L_0$  - потенцијал запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада  $[m^3_{CH_4}/t_{otpada}]$ ,

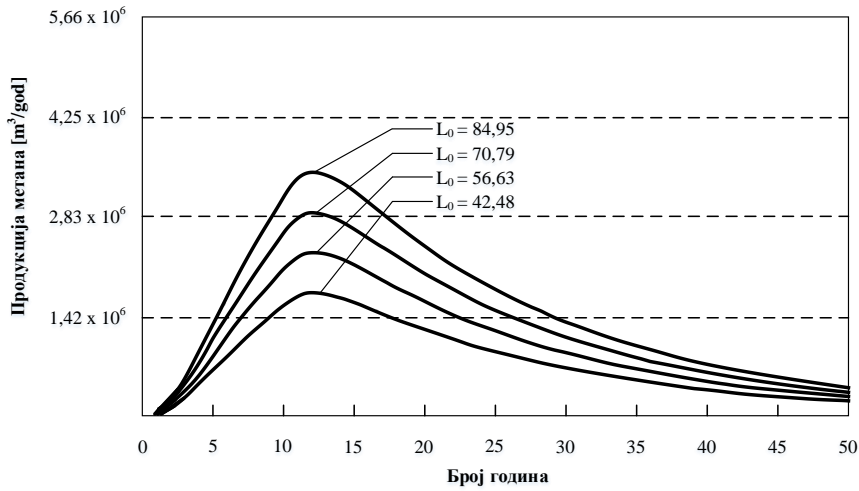
$t_1$  - време од одлагања отпада до почетка продукције метана  $[god]$ ,

$t$  - време након одлагања отпада  $[god]$ ,

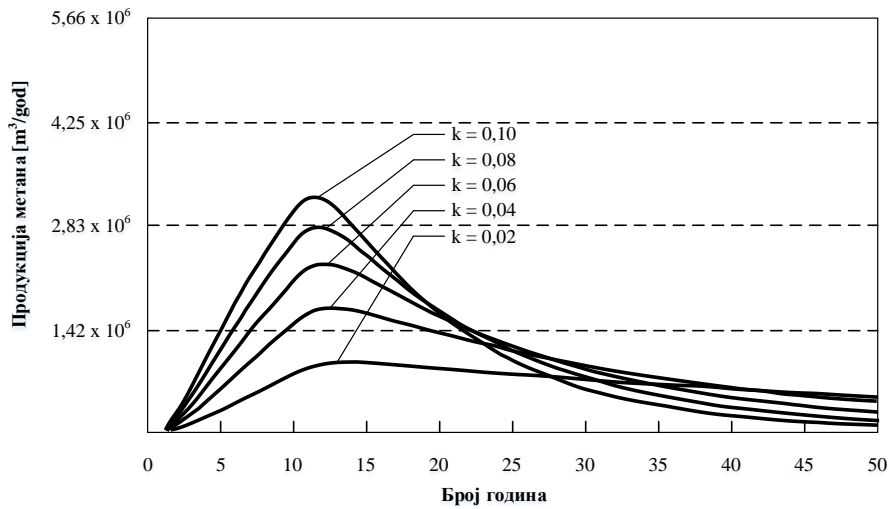
$k$  - константа брзине распадања  $[god^{-1}]$ ,

$s$  - константа брзине фазног распадања  $[god^{-1}]$ .

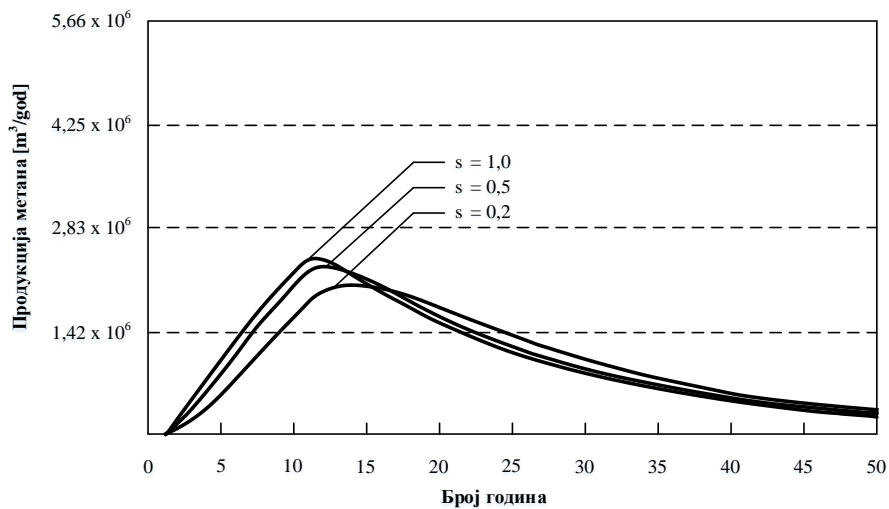
На слици 5.5 приказане су вредности потенцијала запреминске емисије метана, на слици 5.6 приказане су вредности за константу брзине распадања док су на слици 5.7 приказане вредности константе брзине фазног распадања.



Слика 5.5 - Вредности потенцијала запреминске емисије метана у зависности од старости депоније за трећи модел SWANA [8]



Слика 5.6 - Вредности константе брзине распадања за трећи модел SWANA [8]



Слика 5.7 - Вредности константе брзине фазног распадања за трећи модел SWANA [8]

Четврти модел SWANA се базира на процентуалној заступљености фракција у депонованом отпаду. Овај више-фазни модел првог реда приказан је следећом једначином:

$$G = WL_0 \left[ F_r \left( k_r e^{-k_r(t-t_1)} \right) + F_s \left( k_s e^{-k_s(t-t_1)} \right) \right] \quad (5.6)$$

Где је:

$G$  - запреминска емисија метана у јединици времена (запремински проток)  $[\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{god}]$ ,

$W$  - маса отпада  $[\text{t}]$ ,

$L_0$  - потенцијал запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада  $[\text{m}^3_{\text{CH}_4}/\text{t}_{\text{otpada}}]$ ,

$t_1$  - време од одлагања отпада до почетка продукције метана  $[\text{god}]$ ,

$t$  - време након одлагања отпада  $[\text{god}]$ ,

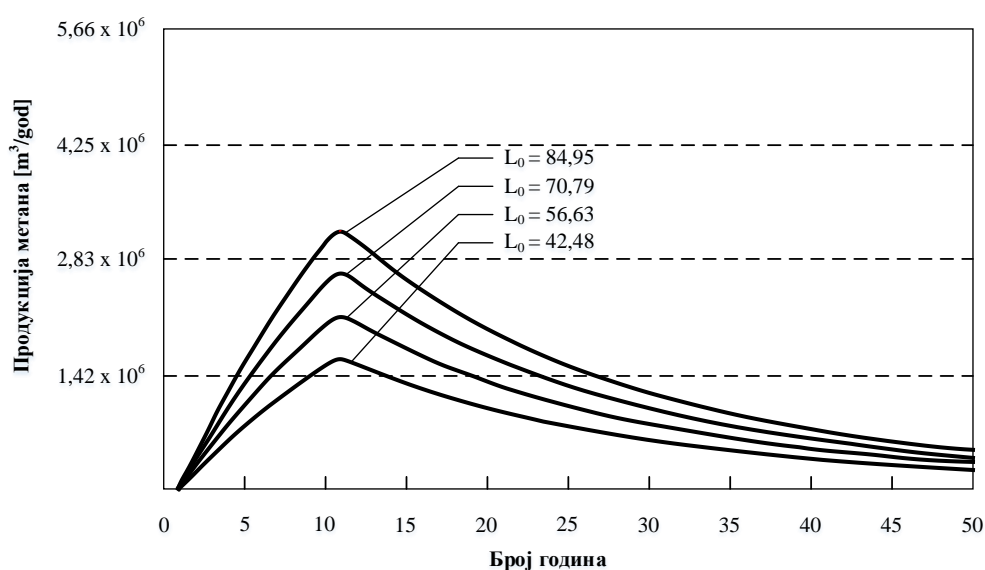
$k_r$  - константа брзине распадања за отпад који се брзо разлаже  $[\text{god}^{-1}]$ ,

$k_s$  - константа брзине распадања за отпад који се споро разлаже  $[\text{god}^{-1}]$ ,

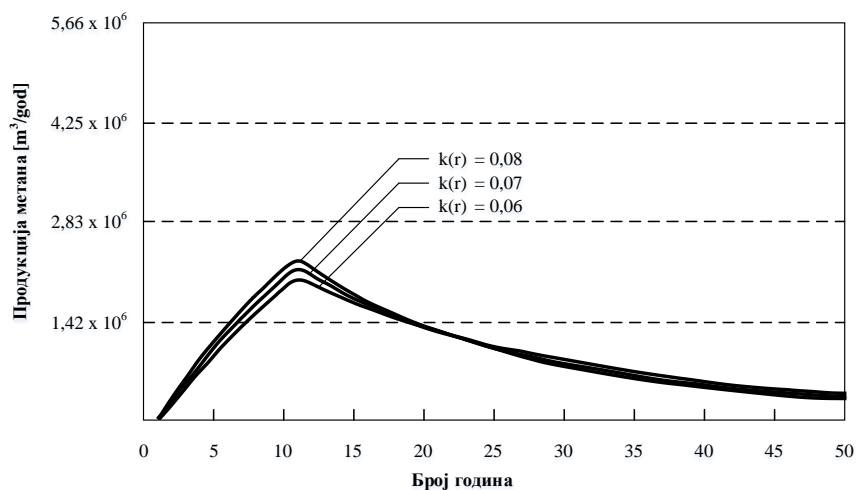
$F_r$  - фракција отпада која се брзо разлаже  $[\%]$ ,

$F_s$  - фракција отпада која се споро разлаже  $[\%]$ .

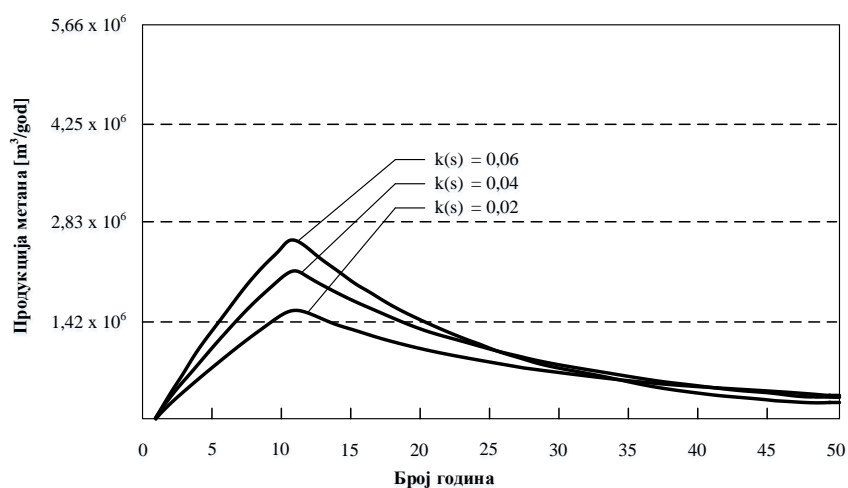
На слици 5.8 приказане су вредности потенцијала запреминске емисије метана у односу на масену количину отпада, на слици 5.9 приказане су вредности за константу брзине распадања за отпад који се брзо разлаже.



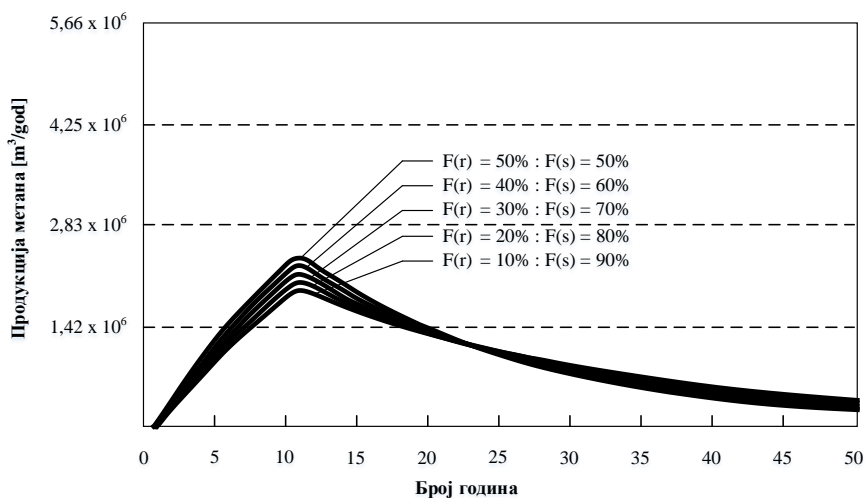
Слика 5.8 - Вредности потенцијала запреминске емисије метана за четврти модел SWANA [8]



Слика 5.9 - Вредности константе брзине распадања за отпад који се брзо разлаже за четврти модел SWANA [8]



Слика 5.10 - Вредности константе брзине распадања за отпад који се споро разлаже за четврти модел SWANA [8]



Слика 5.11 - Процентуална заступљеност фракција у отпаду које се брзо и споро разлажу за четврти модел SWANA [8]

На слици 5.10 приказане вредности за константу брзине распадања за отпад који се споро разлаже, а на слици 5.11 приказане су процентуалне заступљености фракција у отпаду које се брзо и споро разлажу.

### 5.1.2 Модел TNO

Модел TNO (*The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research*) је базиран на количини разградивог органског угљеника у депонованом отпаду и на количини отпада. Стварање депонијског гаса опада експоненцијално са временом. Производња депонијског гаса може се представити следећом једначином [58]:

$$\alpha_t = \zeta 1,87 A C_0 k e^{-kt} \quad (5.7)$$

Где је:

$\alpha_t$  - запреминска емисија депонијског гаса за временски период  $t$  [ $m^3_{dg}/god$ ],

$\zeta$  - фактор распадања [-],

1,87- фактор конверзије [ $m^3_{dg}/kg_{Craspad}$ ],

$A$ - количина отпада на једном месту [t],

$C_0$ - количина органског угљеника у отпаду [ $kg_C / t_{otpada}$ ],

$k$  - константа брзине распадања [ $god^{-1}$ ],

$t$  - протекло време одлагања отпада [god].

Вредност фактора распадања  $\zeta$  је 0,58, вредност константе брзине распадања  $k$  је  $0,094 god^{-1}$ , док се за количину органског угљеника  $C_0$  вредности узимају из табеле 5.1.

**Табела 5.1 - Вредности садржаја органског угљеника за TNO модел [71]**

Категорија отпада	Количина органског угљеника у отпаду [ $kg_C / t_{otpada}$ ]
Грађевински отпад	11
Отпад од чишћења улица	90
Отпади из погона за третман отпадних вода	90
Комерцијални отпад	111
Уситњен отпад	130
Кабаст отпад из домаћинства	130
Отпад из домаћинства	130

Да би се боље предвидела процена емисија депонијског гаса потребно је користити отпад истог морфолошког састава. Запреминска емисија метана на депонији

добија се множењем вредности произведеног депонијског гаса са концентрацијом метана од 50 %<sub>vol</sub> и запреминском масом метана од 714 g<sub>CH<sub>4</sub></sub>/m<sup>3</sup>.

### 5.1.3 Више-фазни модел - Afvalzorg model

Отпад садржи различите компоненте органског отпада чије се брзине распадања разликују. Производња депонијског гаса према Afvalzorg моделу може се представити следећом једначином [93]:

$$\alpha_t = \zeta \sum_{i=1}^3 c A C_{OM,i} k_i e^{-k_i t} \quad (5.8)$$

Где је:

$\alpha_t$  - запреминска емисија депонијског гаса за временски период  $t$  [m<sup>3</sup><sub>dg</sub>/god],

$\zeta$  - фактор распадања [-],

$c$  - фактор конверзије [m<sup>3</sup><sub>dg</sub>/kg<sub>OMdeg</sub>],

$A$  - маса отпада на једном месту [t],

$C_{OM}$  - масена концентрација органских материја у отпаду [kg<sub>OM</sub>/ t<sub>отпада</sub>],

$k_i$  ( $i=1,2,3$ ) - константа брзине распадања  $i$  - те фракције [god<sup>-1</sup>],

$t$  - протекло време одлагања отпада [god].

Вредности за масену концентрацију органских материја у отпаду  $C_{OM}$  узимају се из табеле 5.2, а вредности за фактор распадања  $\zeta$  и константу брзине распадања  $i$ -те фракције  $k_i$  из табеле 5.3 [71].

Минимална вредност фактора конверзије  $c$  износи 0,7 m<sup>3</sup><sub>dg</sub>/kg<sub>OMdeg</sub> док је максимална вредност 0,74 m<sup>3</sup><sub>dg</sub>/kg<sub>OMdeg</sub>.

**Табела 5.2 - Вредности масене концентрације органских материја за Afvalzorg модел [75]**

Категорија отпада	Минимална количина органских материја [kg <sub>OM</sub> / t <sub>отпада</sub> ]				Максимална количина органских материја [kg <sub>OM</sub> / t <sub>отпада</sub> ]			
	Брзо	Умерено	Споро	Укупно	Брзо	Умерено	Споро	Укупно
Грађевински отпад	0	6	12	44	0	8	16	46
Уситњен отпад	0	6	18	60	0	11	25	70
Отпад од чишћења улица	9	18	27	90	12	22	40	100
Отпади из погона за третман отпадних вода	8	38	45	150	11	45	48	160
Кабаст отпад из домаћинства	13	39	104	260	19	49	108	270
Комерцијални отпад	13	52	104	260	19	54	108	270
Отпад из домаћинства	60	75	45	300	70	90	48	320

Табела 5.3 - Вредности фактора распадања и константе брзине распадања  $i$ -те фракције за Afvalzorg модел [71]

Депонија	Фактор распадања $\zeta$	Велика брзина распадања $k_1$	Умерена брзина распадања $k_2$	Спора брзина распадања $k_3$
Naurena	0,7	0,187	0,099	0,030
Braambergen	0,8	0,231	0,116	0,030
Wieringermeer	0,7	0,187	0,099	0,030

Запреминска емисија метана на депонији добија се множењем вредности произведеног депонијског гаса са концентрацијом метана од 50 %<sub>vol</sub> и запреминском масом метана од 714 g<sub>CH<sub>4</sub></sub>/m<sup>3</sup>.

### 5.1.4 LandGem EPA модел

EPA модел базира се на LandGem (*Landfill Gas Emissions Model*) моделу по коме се прорачунава количина продукованог метана на депонији на основу пројектованог капацитета депоније, потенцијала продукције метана, количине депонованог комуналног отпада и старост депоније [33]. Производња депонијског гаса може се представити следећом једначином:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n k_{CH_4} L_0 M_i e^{-kt} \quad (5.9)$$

Где је:

$Q_{CH_4}$  - запреминска емисије метана по години [m<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>/god],

$k_{CH_4}$  - константа стварања метана (AP42 default=0,04) [god<sup>-1</sup>],

$L_0$  - потенцијал запреминске емисија метана у односу на масену количину отпада (AP42 default=100) [m<sup>3</sup><sub>CH<sub>4</sub></sub>/t<sub>отпада</sub>],

$M_i$  - маса отпада  $i$ -тог дела [t],

$t_i$  - старост отпада  $i$ -тог дела [god<sup>-1</sup>].

За коришћење овог модела урађен је софтвер који има могућности да прорачунате запреминске емисије депонијског гаса, метана, угљен-диоксида и неметанских органских једињења представи графички. Коришћењем LandGem модела могу да се процене запреминске емисије метана и осталих компонената депонијског гаса на годишњем нивоу, за целокупан период одлагања отпада на санитарној депонији, и процене запреминске емисије метана након затварања и рекултивације депоније.

### 5.1.5 GasSim модел

GasSim више-фазни модел (*Golder Associates and Environment Agency UK*) базиран је на количини и саставу депонованог отпада, који се састоји из више фракција које се различито разграђују током времена. Производња депонијског гаса може се представити следећом једначином [72]:

$$\alpha_t = \zeta c \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_j k_i C_{OM,i,j} e^{-k_i(t-j)} \quad (5.10)$$

Где је:

$\alpha_t$  - запреминска емисија депонијског гаса за временски период  $t$  [ $m^3_{dg}/god$ ],

$\zeta$  - фактор распадања[-],

$c$  - фактор конверзије [ $m^3_{dg}/kg_{OMdeg}$ ],

$m$  - број година депоновања отпада [-],

$n$  - број фракција [-],

$A_j$  ( $j=1,2,..m$ ) - количина отпада у  $j$ -тој години [t],

$C_{OM,i,j}$  - масена концентрација органских материја у  $i$ -тој фракцији која се депонује у  $j$ -тој години [ $kg_{OM}/t_{otpada}$ ],

$k_i$  ( $i=1,2,..n$ ) - константа брзина распадања  $i$ -те фракције [ $god^{-1}$ ],

$t$  - протекло време одлагања отпада [god].

**Табела 5.4 - Категорије отпада и масена концентрација органског угљеника за GasSim модел [20]**

Врста отпада	Масена концентрација органског угљеника [ $kgC/t_{otpada}$ ]
Отпад из домаћинства	118
Отпад из дворишта	71
Комерцијални отпад	182
Индустријски отпад	0
Инертни отпад	0
Течни инертни отпад	0
Муљ	36
Компостирајићи органски отпад	51
Пепео	4
Отпад за рециклажу	0
Рециклирани отпад	0
Хемијски муљ	0
Индустријски течни отпад	0



У табели 5.4 дате су категорије отпада и масена концентрација органског угљеника  $C_{OM,ij}$  за одређену врсту отпада. Вредности константе брзине распадања за одређене фракције  $k_i$  у депонованом отпаду приказане су у табели 5.5.

Табела 5.5 - Вредности константе брзине распадања  $i$ -те фракције за GasSim модел [71]

Брзина распадања	Константе брзине распадања одређених фракција		
	Сува	Просечна	Влажна
Брза	0,076	0,116	0,694
Умерена	0,046	0,076	0,116
Спора	0,013	0,046	0,076

### 5.1.6 Француски EPER модел

Француски EPER (*The European Pollutants Emission Register*) модел је применљив код депонија које имају уграђен активан ситем за дегазацију депонијског гаса. Сакупљена запремина емитованог метана може се представити следећом једначином [7]:

$$A_{CH_4} = F_{dg} H [CH_4] \quad (5.11)$$

Где је:

$A_{CH_4}$  - сакупљена запремина емитованог метана у току године [ $m^3_{CH_4}/god$ ],

$F_{dg}$  - степен запреминске екстракције депонијског гаса [ $m^3_{dg}/h$ ],

$H$  - број сати рада компресора током године [ $h/god$ ],

$[CH_4]$  - запреминска концентрација метана у депонијском гасу [ $m^3_{CH_4}/m^3_{dg}$ ].

Запреминска емисија метана из ћелија депоније које су повезане активним системом за дегазацију израчунава се применом једначине:

$$P = \frac{A_{CH_4}}{\eta} \quad (5.12)$$

Где је:

$P$  - запреминска емисија метана по години [ $m^3_{CH_4}/god$ ],

$\eta$  - ефикасност екстракције [-].

Помоћу модела ADEME (*Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie*) може да се израчуна годишња производња метана [59]:

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 \sum_{i=1}^3 A_i p_i k_i e^{-k_i t} \quad (5.13)$$

Где је:

$FE_{CH_4}$  - годишња запреминска емисија метана [ $m^3_{CH_4}/god$ ],

$FE_0$  - потенцијал запреминске емисије метана у односу на масену количину отпада [ $m^3_{CH_4}/t_{otpada}$ ],

$p_i$  - фракције отпада са степеном деградације  $k_i$  [ $kg_i/kg_{otpada}$ ],

$k_i$  - константа брзине распадања  $i$ -те фракције [ $god^{-1}$ ],

$t$  - старост отпада [ $god$ ],

$A_i$  -фактор нормализације [-].

Укупна емисија метана може се израчунати применом једначине:

$$CH_4 \text{ emisija} = 0,9P(1-\eta) + 0,9FE_{CH_4} \quad (5.14)$$

Где је:

$\eta$  - ефикасност екстакције [-].

Према овом моделу отпад је сврстан у три групе које су приказане у табели 5.6. Вредност константе брзине распадања одређене фракције отпада  $k_i$  дате су у табели 5.7.

**Табела 5.6 - Вредност потенцијала запреминске емисије метана у зависности од врсте отпада и ADEME моделу [71]**

Врста отпада	Количина створеног метана [ $m^3_{CH_4}/t_{otpada}$ ]
Комунални отпад	100
Индустријски отпад	50
Инертни отпад	0

**Табела 5.7 - Вредности константе брзине распадања у зависности од процентуалне заступљености одређених фракција по ADEME моделу [71]**

Врста отпада	Фракција 1 $k=0,5$ [ $god^{-1}$ ] [%]	Фракција 2 $k=0,1$ [ $god^{-1}$ ] [%]	Фракција 3 $k=0,04$ [ $god^{-1}$ ] [%]	За остале фракције $k$ [ $god^{-1}$ ]
Комунални отпад	15	55	30	0,12
Индустријски отпад	15	55	30	0,12
Инертни отпад	0	0	0	0

### 5.1.7 Немачки EPER модел

Немачки EPER модел (*The European Pollutants Emission Register*) узима у обзир отпад из домаћинства и комерцијални депоновани отпад, и може се представити једначином [96]:

$$M_e = M \cdot BDC \cdot BDC_f \cdot F \cdot D_m \cdot C \quad (5.15)$$

Где је:

$M_e$  - масена емисија метана у току године [ $t_{CH_4}/god$ ],

$M$  - годишња маса депонованог отпада [ $t_{otpada}/god$ ],

$BDC$  - маса биоразградивог угљеника [ $tC/Mg_{otpada}$ ],

$BDC_f$  - биоразградиви створени угљеник 0,5 [-],

$F$  - фактор формираног угљеника у метану [ $t_{CH_4}/tC$ ],

$D_m$  - ефикасност сакупљања метана [-],

$C$  - концентрација метана 50 [%].

Вредност масе биоразградивог угљеника  $BDC$  је константа која има вредност 0,15  $tC/t_{otpada}$ , биоразградиви створени угљеник  $BDC_f$  има вредност 0,5, а фактор формираног угљеника у метану  $F$  је 1,33  $t_{CH_4}/tC$ . Вредност за ефикасност сакупљања гаса  $D_m$  може имати следеће вредности у случају када је: гас неприкупљен 0,9, када се сакупља активним системима за дегазацију депонијског гаса 0,4 и када постоји активни систем за дегазацију гаса, а отпад се свакодневно покрива инертним материјалом 0,1.

## 5.2 Процена количине депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Израчунавање емисије депонијских гасова реализовано је применом математичког модела, за процену емисије гасова на депонијама, LandGEM v.3.02, који је израдила Америчка агенција за заштиту животне средине. Model LandGEM v.3.02 [33] базиран је на једначини првог реда, помоћу које се израчунава запреминска емисија метана насталог разлагањем отпада. Емисија депонијског гаса као и његових компонената као што су метан, угљен-диоксид и неметанских органских једињења (NМОС) израчунари су према једначини (5.9).

Нишка несанитарна депонија је у експлоатацији од 1968. године а предвиђено је да буде у функцији до 2017. године. У прорачуну који се односи на продукцију метана несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу коришћени су подаци за број становника Републичког завода за статистику. На основу ових података, према попису из 1971. године живело 127.654 становника на територији града Ниша, а према последњем попису из 2011. године 260.237 становника [76]. Подаци који се односе на количине отпада, а који су коришћени за израчунавање продукције метана, преузети су из истраживања које је спровео Факултет техничких наука, Универзитета у Новом Саду.

У табели 5.8 дате су прерачунате масене и запреминске емисије депонијског гаса и метана са депоније "Бубањ" у Нишу, коришћењем LandGEM v.3.02, [33] у периоду од 1968. год. до 2108. год.

**Табела 5.8** - Масена и запреминска емисија депонијског гаса и метана са депоније "Бубањ" у Нишу по годинама

Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
1968	0	0	0	0
1969	3.444E+02	2.758E+05	9.199E+01	1.379E+05
1970	6.975E+02	5.585E+05	1.863E+02	2.793E+05
1971	1.059E+03	8.479E+05	2.828E+02	4.239E+05
1972	1.428E+03	1.144E+06	3.815E+02	5.718E+05
1973	1.779E+03	1.425E+06	4.753E+02	7.124E+05
1974	2.125E+03	1.701E+06	5.675E+02	8.506E+05
1975	2.464E+03	1.973E+06	6.582E+02	9.866E+05
1976	2.798E+03	2.241E+06	7.474E+02	1.120E+06
1977	3.127E+03	2.504E+06	8.353E+02	1.252E+06
1978	3.451E+03	2.763E+06	9.218E+02	1.382E+06
1979	3.770E+03	3.019E+06	1.007E+03	1.510E+06
1980	4.085E+03	3.271E+06	1.091E+03	1.636E+06
1981	4.396E+03	3.520E+06	1.174E+03	1.760E+06
1982	4.713E+03	3.774E+06	1.259E+03	1.887E+06
1983	5.016E+03	4.016E+06	1.340E+03	2.008E+06
1984	5.308E+03	4.250E+06	1.418E+03	2.125E+06
1985	5.590E+03	4.476E+06	1.493E+03	2.238E+06
1986	5.864E+03	4.695E+06	1.566E+03	2.348E+06
1987	6.128E+03	4.907E+06	1.637E+03	2.454E+06
1988	6.384E+03	5.112E+06	1.705E+03	2.556E+06
1989	6.633E+03	5.311E+06	1.772E+03	2.656E+06
1990	6.874E+03	5.504E+06	1.836E+03	2.752E+06
1991	7.108E+03	5.691E+06	1.899E+03	2.846E+06
1992	7.339E+03	5.877E+06	1.960E+03	2.938E+06
1993	7.560E+03	6.054E+06	2.019E+03	3.027E+06
1994	7.771E+03	6.223E+06	2.076E+03	3.112E+06
1995	7.973E+03	6.384E+06	2.130E+03	3.192E+06
1996	8.166E+03	6.539E+06	2.181E+03	3.269E+06

Наставак табеле 5.8

Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
1997	8.350E+03	6.686E+06	2.230E+03	3.343E+06
1998	8.525E+03	6.827E+06	2.277E+03	3.413E+06
1999	8.693E+03	6.961E+06	2.322E+03	3.481E+06
2000	8.854E+03	7.090E+06	2.365E+03	3.545E+06
2001	9.007E+03	7.213E+06	2.406E+03	3.606E+06
2002	9.154E+03	7.330E+06	2.445E+03	3.665E+06
2003	9.294E+03	7.443E+06	2.483E+03	3.721E+06
2004	9.458E+03	7.574E+06	2.526E+03	3.787E+06
2005	9.644E+03	7.722E+06	2.576E+03	3.861E+06
2006	9.851E+03	7.888E+06	2.631E+03	3.944E+06
2007	1.008E+04	8.070E+06	2.692E+03	4.035E+06
2008	1.032E+04	8.267E+06	2.758E+03	4.133E+06
2009	1.059E+04	8.478E+06	2.828E+03	4.239E+06
2010	1.087E+04	8.704E+06	2.903E+03	4.352E+06
2011	1.117E+04	8.942E+06	2.983E+03	4.471E+06
2012	1.148E+04	9.193E+06	3.067E+03	4.597E+06
2013	1.178E+04	9.436E+06	3.147E+03	4.718E+06
2014	1.208E+04	9.670E+06	3.226E+03	4.835E+06
2015	1.236E+04	9.896E+06	3.301E+03	4.948E+06
2016	1.263E+04	1.012E+07	3.374E+03	5.058E+06
2017	1.290E+04	1.033E+07	3.445E+03	5.164E+06
2018	1.315E+04	1.053E+07	3.514E+03	5.267E+06
2019	1.251E+04	1.002E+07	3.342E+03	5.010E+06
2020	1.190E+04	9.531E+06	3.179E+03	4.765E+06
2021	1.132E+04	9.066E+06	3.024E+03	4.533E+06
2022	1.077E+04	8.624E+06	2.877E+03	4.312E+06
2023	1.024E+04	8.203E+06	2.736E+03	4.102E+06
2024	9.745E+03	7.803E+06	2.603E+03	3.902E+06
2025	9.270E+03	7.423E+06	2.476E+03	3.711E+06
2026	8.818E+03	7.061E+06	2.355E+03	3.530E+06
2027	8.388E+03	6.716E+06	2.240E+03	3.358E+06
2028	7.979E+03	6.389E+06	2.131E+03	3.194E+06
2029	7.589E+03	6.077E+06	2.027E+03	3.039E+06
2030	7.219E+03	5.781E+06	1.928E+03	2.890E+06
2031	6.867E+03	5.499E+06	1.834E+03	2.749E+06
2032	6.532E+03	5.231E+06	1.745E+03	2.615E+06
2033	6.214E+03	4.976E+06	1.660E+03	2.488E+06
2034	5.911E+03	4.733E+06	1.579E+03	2.366E+06
2035	5.622E+03	4.502E+06	1.502E+03	2.251E+06
2036	5.348E+03	4.283E+06	1.429E+03	2.141E+06
2037	5.087E+03	4.074E+06	1.359E+03	2.037E+06
2038	4.839E+03	3.875E+06	1.293E+03	1.938E+06
2039	4.603E+03	3.686E+06	1.230E+03	1.843E+06
2040	4.379E+03	3.506E+06	1.170E+03	1.753E+06
2041	4.165E+03	3.335E+06	1.113E+03	1.668E+06
2042	3.962E+03	3.173E+06	1.058E+03	1.586E+06
2043	3.769E+03	3.018E+06	1.007E+03	1.509E+06
2044	3.585E+03	2.871E+06	9.576E+02	1.435E+06

Наставак табеле 5.8

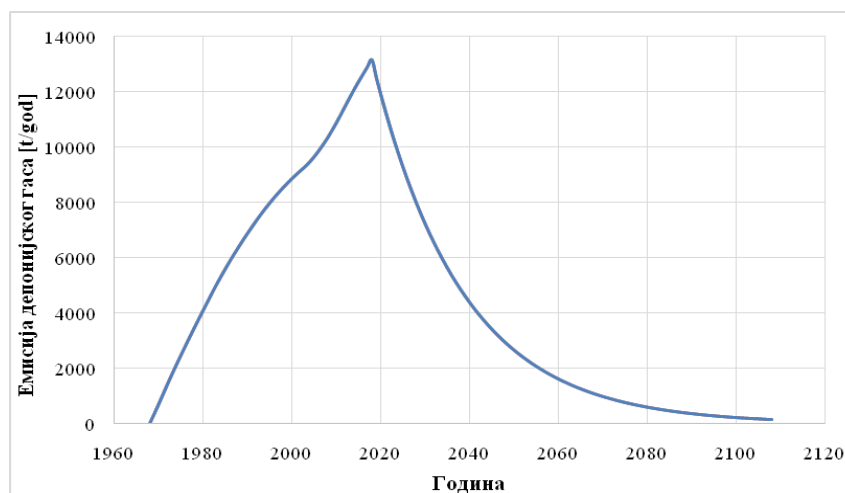
Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
2045	3.410E+03	2.731E+06	9.109E+02	1.365E+06
2046	3.244E+03	2.597E+06	8.665E+02	1.299E+06
2047	3.086E+03	2.471E+06	8.242E+02	1.235E+06
2048	2.935E+03	2.350E+06	7.840E+02	1.175E+06
2049	2.792E+03	2.236E+06	7.458E+02	1.118E+06
2050	2.656E+03	2.127E+06	7.094E+02	1.063E+06
2051	2.526E+03	2.023E+06	6.748E+02	1.011E+06
2052	2.403E+03	1.924E+06	6.419E+02	9.621E+05
2053	2.286E+03	1.830E+06	6.106E+02	9.152E+05
2054	2.174E+03	1.741E+06	5.808E+02	8.706E+05
2055	2.068E+03	1.656E+06	5.525E+02	8.281E+05
2056	1.967E+03	1.575E+06	5.255E+02	7.877E+05
2057	1.872E+03	1.499E+06	4.999E+02	7.493E+05
2058	1.780E+03	1.426E+06	4.755E+02	7.128E+05
2059	1.693E+03	1.356E+06	4.523E+02	6.780E+05
2060	1.611E+03	1.290E+06	4.303E+02	6.449E+05
2061	1.532E+03	1.227E+06	4.093E+02	6.135E+05
2062	1.458E+03	1.167E+06	3.893E+02	5.836E+05
2063	1.386E+03	1.110E+06	3.703E+02	5.551E+05
2064	1.319E+03	1.056E+06	3.523E+02	5.280E+05
2065	1.255E+03	1.005E+06	3.351E+02	5.023E+05
2066	1.193E+03	9.556E+05	3.188E+02	4.778E+05
2067	1.135E+03	9.090E+05	3.032E+02	4.545E+05
2068	1.080E+03	8.646E+05	2.884E+02	4.323E+05
2069	1.027E+03	8.225E+05	2.744E+02	4.112E+05
2070	9.770E+02	7.824E+05	2.610E+02	3.912E+05
2071	9.294E+02	7.442E+05	2.482E+02	3.721E+05
2072	8.840E+02	7.079E+05	2.361E+02	3.540E+05
2073	8.409E+02	6.734E+05	2.246E+02	3.367E+05
2074	7.999E+02	6.405E+05	2.137E+02	3.203E+05
2075	7.609E+02	6.093E+05	2.032E+02	3.046E+05
2076	7.238E+02	5.796E+05	1.933E+02	2.898E+05
2077	6.885E+02	5.513E+05	1.839E+02	2.757E+05
2078	6.549E+02	5.244E+05	1.749E+02	2.622E+05
2079	6.230E+02	4.988E+05	1.664E+02	2.494E+05
2080	5.926E+02	4.745E+05	1.583E+02	2.373E+05
2081	5.637E+02	4.514E+05	1.506E+02	2.257E+05
2082	5.362E+02	4.294E+05	1.432E+02	2.147E+05
2083	5.100E+02	4.084E+05	1.362E+02	2.042E+05
2084	4.852E+02	3.885E+05	1.296E+02	1.943E+05
2085	4.615E+02	3.696E+05	1.233E+02	1.848E+05
2086	4.390E+02	3.515E+05	1.173E+02	1.758E+05
2087	4.176E+02	3.344E+05	1.115E+02	1.672E+05
2088	3.972E+02	3.181E+05	1.061E+02	1.590E+05
2089	3.779E+02	3.026E+05	1.009E+02	1.513E+05
2090	3.594E+02	2.878E+05	9.601E+01	1.439E+05
2091	3.419E+02	2.738E+05	9.132E+01	1.369E+05
2092	3.252E+02	2.604E+05	8.687E+01	1.302E+05

Наставак табеле 5.8

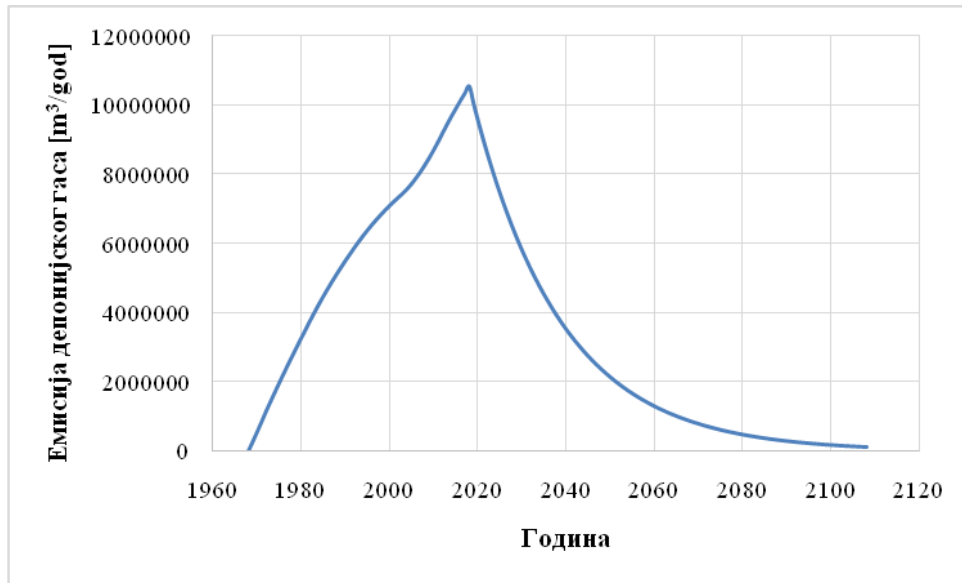
Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
2093	3.094E+02	2.477E+05	8.263E+01	1.239E+05
2094	2.943E+02	2.356E+05	7.860E+01	1.178E+05
2095	2.799E+02	2.241E+05	7.477E+01	1.121E+05
2096	2.663E+02	2.132E+05	7.112E+01	1.066E+05
2097	2.533E+02	2.028E+05	6.765E+01	1.014E+05
2098	2.409E+02	1.929E+05	6.435E+01	9.646E+04
2099	2.292E+02	1.835E+05	6.122E+01	9.176E+04
2100	2.180E+02	1.746E+05	5.823E+01	8.728E+04
2101	2.074E+02	1.661E+05	5.539E+01	8.303E+04
2102	1.973E+02	1.580E+05	5.269E+01	7.898E+04
2103	1.876E+02	1.503E+05	5.012E+01	7.513E+04
2104	1.785E+02	1.429E+05	4.768E+01	7.146E+04
2105	1.698E+02	1.360E+05	4.535E+01	6.798E+04
2106	1.615E+02	1.293E+05	4.314E+01	6.466E+04
2107	1.536E+02	1.230E+05	4.103E+01	6.151E+04
2108	1.461E+02	1.170E+05	3.903E+01	5.851E+04

На основу података из табеле 5.8 види се да ће и по затварању активног поља S4, које представља последњи део депоније "Бубањ" који се још увек активно користи, а који треба да се затвори 2017. године, и даље доћи до продукције депонијских гасова и метана све до 2108. године.

На слици 5.12 приказана је предикција масене емисије а на слици 5.13 предикција запреминске емисија депонијских гасова, која је добијена симулацијом помоћу програма LandGEM v.3.02. [33].



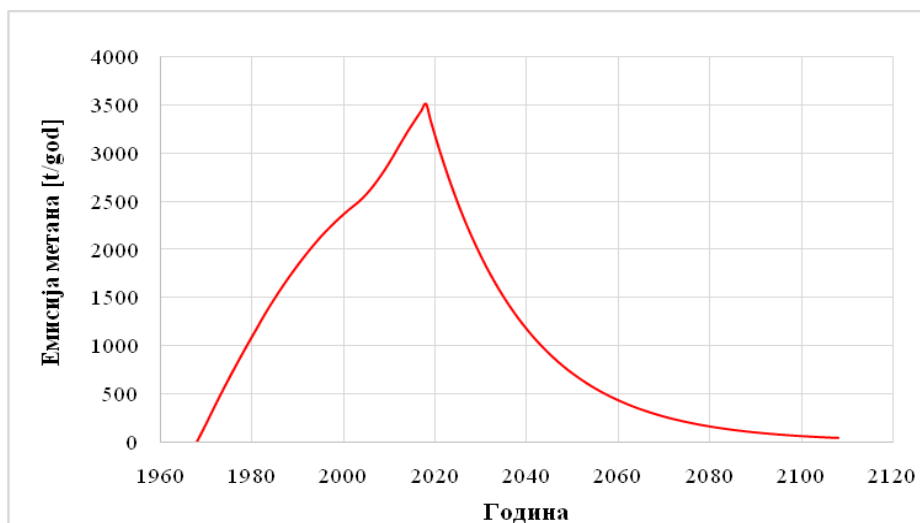
Слика 5.12 - Предикција укупне масене емисије депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу



Слика 5.13 - Предикција укупне запреминске емисије депонијског гаса на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

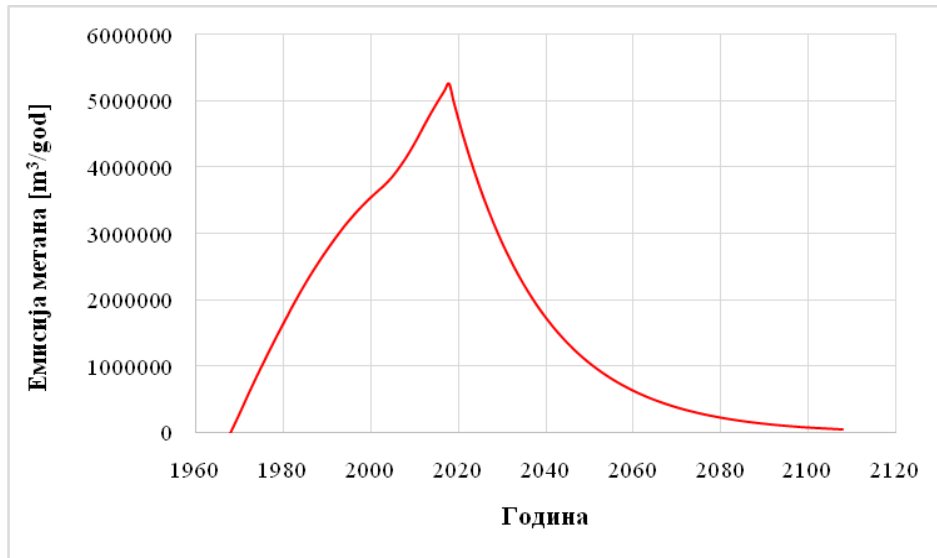
Максимална масена емисија депонијског гаса од  $1,315 \times 10^4$  t/god односно максимална запреминска емисија депонијског гаса од  $1,053 \times 10^7$  m³/god очекује се 2018. године након чега ће доћи до смањивања емисије. У наредних 10 година након достизања максималне вредности, емисија депонијског гаса опашће за 30 % а након 20 година за више од 50 %.

Симулацијом помоћу програма LandGEM v.3.02. [33] добијена је предикција масене емисија метана са депоније "Бубањ" која је приказана на слици 5.14. а на слици 5.15 приказана је предикција запреминске емисије метана.



Слика 5.14 - Предикција укупне масене емисије метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

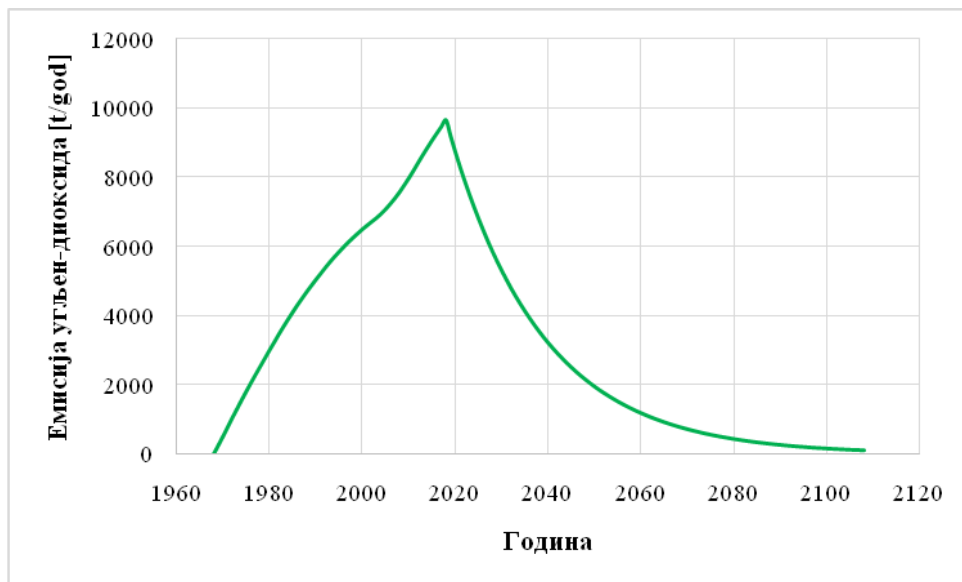




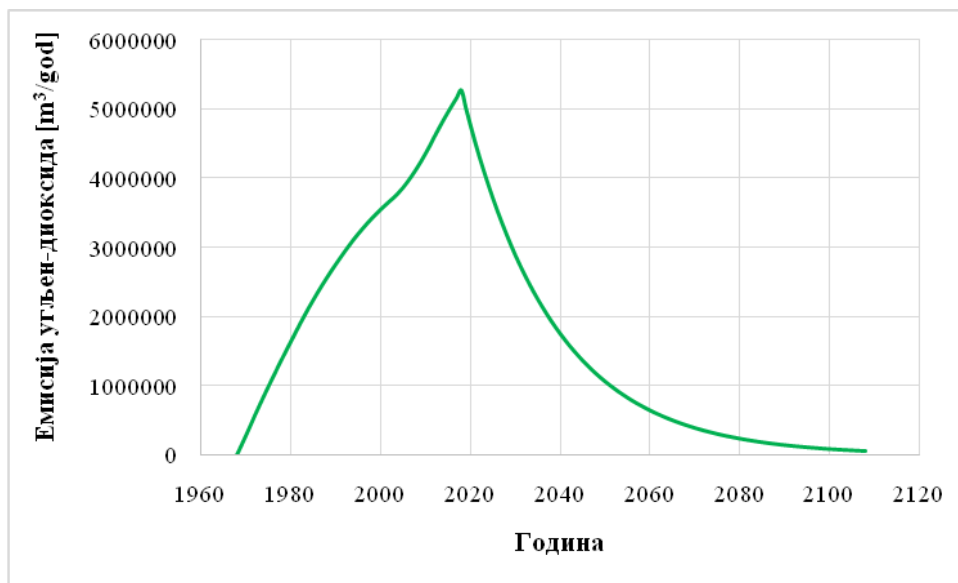
Слика 5.15 - Предикција укупне запреминске емисије метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Пораст масене емисије метана очекује се до 2018. године када ће достићи максималну вредност од  $3,514 \times 10^3$  t/god односно максимална вредност запреминске емисије износи ће  $5,267 \times 10^6$  m³/god.

На слици 5.16 приказана је предикција укупне масене емисија угљен-диоксида док је на слици 5.17 приказана предикција укупне запреминске емисије угљен-диоксида.



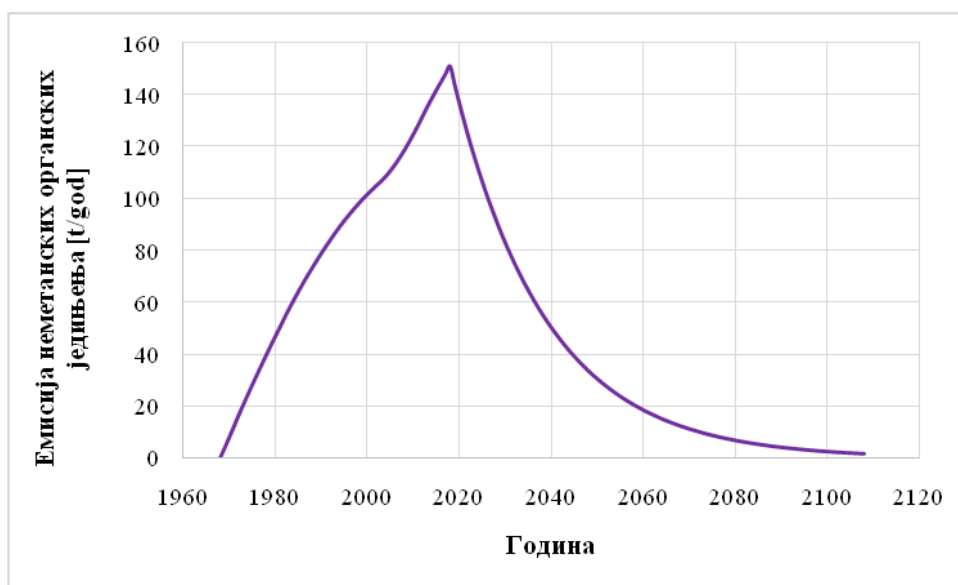
Слика 5.16 - Предикција укупне масене емисије угљен-диоксида на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу



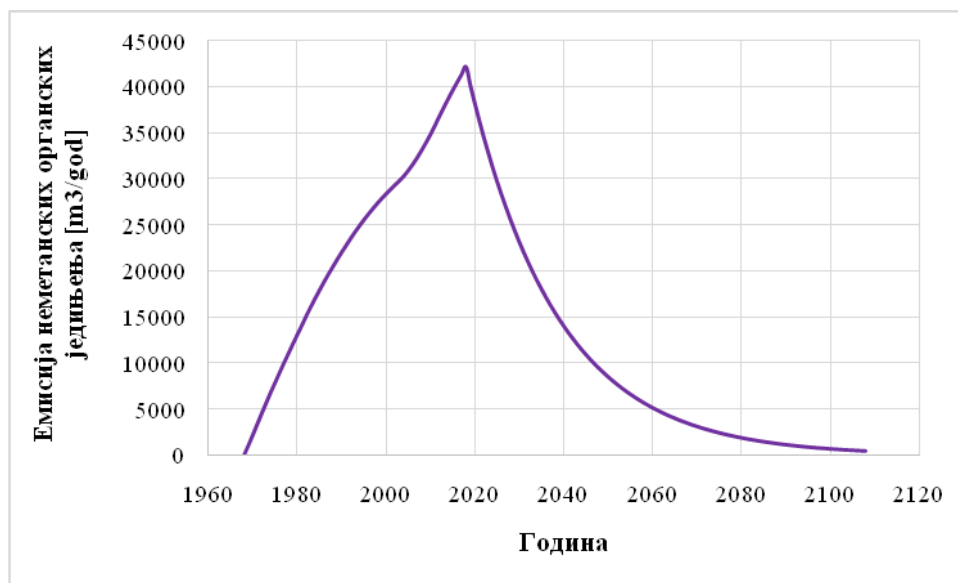
Слика 5.17 - Предикција укупне запреминске емисије угљен-диоксида на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Угљен-диоксид који се емитује са нишке депоније ће 2018. године достићи максималну вредност масене емисије од  $9,641 \times 10^3$  t/god односно максимална вредност запреминске емисије биће  $5,267 \times 10^6$  m³/god.

Прорачуната укупна масена емисија неметанска органска једињења (NMOC) приказана је на слици 5.18 а прорачунате вредности укупне запреминске емисије приказане су на слици 5.19.



Слика 5.18 - Предикција укупне масене емисије неметанских органских једињења на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу



Слика 5.19 - Предикција укупне запреминске емисије неметанских органских једињења на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу

Прорачуната максимална вредност масене емисије неметанских органских једињења (NMOC) са нишке депоније у 2018. години је  $1,510 \times 10^2$  t/god односно прорачуната вредност максималне запреминске емисије износи  $4,213 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/god .

### 5.3 Процена количине депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Процена емисије депонијског гаса и његових компонената на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту, добијена је применом софтверског пакет LandGEM v.3.02. [33]. Емисија депонијског гаса као и његових компонената као што су метан, угљен-диоксид и неметанских органских једињења (NMOC) израчунати су према једначини (5.9).

Регионална санитарна депонија "Мунтина падина" у Пироту је у експлоатацији од 2013. године а предвиђено је да буде у функцији до 2033. године. У прорачуну који се односи на продукцију депонијског гаса коришћени су подаци за број становника и подаци који се односе на количине отпада, преузети из Главног технолошког пројекта регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" [65]. Прорачунате количине емисије депонијског гаса и метана приказане су у табели 5.9.

Табела 5.9 - Запреминска и масена емисија депонијског гаса и метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту по годинама

Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
2013	0	0	0	0
2014	4.279E+02	3.426E+05	1.143E+02	1.713E+05
2015	8.386E+02	6.715E+05	2.240E+02	3.358E+05
2016	1.233E+03	9.873E+05	3.293E+02	4.937E+05
2017	1.612E+03	1.291E+06	4.306E+02	6.454E+05
2018	1.976E+03	1.582E+06	5.279E+02	7.912E+05
2019	2.327E+03	1.863E+06	6.214E+02	9.315E+05
2020	2.664E+03	2.133E+06	7.115E+02	1.066E+06
2021	2.988E+03	2.393E+06	7.982E+02	1.196E+06
2022	3.301E+03	2.643E+06	8.817E+02	1.322E+06
2023	3.602E+03	2.885E+06	9.622E+02	1.442E+06
2024	3.893E+03	3.117E+06	1.040E+03	1.559E+06
2025	4.174E+03	3.342E+06	1.115E+03	1.671E+06
2026	4.445E+03	3.559E+06	1.187E+03	1.780E+06
2027	4.707E+03	3.769E+06	1.257E+03	1.884E+06
2028	4.960E+03	3.972E+06	1.325E+03	1.986E+06
2029	5.205E+03	4.168E+06	1.390E+03	2.084E+06
2030	5.443E+03	4.358E+06	1.454E+03	2.179E+06
2031	5.673E+03	4.543E+06	1.515E+03	2.271E+06
2032	5.896E+03	4.721E+06	1.575E+03	2.361E+06
2033	6.113E+03	4.895E+06	1.633E+03	2.447E+06
2034	6.323E+03	5.064E+06	1.689E+03	2.532E+06
2035	6.015E+03	4.817E+06	1.607E+03	2.408E+06
2036	5.722E+03	4.582E+06	1.528E+03	2.291E+06
2037	5.443E+03	4.358E+06	1.454E+03	2.179E+06
2038	5.177E+03	4.146E+06	1.383E+03	2.073E+06
2039	4.925E+03	3.943E+06	1.315E+03	1.972E+06
2040	4.685E+03	3.751E+06	1.251E+03	1.876E+06
2041	4.456E+03	3.568E+06	1.190E+03	1.784E+06
2042	4.239E+03	3.394E+06	1.132E+03	1.697E+06
2043	4.032E+03	3.229E+06	1.077E+03	1.614E+06
2044	3.835E+03	3.071E+06	1.024E+03	1.536E+06
2045	3.648E+03	2.921E+06	9.745E+02	1.461E+06
2046	3.470E+03	2.779E+06	9.270E+02	1.389E+06
2047	3.301E+03	2.643E+06	8.818E+02	1.322E+06
2048	3.140E+03	2.514E+06	8.388E+02	1.257E+06
2049	2.987E+03	2.392E+06	7.979E+02	1.196E+06
2050	2.841E+03	2.275E+06	7.589E+02	1.138E+06
2051	2.703E+03	2.164E+06	7.219E+02	1.082E+06
2052	2.571E+03	2.059E+06	6.867E+02	1.029E+06
2053	2.446E+03	1.958E+06	6.532E+02	9.791E+05
2054	2.326E+03	1.863E+06	6.214E+02	9.314E+05
2055	2.213E+03	1.772E+06	5.911E+02	8.860E+05
2056	2.105E+03	1.685E+06	5.622E+02	8.427E+05
2057	2.002E+03	1.603E+06	5.348E+02	8.016E+05
2058	1.905E+03	1.525E+06	5.087E+02	7.625E+05
2059	1.812E+03	1.451E+06	4.839E+02	7.254E+05

Наставак табеле 5.9

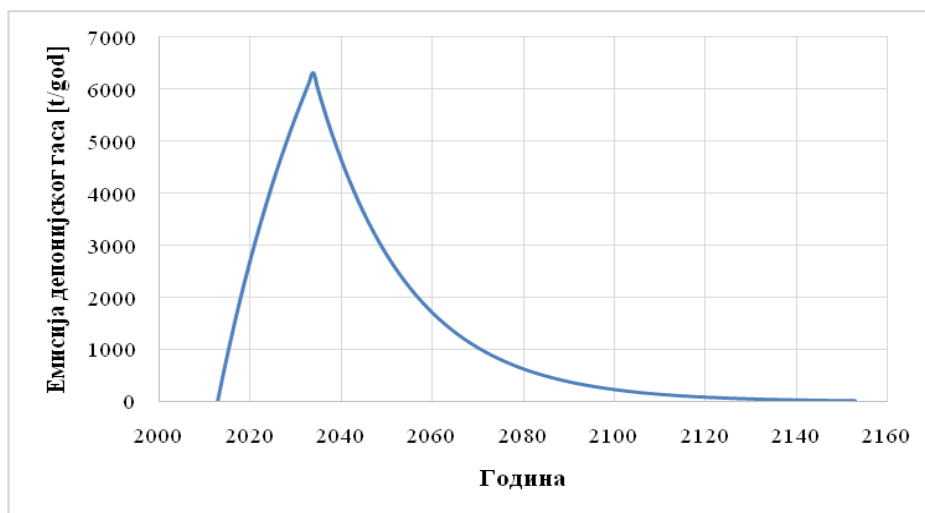
Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
2060	1.723E+03	1.380E+06	4.603E+02	6.900E+05
2061	1.639E+03	1.313E+06	4.379E+02	6.563E+05
2062	1.559E+03	1.249E+06	4.165E+02	6.243E+05
2063	1.483E+03	1.188E+06	3.962E+02	5.939E+05
2064	1.411E+03	1.130E+06	3.769E+02	5.649E+05
2065	1.342E+03	1.075E+06	3.585E+02	5.374E+05
2066	1.277E+03	1.022E+06	3.410E+02	5.112E+05
2067	1.214E+03	9.724E+05	3.244E+02	4.862E+05
2068	1.155E+03	9.250E+05	3.086E+02	4.625E+05
2069	1.099E+03	8.799E+05	2.935E+02	4.400E+05
2070	1.045E+03	8.370E+05	2.792E+02	4.185E+05
2071	9.943E+02	7.962E+05	2.656E+02	3.981E+05
2072	9.458E+02	7.573E+05	2.526E+02	3.787E+05
2073	8.997E+02	7.204E+05	2.403E+02	3.602E+05
2074	8.558E+02	6.853E+05	2.286E+02	3.426E+05
2075	8.140E+02	6.518E+05	2.174E+02	3.259E+05
2076	7.743E+02	6.201E+05	2.068E+02	3.100E+05
2077	7.366E+02	5.898E+05	1.967E+02	2.949E+05
2078	7.007E+02	5.611E+05	1.872E+02	2.805E+05
2079	6.665E+02	5.337E+05	1.780E+02	2.668E+05
2080	6.340E+02	5.077E+05	1.693E+02	2.538E+05
2081	6.031E+02	4.829E+05	1.611E+02	2.415E+05
2082	5.736E+02	4.594E+05	1.532E+02	2.297E+05
2083	5.457E+02	4.369E+05	1.458E+02	2.185E+05
2084	5.191E+02	4.156E+05	1.386E+02	2.078E+05
2085	4.937E+02	3.954E+05	1.319E+02	1.977E+05
2086	4.697E+02	3.761E+05	1.255E+02	1.880E+05
2087	4.468E+02	3.577E+05	1.193E+02	1.789E+05
2088	4.250E+02	3.403E+05	1.135E+02	1.701E+05
2089	4.042E+02	3.237E+05	1.080E+02	1.618E+05
2090	3.845E+02	3.079E+05	1.027E+02	1.540E+05
2091	3.658E+02	2.929E+05	9.770E+01	1.464E+05
2092	3.479E+02	2.786E+05	9.294E+01	1.393E+05
2093	3.310E+02	2.650E+05	8.840E+01	1.325E+05
2094	3.148E+02	2.521E+05	8.409E+01	1.260E+05
2095	2.995E+02	2.398E+05	7.999E+01	1.199E+05
2096	2.849E+02	2.281E+05	7.609E+01	1.141E+05
2097	2.710E+02	2.170E+05	7.238E+01	1.085E+05
2098	2.578E+02	2.064E+05	6.885E+01	1.032E+05
2099	2.452E+02	1.963E+05	6.549E+01	9.817E+04
2100	2.332E+02	1.868E+05	6.230E+01	9.338E+04
2101	2.219E+02	1.776E+05	5.926E+01	8.882E+04
2102	2.110E+02	1.690E+05	5.637E+01	8.449E+04
2103	2.007E+02	1.607E+05	5.362E+01	8.037E+04
2104	1.910E+02	1.529E+05	5.100E+01	7.645E+04
2105	1.816E+02	1.454E+05	4.852E+01	7.272E+04
2106	1.728E+02	1.384E+05	4.615E+01	6.918E+04
2107	1.644E+02	1.316E+05	4.390E+01	6.580E+04

Наставак табеле 5.9

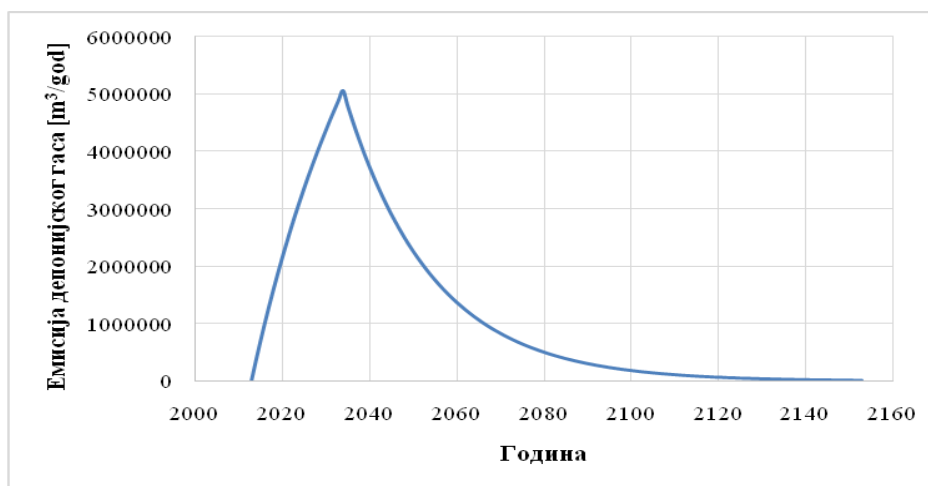
Година	Депонијски гас		Метан	
	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]	[t/god]	[m <sup>3</sup> /god]
2108	1.563E+02	1.252E+05	4.176E+01	6.259E+04
2109	1.487E+02	1.191E+05	3.972E+01	5.954E+04
2110	1.415E+02	1.133E+05	3.779E+01	5.664E+04
2111	1.346E+02	1.077E+05	3.594E+01	5.387E+04
2112	1.280E+02	1.025E+05	3.419E+01	5.125E+04
2113	1.218E+02	9.750E+04	3.252E+01	4.875E+04
2114	1.158E+02	9.274E+04	3.094E+01	4.637E+04
2115	1.102E+02	8.822E+04	2.943E+01	4.411E+04
2116	1.048E+02	8.392E+04	2.799E+01	4.196E+04
2117	9.969E+01	7.982E+04	2.663E+01	3.991E+04
2118	9.482E+01	7.593E+04	2.533E+01	3.797E+04
2119	9.020E+01	7.223E+04	2.409E+01	3.611E+04
2120	8.580E+01	6.870E+04	2.292E+01	3.435E+04
2121	8.162E+01	6.535E+04	2.180E+01	3.268E+04
2122	7.763E+01	6.217E+04	2.074E+01	3.108E+04
2123	7.385E+01	5.913E+04	1.973E+01	2.957E+04
2124	7.025E+01	5.625E+04	1.876E+01	2.813E+04
2125	6.682E+01	5.351E+04	1.785E+01	2.675E+04
2126	6.356E+01	5.090E+04	1.698E+01	2.545E+04
2127	6.046E+01	4.842E+04	1.615E+01	2.421E+04
2128	5.751E+01	4.605E+04	1.536E+01	2.303E+04
2129	5.471E+01	4.381E+04	1.461E+01	2.190E+04
2130	5.204E+01	4.167E+04	1.390E+01	2.084E+04
2131	4.950E+01	3.964E+04	1.322E+01	1.982E+04
2132	4.709E+01	3.771E+04	1.258E+01	1.885E+04
2133	4.479E+01	3.587E+04	1.196E+01	1.793E+04
2134	4.261E+01	3.412E+04	1.138E+01	1.706E+04
2135	4.053E+01	3.245E+04	1.083E+01	1.623E+04
2136	3.855E+01	3.087E+04	1.030E+01	1.544E+04
2137	3.667E+01	2.937E+04	9.796E+00	1.468E+04
2138	3.488E+01	2.793E+04	9.318E+00	1.397E+04
2139	3.318E+01	2.657E+04	8.863E+00	1.329E+04
2140	3.156E+01	2.527E+04	8.431E+00	1.264E+04
2141	3.002E+01	2.404E+04	8.020E+00	1.202E+04
2142	2.856E+01	2.287E+04	7.629E+00	1.143E+04
2143	2.717E+01	2.175E+04	7.257E+00	1.088E+04
2144	2.584E+01	2.069E+04	6.903E+00	1.035E+04
2145	2.458E+01	1.968E+04	6.566E+00	9.842E+03
2146	2.338E+01	1.872E+04	6.246E+00	9.362E+03
2147	2.224E+01	1.781E+04	5.941E+00	8.905E+03
2148	2.116E+01	1.694E+04	5.652E+00	8.471E+03
2149	2.013E+01	1.612E+04	5.376E+00	8.058E+03
2150	1.914E+01	1.533E+04	5.114E+00	7.665E+03
2151	1.821E+01	1.458E+04	4.864E+00	7.291E+03
2152	1.732E+01	1.387E+04	4.627E+00	6.936E+03
2153	1.648E+01	1.319E+04	4.401E+00	6.597E+03

На основу података из табеле 5.9 види се да ће и по затварању регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту који се још увек активно користи а који треба да се затвори 2033. године, и даље доћи до продукције депонијских гасова и метана све до 2153. године.

На слици 5.20 приказана је укупна масена емисија депонијског гаса, која је добијена симулацијом помоћу програма LandGEM v.3.02. а на слици 5.21 приказана је укупна запреминска емисије депонијског гаса.



Слика 5.20 - Предикција укупне масене емисије депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

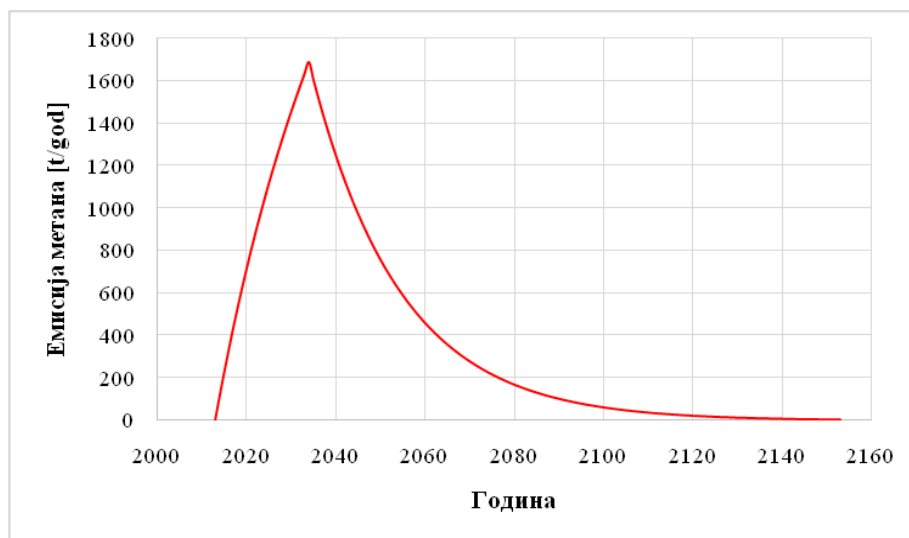


Слика 5.21 - Предикција укупне запреминске емисије депонијског гаса на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

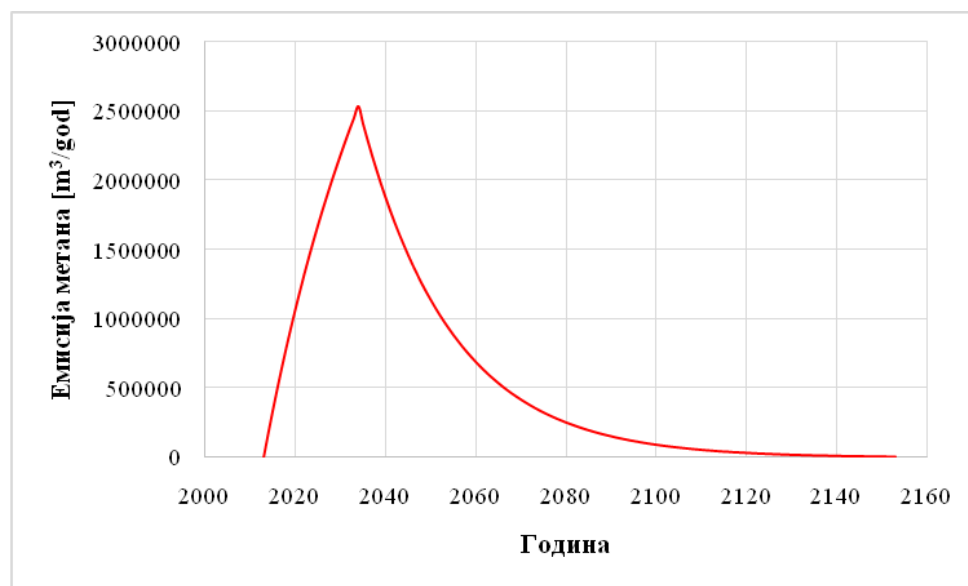
Максимална масена емисија депонијског гаса од  $6,323 \times 10^3$  t/year односно максимална запреминска емисија депонијског гаса од  $5,064 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/year очекује се 2034. године након чега ће се емисија депонијског гаса смањивати. У наредних 10 година

након достизања максималне вредности, емисија депонијског гаса опашће за 30 % а након 20 година за више од 50 %.

Симулацијом помоћу програма LandGEM v.3.02. добијена је укупна масена емисија метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" која је приказана на слици 5.22 а укупна запреминска емисија метана приказана је на слици 5.23.



Слика 5.22 - Предикција укупне масене емисије метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

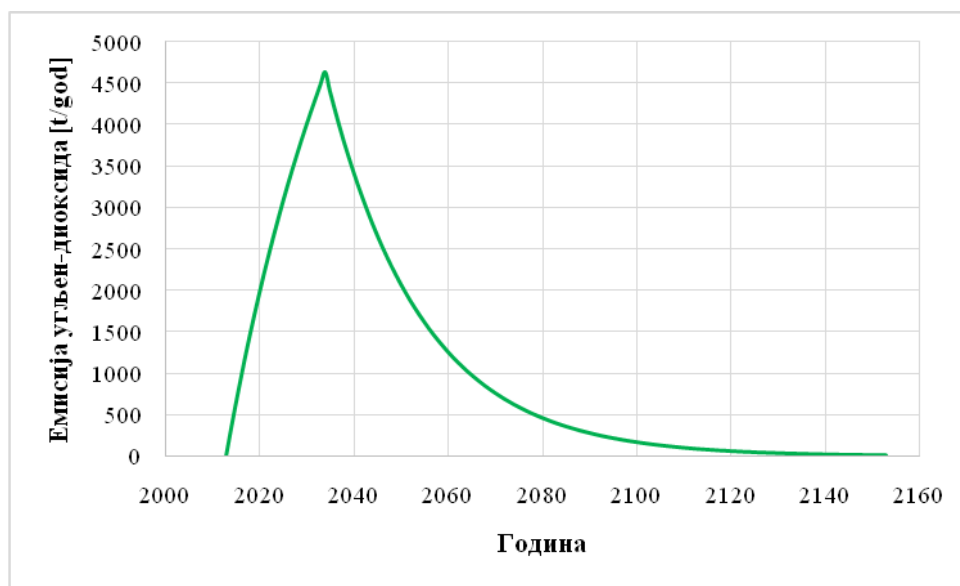


Слика 5.23 - Предикција укупне запреминске емисије метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

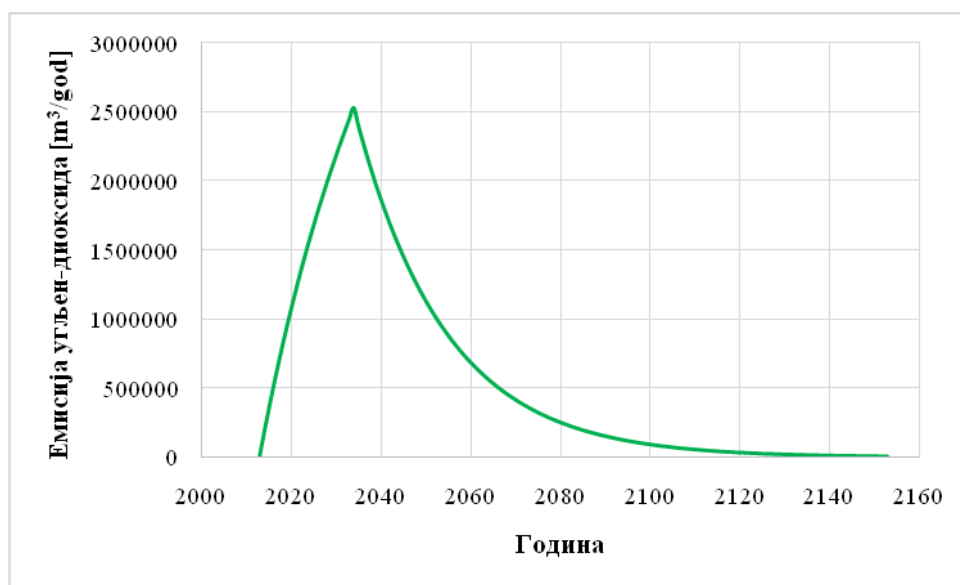
Са слике 5.22 и 5.23 се види да се пораст емисије метана на пиротској депонији очекује до 2034. године при чему ће максимална вредност масене емисије бити  $1,689 \times 10^3$  t/god док ће максимална вредност запреминске емисије бити  $2,532 \times 10^6$  m³/god.



На слици 5.24 приказана је прорачуната укупна масена емисија угљен-диоксида. а на слици 5.25 приказана је прорачуната укупна запреминска емисија угљен-диоксида.



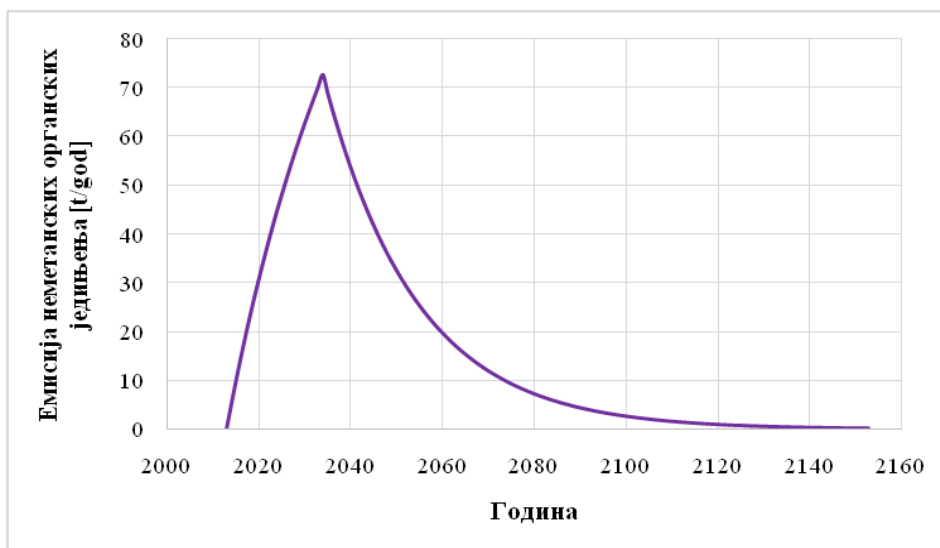
Слика 5.24 - Предикција укупне масене емисије угљен-диоксида на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту



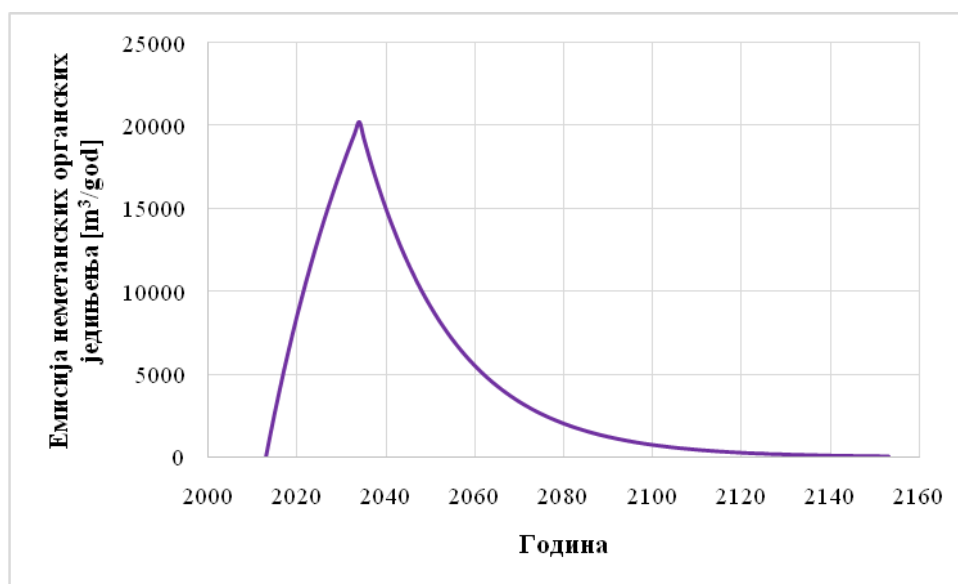
Слика 5.25 - Предикција укупне запреминске емисије угљен-диоксида на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Угљен-диоксид који се емитује са пиротске депоније ће 2034. године достићи максималну вредност масене емисије од  $4,634 \times 10^3$  t/god односно максималну вредност запреминске емисије од  $2,532 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/god.

Прорачуната укупна масена емисија неметанских органских једињења (НМОС) приказана је на слици 5.26 а прорачуната укупна запреминска емисија неметанских органских једињења (НМОС) приказана је на слици 5.27.



Слика 5.26 - Предикција укупне масене емисије неметанских органских једињења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту



Слика 5.27 - Предикција укупне запреминске емисије неметанских органских једињења на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту

Прорачуната максимална вредност масене емисије неметанских органских једињења (НМОС) са пиротске депоније у 2034. години износи  $7,260 \times 10^1$  t/god односно максимална вредност запреминске емисије износи  $2,025 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/god.

**6. ПРОЦЕНА РИЗИКА И  
СИМУЛАЦИЈА ЗАГАЂЕЊА  
ВАЗДУХА, ПОЖАРА И  
ЕКСПЛОЗИЈА УСЛЕД  
ЕМИСИЈЕ МЕТАНА СА  
ДЕПОНИЈЕ**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) је програмски пакет за приказ дисперзије гасова. Користи за процену ослобађања и ширења опасних хемијских супстанци у правцу ветра. Процена се заснива на основу физичко-хемијских особина ослобођених хемијских супстанци који су узрок удесног догађаја, на основу метеоролошких услова и специфичних околности под којима је дошло до неконтролисане емисије. Главне карактеристике програма су [2]:

- моделовање више сценарија отпуштања хемијске супстанце (токсични облак испуштеног гаса, млаз пожара, експлозија облака паре);
- процена различитих врста опасности (токсичност, запаљивост, експлозивност);
- предикција количине емитоване хемијске супстанце из резервоара, гасовода итд.;
- предикција промене емитоване хемијске супстанце у току времена;
- стварање низа специфичних излазних сценарија, укључујући графички приказ зона опасности, опасности у одређеној тачки и график јачине извора.

Анализа последица обухвата моделирање ефеката, анализу повредивости и одређивање могућег нивоа удеса. Симулацијом програмског пакета ALOHA обрађују се, процењују и приказују зоне опасности за дисперзију токсичног гаса, толотно зрачење при пожарима и експлозијама, као и ниво притиска облака паре који настаје при експлозији. Постоје два модела дисперзије гасова у програмском пакету ALOHA: Гаусов модел и модел тешког гаса. За покретање симулације неопходан је унос података о:

- основним информацијама о догађају;
- географској локацији места догађаја;
- одабиру хемијске супстанце из базе података;
- тренутним атмосферским условима;
- месту и врсти извора хемијске супстанце;
- количини хемијске супстанце која се емитује.

Избор типа сценарија врши се на основу тога да ли се ради о удесном догађају са последицама испаравања, пожара или експлозија. Моделирање удесних догађаја врши се на основу одабира једног од четири типа извора испуштања хемијске супстанце: директан, локва настала при испуштању, резервоар и гасовод.

Након уношења параметара потребних за сценарио могућег удеса, следи фаза процесуирања симулационог модела, при чему се имплементацијом модела распростирања загађујуће хемијске супстанце нумеричим алгоритмима срачунавају диманичке променљиве у простору и времену. Завршна фаза приликом процесуирања овог програмског пакета огледа се у приказу резултата симулације у текстуалном опису удесног догађаја и графичком приказу.

Графички приказ састоји се од дијаграма зона опасности. На њему су представљени тзв. нивои упозорења LOC (*Levels of Concern*) који приказују ниво опасности по људе и животну средину. Под зоном опасности подразумевамо подручје где је достигнут дефинисан ниво - ниво упозорења који зависи од сценарија удесног догађаја.

За сценарио испаравања токсичних загађујућих материја, LOC је најнижи ниво концентрације која се сматра опасном. Ако су изабрана три нивоа упозорења, ALOHA ће зоне опасности приказати црвеном, наранџастом и жутом бојом од којих је црвена зона - зона највеће опасности а жута зона - зона најмање опасности [49].

За сценарио пожара и експлозија разматра се ниво угрожености услед топлотног зрачења и притиска услед детонације. Ова симулација садржи пет врсти сценарија пожара и експлозија који су повезани са сценаријом отпуштања хемијске супстанце са одговарајућег извора: запаљеног млаза испуштеног гаса/паре, пожар на запаљивој локви, експлозија парног облака, паљење парног облака, експлозија пара течности у стању кључања.

За ниво угрожености услед топлотног зрачења ALOHA користи три граничне вредности за процену безбедних зона [2]:

- Црвена зона:  $10 \text{ kW/m}^2$  (потенцијална смртност у року од 60 s);
- Наранџаста зона:  $5 \text{ kW/m}^2$  (опекотине другог степена у року од 60 s);
- Жута зона:  $2 \text{ kW/m}^2$  (бол у року од 60 s).

Ефекти топлотног зрачења зависе од времена експозиције одређеном нивоу топлотног зрачења. Дуготрајно излагање чак и нижем нивоу топлотног зрачења, може да произведе озбиљне физиолошке ефекте.

За ниво угрожености услед притиска детонације ALOHA користи три граничне вредности [2]:

- Црвена зона: 8,0 psi (уништење зграда);
- Наранџаста зона: 3,5 psi (долази до озбиљних повреда );

- Жута зона: 1,0 psi (ломи стакло).

У зависности од сценарија удесног догађаја, добијени резултати обухватају променљиве које се односе на:

- испаравање загајућих хемијских супстанци;
- промену концентрације загађујуће хемијске супстације у току времена и графички приказ зона опасности токсичности;
- пожар или експлозије - промена енергије топлотног зрачења у посматраној тачки у току времена;
- промену снаге извора у току времена и графички приказ зона опасности топлотног зрачења.

Када се унесу сви потребни подаци ALOHA даје приказ следећих резултата моделовања:

- зоне опасности (*threat zone*),
- текстуални сажетак (*text summary*),
- опасност у тачки (*threat at point*),
- јачину извора (*source strength*).

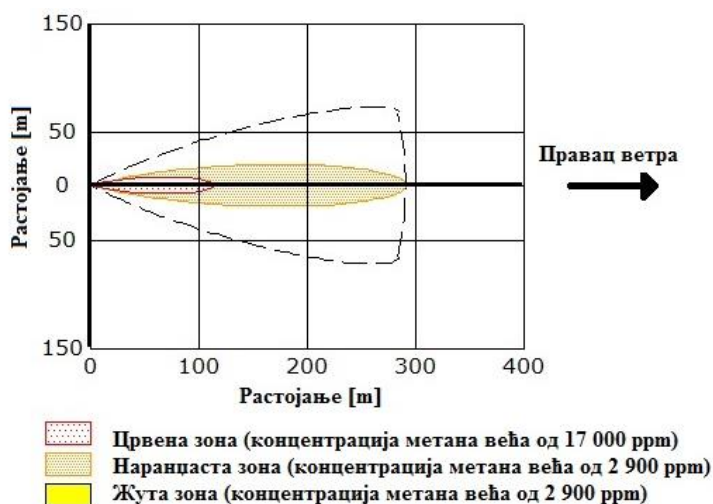
ALOHA је тако програмирана да резултате обрађује брзо, при чему се процена удесних догађаја и приказ зона опасности увек раде за најнеповољније случајеве. Добијени резултати могу бити од помоћи за време хитних интервенција или приликом предузимања превентивних мера за заштиту од удесних ситуација.

## **6.1 Процена ризика од загађења ваздуха, пожара и експлозија услед емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу**

У симулацији програмског пакета ALOHA v.5.4.4 као хемијска супстанца коришћен је метан као запаљива и експлозивна компонента која је најзаступљенија у депонијском гасу. Извршеном проценом емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу, која је реализована применом математичког модела LandGEM v.3.02, очекивана максимална масена емисија метана од  $3,514 \times 10^3$  t/god односно максимална вредност запреминске емисије од  $5,267 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/god је у 2018. години. Очекиване вредности емисије метана од 0,401 t/h односно 601 m<sup>3</sup>/h су узете за реализовање симулације ALOHA .

Према дефинисаном сценарију израчунате су ширине повредиве зоне и моделирана су четири ефекта максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу. За симулацију модела су коришћени подаци о: несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу, метеоролошким условима града Ниша, количини емитованог метана, извору са ког се емитује метан као и избор сценарија за приказ резултата.

Сценарио за предикцију токсичних зона приликом емисије максималне емисије метана са нишке депоније приказан је на слици 6.1.



Слика 6.1 - Предикција токсичних зона услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

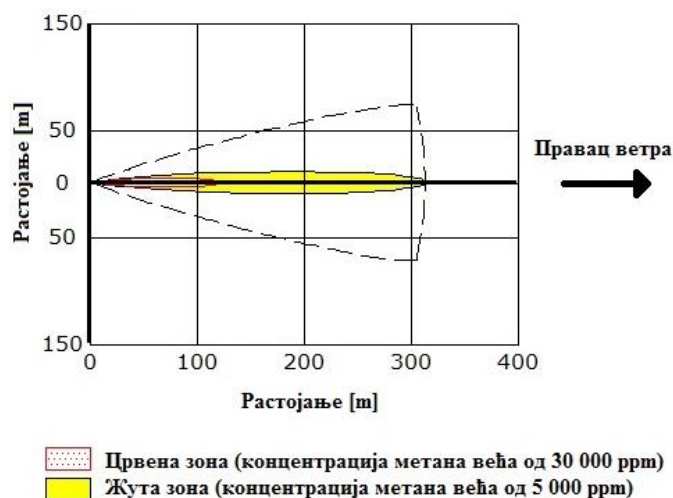
Са слике се види да је ће се црвена зона у којој је вредност концентрације метана до 17.000 ppm простирати у пречнику до 114 m, док ће наранџаста зона и жута зона у којој је вредност концентрација метана до 2.900 ppm простирати у пречнику до 293 m.



Слика 6.2 - Мапни приказ предикције токсичних зона услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

Са слике 6.2 ниво угрожености токсичне зоне не обухвата насељени део, чак ни оближње градско гробље, али зато у најопаснијој токсичној зони - црвеној зони могу се наћи радници нишке депоније.

Предикција зона у којој би могло да дође до настанка пожара представљена је црвеном и жутом зоном угрожености од пожара. Са слике 6.3 се види да се црвена зона простире се до 121 m у којој концентрација метана износи 60% од доње границе запаљивости/експлозивности, односно 30.000 ppm. Жута зона простире се до 315 m у којој је концентрација метана 5.000 ppm, односно 10% од доње границе запаљивости/експлозивности метана.



Слика 6.3 - Предикција зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

Са слике 6.4 види се да се евентуално настали пожар неће ширити и не представља опасност за насељени део и становништво, осим што представља опасност од ширења пожара на самој депонији и на раднике на депонији.

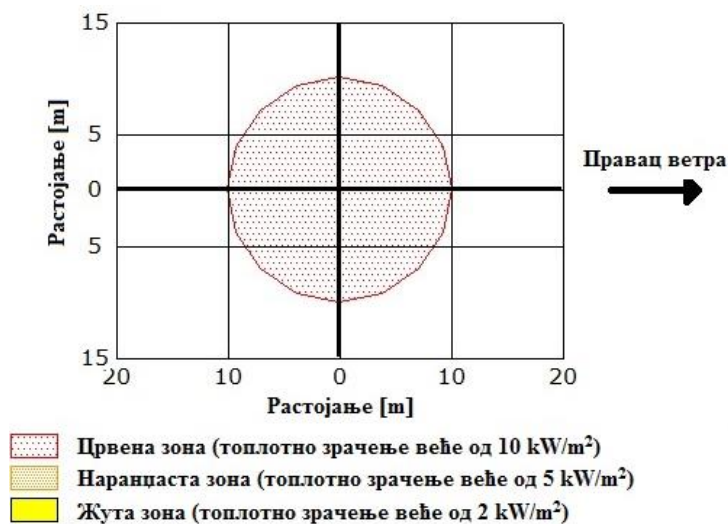


Слика 6.4 - Мапни приказ предикције зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу





Предикција количине топлотног зрачење услед пожара и експлозија метана приказана је на слици 6.7. Симулацијом су добијене све три зоне опасности. Црвена, наранџаста и жута зона топлотног зрачења простиру се до 10 m. Услед интензитета топлотног зрачења од  $10 \text{ kW/m}^2$  време јаког бола јавља се након 5 s, опекотине другог степена након 14 s, док након 60 s могућ је и смртни исход.



Слика 6.7 - Предикција зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

Са слике 6.8 се види да се најопаснија - црвена зона топлотног зрачења налази на активном делу нишке депоније S4, тако да су запошљени на депонији подложни овом утицају.



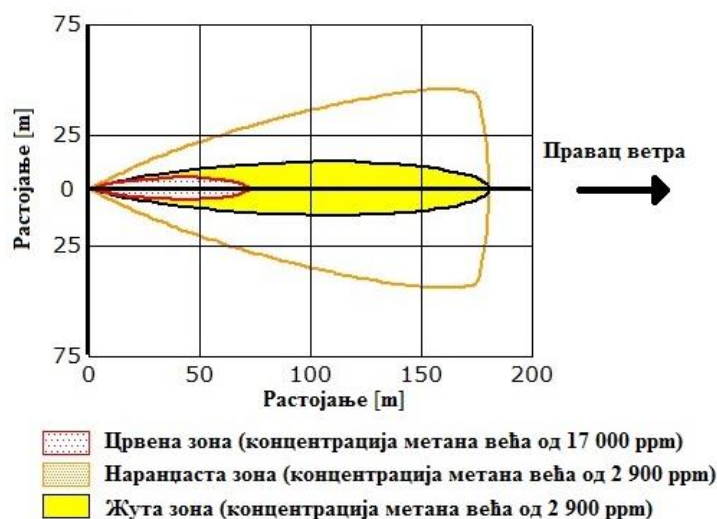
Слика 6.8 - Мапни приказ предикције зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са несанитарне депоније "Бубањ" у Нишу

## 6.2 Процена ризика од загађења ваздуха , пожара и експлозија услед емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина " у Пироту

Програмским пакетом ALOHA v.5.4.4 извршена је симулација изненадне емисије метана на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту. Процењена емисије метана која је реализована применом математичког модела LandGEM v.3.02 показала је да се у 2024. години очекује максимална масена емисија метана од  $1,689 \times 10^3$  t/god односно максимална запреминска емисије од  $2,532 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/god . Очекиване максималне вредности емисије метана од 0,193 t/h односно 289 m<sup>3</sup>/h коришћене су приликом симулације.

Према дефинисаном сценарију израчунате су ширине повредиве зоне и моделирана су четири ефекта максималне емисије метана са депоније. За симулацију модела су коришћени подаци о: регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту, метеоролошким условима града Пирота, количини емитованог метана, извору са ког се емитује метан као и избор сценарија за приказ резултата.

Сценарио за предикцију токсичних зона приликом емисије максималне емисије метана са пиротске депоније приказан је на слици 6.9.



Слика 6.9 - Предикција токсичних зона услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

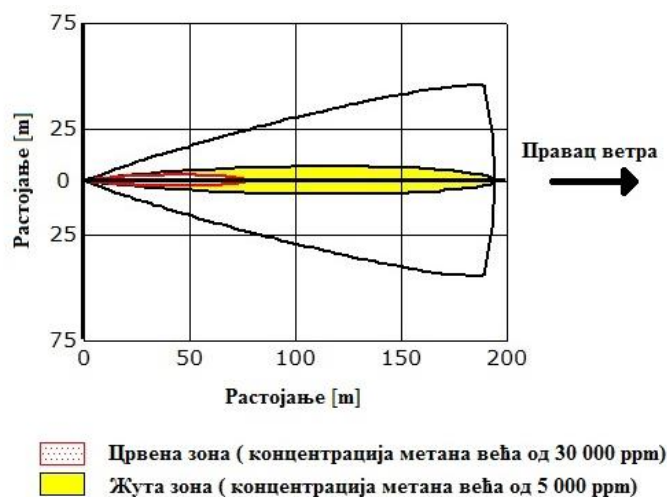
Са слике се види да ће се црвена зона у којој је вредност концентрације метана до 17.000 ppm простирати у пречнику до 72 m, док ће наранџаста зона и жута зона у којој је вредност концентрација метана до 2.900 ppm простирати у пречнику до 181 m.

Слика 6.10 показује да токсичном зоном није угрожен насељени део, али зато у најопаснијој токсиној зони - црвеној зони могу се наћи радници пиротске депоније.



Слика 6.10 - Мапни приказ предикције токсичних зона услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

Предикција зона у којој би могло да дође до настанка пожара представљена је црвеном и жутом зоном угрожености од пожара. Са слике 6.11 се види да се црвена зона простире на растојању до 77 m у којој концентрација метана износи 60% од доње границе запаљивости/експлозивности метана односно 30.000 ppm. Жута зона простире се до 195 m а у њој је концентрација метана 5.000 ppm односно 10% од доње границе запаљивости/експлозивности метана.



Слика 6.11 - Предикција зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

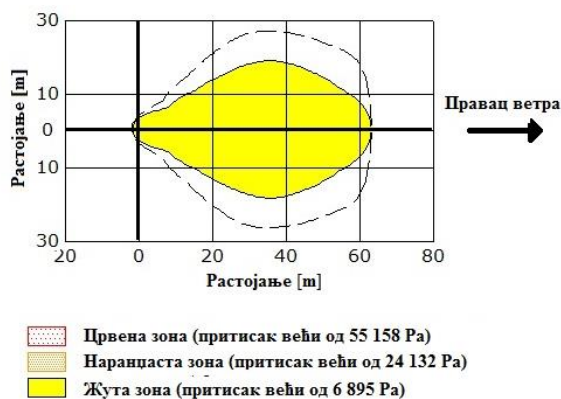
Са слике 6.12 се види да зона настанка пожара представља опасност од ширења пожара на самој депонији као и на раднике на депонији, али евентуално настали пожар неће представља опасност на насељени део и становништво.





Слика 6.12 - Мапни приказ предикције зоне настанка пожара услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

При експлозији метана може доћи по појаве притиска експлозије. На слици 6.13 приказана је предикција притиска експлозије која је у границама жуте зоне која се простре на растојању до 64 m. Притисак експлозије биће у граници до 6 895 Pa. Због симулиране количине метана од 289 m<sup>3</sup>/h нема присуства црвене и наранџасте зоне.



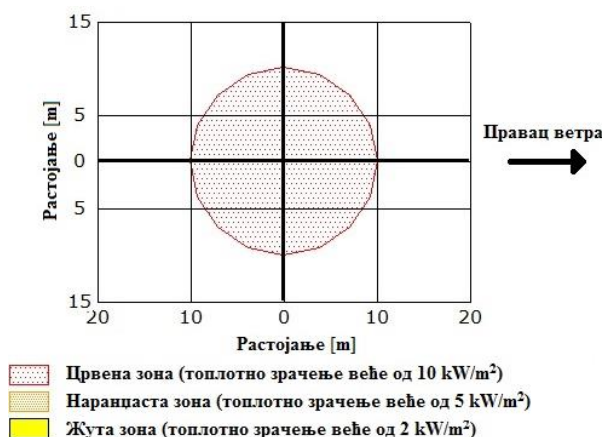
Слика 6.13 - Предикција зоне од настанак притиска експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

Са слике 6.14 може се видети да притисак експлозије распостире у границама радног дела депоније, тако да би у овом случају могло да дође до повређивање радника и оштећења камиона.



Слика 6.14 - Мапни приказ предикције зоне притиска експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

Предикција количине топлотног зрачење услед пожара и експлозија метана приказана је на слици 6.15. Симулацијом су добијене све три зоне опасности. Црвена зона интензитета  $10 \text{ kW/m}^2$ , наранџаста интензитета  $5 \text{ kW/m}^2$  и жута зона интензитета  $2 \text{ kW/m}^2$  топлотног зрачења простиру се до 10 m. Услед интензитета топлотног зрачења у црвеној зони могућ смртни исход јавља се након 60 s, у наранџастој зоно опекотине другог степена јављају се након 60 s а у жутој зони појава јаког бола јавња се након 60 s.



**Слика 6.15** - Предикција зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

Са слике 6.16 се види да се најопаснија зона топлотног зрачења налази се на простору пиротске депоније, тако да су запошљени на депонији подложни овом утицају.



**Слика 6.16** - Мапни приказ предикције зоне топлотног зрачења пожара и експлозије услед максималне емисије метана са са регионалне санитарне депоније "Мунтина падина" у Пироту

# 7. ЗАКЉУЧАК

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

На 164 санитарне депоније у Републици Србији од којих је 7 регионалних санитарних депонија одлаже се чврст комунални отпад. Потреба за повећањем броја санитарних депонија огледа се у повећању количине чврстог комуналног отпада који је последица нагле урбанизације и индустријализације и промене квалитета и начина живота. Одлагање комуналног отпада на депоније прати и његово разлагање које се одвија у пет фаза. Једна од последица разлагања отпада је стварање депонијског гаса чији сасатав и концентрација се мењају у зависности од фаза разлагања. Количина произведеног депонијског гаса на депонији зависи од: врсте отпада, старости отпада, контактне површине отпада, висине депонованог отпада, садржаја воде у отпаду, температуре, бактеријске активности, рН вредности и присуства кисеоника у телу депоније. Природна тенденција депонијског гаса, који је лакши од ваздуха као и његова главна компонента метан, је да се крећу навише, ка површини депоније. Како маса густо збијеног отпада расте у висину, отежано је кретање депонијског гаса навише, те је хоризонтални ток гаса интензивнији. На кретање депонијског гаса кроз тело депоније утичу: пропустљивост, густина, дифузија и градијент притиска. Ради спречавања акумулирања депонијског гаса у телу депоније, а у циљу контролисано одвођења и праћења депонијског гаса, планирају се и постављају системи за дегазацију депонијских гасова који могу бити пасивни и активни.

На депонији су често присутне појаве непријатних мириса, појаве депонијских гасова који могу довести до загађења ваздуха и настанка пожара и експлозија, ефекта стаклене баште, загађења површинских и подземних вода, загађења земљишта, појаве буке од возила, као и опасности по здравље радника на депонији и људи који живе близу депонија. На основу статистичких података најучесталији периоди настанка пожара на депонијама су између марта и августа и тада се јавља око 60% пожара у односу на укупан проценат појаве пожара на депонијама у току године. Пожари на депонијама, који су резултат самопаљења, најучесталији су у октобру и новембру. Пожари на депонијама могу бити површински и подземни. На основу количине захваћеног запаљивог отпада, депонијске пожаре можемо класификовати у четири категорије.

За доказивање постојања подземних пожара као и за процену ризика од настанка површинских и подземних пожара користе се индикатори пожара. Четири основна индикатора пожара су: повећана температура у активним или пасивним системима за дегазацију депонијског гаса, промена концентрације компонената депонијског гаса,



појава пукотина, слегања или улегнућа, присуство дима и мириса који се издваја из депоније.

Вишемесечна мерења концентрације компонената депонијског гаса су извршена на биотрновима гасним анализатором на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу и на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту. На вредности добијених резултата утицало је то да су мерења вршена на различитим депонијама (несанитарној и санитарној), старост депонија је различита, капацитет депонија није исти, процентуални морфолошки састав отпада је различит, количина отпада није иста, физичко-хемијски и биолошки процеси нису исти, систем за дегазацију депонијског гаса није исто инсталиран и одржаван, број и висина инсталираних биотрнова није исти.

На основу наведеног истраживања може се закључити да:

- индикатори праћења температуре и концентрације угљен-моноксида су били у границама нормале што није својствено процесу сагоревања, а непостојање индикатора појаве дима, мириса, пукотина и улегнућа са тела депоније само су потврдили да не постоји подземни пожар;
- индикатори праћења концентрације кисеоника, метана и угљен-диоксида су показали да на обе депоније постоји могућност од настанка подземног пожара;
- на свих 10 биотрнова на којима су извршена мерења није пронађена потврда свих индикатора о настанку пожара. На основу обављених мерења у циљу праћења индикатора пожара може се закључити да нема подземног пожара;
- праћењем индикатора загађења ваздуха показано је да на биотрновима није дошло до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације угљен-моноксида;
- на појединим биотрновима дошло је до прекорачења граничних и толерантних вредности за измерене концентрације азотних оксида и концентрације сумпор-диоксида;
- процена емисије депонијског гаса, метана, угљен-моноксида и неметанских органских једињења на депонијама, реализована је применом математичког модела LandGEM v.3.02. Предикција максималне масене емисије депонијског гаса од  $1,315 \times 10^4$  t/god односно максималне запреминске

емисије депонијског гаса од  $1,053 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/god очекује се 2018. године на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу;

- предикција максималне масене емисије депонијског гаса од  $6,323 \times 10^3$  t/god односно максималне запреминске емисије депонијског гаса од  $5,064 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/god очекује се 2034. године на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту;
- предикција емисије депонијског гаса, метана угљен-диоксида и неметанских органских једињења је већа на нишкој депонији с обзиром да је старост депоније већа као и да се на њој одлажу веће количине чврстог комуналног отпада;
- симулацијом програмског пакета ALOHA v.5.4.4 према дефинисаном сценарију израчунате су ширине повредиве зоне и моделирана су четири ефекта максималне емисије метана на несанитарној депонији "Бубањ" у Нишу и на регионалној санитарној депонији "Мунтина падина" у Пироту. Као резултат симулације прорачунате су и графички приказане зоне токсичности, зоне настанка пожара, зоне притиска експлозије и зоне топлотног зрачења услед пожара и експлозија;
- прорачунате ширине безбедне зоне и безбедна растојања различите су за ове две депоније. Симулацијом је показано да растојања на којима се простиру добијене повредиве зоне су веће на нишкој него на пиротској депонији.
- добијене симулационе вредности показују да зоне токсичности и зоне настанка пожара се простиру и ван граница обе депоније али не досежу до насеља и првих кућа и не угрожавају становништво док ће радници на депонији бити директно угрожени. Прорачуната растојања распрострањања зоне притиска експлозије и зоне топлотног зрачења не прелазе границе ни нишке ни пиротске депоније;
- пројектовањем и изградњом санитарних депонија смањиће се емисије депонијског гаса а контрола и праћење депонијског гаса биће боља;
- како су на свим депонијама у Републици Србији пројектовани пасивни системи за дегазацију депонијског гаса, пројектовањем активних система за дегазацију смањиће се ризик од настанка пожара и загађења ваздуха.

## **8. ЛИТЕРАТУРА**

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ  
ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

---

Докторска дисертација

- [1] Abdullah S.B. *Study on the Awareness of Consumer Relating to Landfilling as a Waste Disposal Alternative*, PhD. dissertation, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 2007.
- [2] ALOHA (Area locations of hazardous atmospheres) 5.4.4. Version, Technical documentation, Environmental Protection association (EPA), Seattle, Washington, USA, 2013.
- [3] Анализа акције гашења пожара, Република Србија, Министарство Унутрашњих Послова, Сектор за ванредне ситуације, Одељење за ванредне ситуације, 2011.
- [4] Borjesson, G. and Svensson, H. Seasonal and Diurnal Methane Emissions from a Landfill and Their Regulation by Methane Oxidation. *Waste Management & Research*, Vol. 15, No. 1 (1997), pp. 33-54.
- [5] Boyle, W.C. Energy Recovery from Sanitary Landfills. *A Review in Micro-Energy conversion*, pp. 119-138, Pergamon Press, NY, 1977.
- [6] Bramryd, T. Fluxes and accumulation of organic carbon in urban ecosystems on a global scale. *Urban Ecology*, pp. 3-12, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1982.
- [7] Budka, A., Aniel, D., Puglierin, L. and Stoppioni, E. Bioreactor and conventional landfill: LFG modeling after three management years of two compared cells in Sonzay, France. *Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia, Italy, 2007*.
- [8] Comparison of Models For Predicting Landfill Methane Recovery, Final Report, The Solid Waste Association of North America, 1997.
- [9] Crutcher, A.J., Rovers, F.A. and McBean, E.A. Temperature as an Indicator of Landfill Behavior. *Water, Air, and Soil Pollution*, Vol. 17, No. 2 (1982), pp. 213-223.
- [10] Data sources and methodology documentation, U.S. Fire Administration, National Fire Data Center, FEMA, March, 2014.
- [11] David, A. Landfill Gas Management in Canada. *Proceeding of the 1997 Air & Waste Management Association*, June 8-13, Toronto, 1997.
- [12] Dehann, J.D. *Kirk's Fire Investigation*. Sixth edition. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2007.

- [13] Dennett, M.F. *Fire investigation: a practical guide for students and officers, insurance investigators, loss adjustors and police officers*. Oxford, UK: Pergamon Press, 1980.
- [14] Determination of Nitrogen Oxides, Carbon Monoxide, and Oxygen Emissions from Natural Gas-Fired Engines, Boilers and Process Heaters Using Portable Analyzers, <http://www3.epa.gov/ttn/emc/ctm/ctm-030.pdf>
- [15] Drysdale, D. *An introduction to fire dynamics*. Chichester, UK: John Wiley and Sons Inc, 1985.
- [16] Ettala, M., Rahkonen, P., Rossi, E., Mangs, J. and Keski-Rahkonen, O. Landfill Fires in Finland. *Waste Management & Research*, Vol. 14, No. 4 (1996), pp.377-384.
- [17] Farquhar, G.J. Leachate: production and characterization. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 16, No.3 (1989), pp.317-325.
- [18] Field Procedures Handbook for the Operation of Landfill Biogas Systems, prepared by the International Solid Waste Association (ISWA), Working Group of Sanitary Landfills, 2005.
- [19] Gerardi, M. *The microbiology of anaerobic digesters*. John Wiley and sons, Inc. New Jersey, 2003.
- [20] Gregory, R.G., Attenborough, M.G., Hall, C.D. and Deed, C. The validation and development of an integrated landfill gas risk assessment model GasSim. *In Sardinia Proceedings 2003*, Cagliari, Italy, 2003.
- [21] Главни пројекат санације, затварања и рекултивације депоније "Бубањ" у Нишу, 4. Пројекат за прихватање и одвођење депонијског гаса 1218/1.Г.00.МП., Институт "Кирило Савић" а.д., Београд, 2005.
- [22] Главни пројекат санације, затварања и рекултивације депоније "Бубањ" у Нишу 1218/1.Г.00., 5. Главни пројекат прихватања и одвођења атмосферских вода ван тела депоније, Свеска 4, Институт "Кирило Савић" а.д. Београд, 2005.
- [23] Главни пројекат санације, затварања и рекултивације на сегменту С4 депоније "Бубањ" у Нишу, Хидрозавод ДТД а.д. Нови Сад, 2014.
- [24] Guidance for Evaluating Landfill Gas Emissions from Closed or Abandoned Facilities, prepared by U.S. Environmental Protection Agency (US EPA), September, 2005.
- [25] Guidance on the management of landfill gas, SEPA, Environment Agency, Bristol, UK, 2002.

- [26] Hanson, J.L., Yesiller, N. and Oettle, N.K. Spatial and Temporal Temperature Distributions in Municipal Solid Waste Landfills. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 136, No. 8 (2010), pp. 804–814.
- [27] Higher Operating Value Demonstrations and Response to Comments, prepared by Ohio Environmental Protection Agency (Ohio EPA), dated December 2010.
- [28] Intergovernmental Panel on Climate Change, The supplementary report to the IPCC scientific assessment, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- [29] IPCC Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, IPCC/OECD/IEA, Bracknell, UK, 1996. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>
- [30] Jones, H. A. and Nedwell, D. B. Methane emission and methane oxidation in land-fill cover soil. *FEMS Microbiology Ecology*, Vol.102, Issue 3-4 (1993), pp. 185-195.
- [31] Каранац, М., Јовановић, М., Михајловић, М., Дајић, А., Ставановић, Д. и Јовановић, Ј. Прилог техничком решавању пројектовања депонија у Србији. Рециклажа и одрживи развој, Vol. 8, No. 1(2015), стр.27-37.
- [32] Kightley, D., Nedwell, D.B. and Cooper, M. Capacity for Methane Oxidation in Landfill Cover Soils Measured in Laboratory-Scale Soil Microcosms. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 61, No. 2 (1995), pp.592-601.
- [33] Landfill Gas Emissions Model (LandGEM), Version 3.02, User's Guide, EPA-600/R-05/047, United States Environmental Protection Agency, May 2005.
- [34] Landfill Gas Industry Code of Practice, The Management of Landfill Gas, Environmental Service Association, UK, London, 2012. [http://www.esauk.org/reports\\_press\\_releases/esa\\_reports/LandfillgasICoP2012web.pdf](http://www.esauk.org/reports_press_releases/esa_reports/LandfillgasICoP2012web.pdf)
- [35] Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines, prepared by Conestoga-Rovers and Associates, Ministry of the Environment (ME), British Columbia (BC), March, 2010.
- [36] Landfill Gas Operation and Maintenance, Manual of Practice, Solid Waste Association of North America (SWANA), March 1997.
- [37] Landfill Off-Gas Collection and Treatment Systems, Engineering Manual, prepared by U.S. Army Corps of Engineers (USACE), May, 2008.
- [38] Landfill fires their magnitude, characteristic, and mitigation, Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration, National Fire Data Center, 2002.

- [39] Martin, J.W., Stark, T.D., Thalhamer, T., Gerbasi, G.T. and Gortner, R.E. Detection of Aluminum Waste Reactions and Waste Fires, 2011. <http://tstark.net/wp-content/uploads/2012/10/JP86.pdf>
- [40] Meima, J.A., Mora-Naranjo, N. and Haarstrick, A. Sensitivity analysis and literature review of parameters controlling local biodegradation processes in municipal solid waste landfills. *Waste Management*, Vol. 28, No.5 (2008), pp. 904-918.
- [41] Method 10 - Determination of carbon monoxide emissions from stationary sources (Instrumental analyzer procedure), <http://www3.epa.gov/ttn/emc/promgate/method10r06.pdf>
- [42] Method 3A - Determination of oxygen and carbon dioxide concentrations in emissions from stationary sources (Instrumental analyzer procedure), <http://www3.epa.gov/ttn/emc/promgate/method3A.pdf>
- [43] Method 6C - Determination of sulfur dioxide emissions from stationary sources (Instrumental analyzer procedure), <http://www3.epa.gov/ttn/emc/promgate/method6C.pdf>
- [44] Method 7E - Determination of nitrogen oxides emissions from stationary sources (Instrumental analyzer procedure), <http://www3.epa.gov/ttn/emc/promgate/method7E.pdf>
- [45] Милошевић, Л., Михајловић, Е., Ђорђевић, А. и Радосављевић, Ј. Анализа утицаја градских депонија на деградацију животне средине. *Зборник радова, Други научно-стручни скуп Политехника 2013 са међународним учешћем, Инжењерство и интеграције у области квалитета, безбедности и здравља на раду и животне средине*, Београдска политехника, стр.519 – 526, Београд, 2013.
- [46] Милошевић, Л., Михајловић, Е., Ђорђевић, А., Радосављевић, Ј. и Такић, Јб. Анализа аспекта заштите животне средине са посебним освртом на депоновање отпада и депонијске пожаре. *Зборник радова, 19. Међународна конференција Управљање квалитетом и поузданошћу*, 29-30. јуна, стр. 178-183, Пријевор, 2016.
- [47] Михајловић, Е., Млађан, Д. и Јанковић, Ж. *Процеси и средства за гашење пожара*, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш, 2009.
- [48] Mihajlović, E., Milošević, L., Radosavljević, J., Đorđević, A. and Krstić, I. Fire prediction for a non-sanitary landfill "Bubanj" in Serbia. *Thermal science*, OnLine - First, 2016. <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2016%20OnLine-First/0354-98361600129M.pdf>

- [49] Mihajlovic, E., Milosević, L., Radosavljevic, J., Djordjevic, A. and Zivkovic, Lj. Fire Risk Assessment for Bubanj Landfill, City of Niš, Serbia. *Požárni ochrana 2012 - Sborník přednášek - XXI ročníku mezinárodní konference*, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika, 2012, pp. 172-174.
- [50] Milosevic, L., Krstic, I., Mihajlovic, E., Djordjevic, A. and Radosavljevic, J. Fire at an Illegal Dump Site for Cable Insulation and Plastics. *Požárni ochrana 2015 - Sborník přednášek - XXIV ročníku mezinárodní konference*, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika, 2015, pp.182-185.
- [51] Milošević, L., Mihajlović, E., Djordjević, A., Radosavljević, J. and Živković, Lj. Generation and monitoring of methane at a municipal waste landfill. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, University of Niš, Vol.12, No.3 (2015), pp.329-339.
- [52] Milošević, L., Mihajlović, E., Đorđević, A. and Radosavljević, J. General principles and characteristics of formation and outbreak of sanitary landfill fires. *Journal for Scientists and Engineers - Safety Engineering*, Vol.5, No.2 (2015), University of Niš, Faculty of occupational safety, pp.91-94.
- [53] Milosevic, L., Mihajlovic, E., Radosavljevic, J. and Djordjevic, A. Passive Measures of Landfill Fire Protection. *Požárni ochrana 2013 - Sborník přednášek - XXII ročníku mezinárodní konference*, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika, 2013, pp.161-164.
- [54] Moqbel, S.Y. *Characterizing Spontaneous Fires in Landfills*. Doctoral dissertation, College of Engineering and Computer Science, University of Central Florida, Florida, 2009.
- [55] Национална стратегија управљања отпадом са програмом приближавања ЕУ, Министарство за заштиту природних богатстава и животне средине, Београд, мај 2003.
- [56] National Household Waste Analysis Projec-phase 2 volume 3, Chemical analysis data, Report No CWM/087/94, Wastes Technical Division, Department of the Environment, HMSO, London,1995.
- [57] Одлука о уређивању и одржавању депоније, "Сл. лист Града Новог Сада" бр. 6/2003, 47/2006 - др. одлука и 13/2014.
- [58] Oonk, J., Weenk, A., Coops, O. and Luning, L. Validation of landfill gas formation models. NOVEM Programme Energy Generation from Waste and Biomass (EWAB), TNO report 94-315, Apeldoorn, Netherlands, 1994.



- [59] Outil de calcul des émissions dans l'air de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> issues des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés, Ademe, France, 2003.
- [60] Owens, J.M. and Chynoweth, D.P. Biochemical Methane Potential of MSW Components, *Proceeding of International Symposium On Anaerobic Digestion of Solid Waste*, 14-17 April 1992, Venice, Italy.
- [61] Pacey, J. Factors Influencing Landfill Gas Production. *Proceeding of Joint UK/US Engineering Conference*, 28-31 October, pp. 51-59, Solihull, UK, 1986.
- [62] Preez, L. and Pieterse, T. Case study on leachate management at the Weltevreden solid waste disposal site, *6th International Landfill Symposium*, October 1997, S.Margherita di Pula, Sardinia, Italy, 1997.
- [63] Радосављевић, Ј. и Ђорђевић, А. *Депоније и депоновање комуналног отпада*. Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, Ниш, 2013.
- [64] Rajaram, V., Siddiqui, F.Z. and Khan, M.E. *From Landfill Gas to Energy: Technologies and Challenges*. CRS Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2012.
- [65] Регионална санитарна депонија чврстог комуналног отпада на локацији "Мунтина падина" Пирот, Главни технолошки пројекат, 1211.Г.00.ТП., Свеска 02, Институт "Кирило Савић" а.д., Београд, 2006.
- [66] Регионална санитарна депонија чврстог комуналног отпада на локацији "Мунтина падина" Пирот, Главни пројекат дегазација, 1211.Г.00.МП., Свеска 10, Институт "Кирило Савић" а.д., Београд, 2006.
- [67] Review and Investigation of deep-seated fires within landfill sites, Science Report: SC010066, Environment Agency, 2007.
- [68] Ristić, G., Djordjević, A., Hristov, S., Umičević, P., Petković, A. and Milošević, L. Methodology for route optimization for solid waste collection and transportation in urban areas. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, University of Niš, Vol.12, No.2 (2015), pp.187-197.
- [69] Rowe, R. K., Islam, M. Z., Brachman, R. W., Arnepalli, D. N. and Ewais, A. R. Antioxidant depletion from a high density polyethylene geomembrane under simulated landfill conditions. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, Vol. 136, No.7 (2010), pp. 930–939
- [70] Пројекат: Прелиминарна квалитативна и квантитативна анализа процедурних вода и гасова са депонија у циљу успостављања континуалног мониторинга,

- Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду, Департаман за инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, април 2009.
- [71] Scharff, H. and Jacobs, J. Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste Management*, Vol. 26 (2006) , pp. 417–429.
- [72] Scheepers, M.J.J., van Zanten, B. Handleiding Stortgaswinning. Adviescentrum Stortgas, Utrecht, Netherlands, 1994.
- [73] Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M. and Spokas, K. Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions. *Waste Management & Research*, Vol. 27, No. 5 (2009), pp. 409-455.
- [74] Seminar Publication: Design and Construction of RCRA/CERCLA Final Covers, Center for Environment Research Information, United State Environmental Protection Agency , US EPA Cincinnati, Ohio, USA. EPA/625/4-91/025, 1991.
- [75] Shariatmadari, N., Sabour, M. R, Kamalan, H., Mansouri, A. and Abolfazlzadeh, M. Applying simple numerical model to predict methane emission from landfill. *J. Applied Sci.*, Vol.7, No.11(2007), pp. 1511-1515.
- [76] Становништво, Упоредни преглед броја становника 1948, 1953, 1961, 1971, 1981, 1991, . и 2012, Подаци по насељима, Република Србија, Републички завод за статистику, Београд, 2014. <http://www.bojnik.rs/pdf/knjiga09.pdf>
- [77] Статистика отпада и управљање отпадом у Републици Србији, Републички завод за статистику, Београд, 2012.
- [78] Стратегија управљања отпадом за период 2010-2019. године, "Сл. гласник РС", бр.29/2010.
- [79] SNV Metangas från avfallsupplag, Statens Naturvårdsverket, SNV Rapport 4271, 1993.
- [80] SNV Sverige mot minskad klimatpåverkan, Statens Naturvårdsverket, SNV Rapport 4459,1994.
- [81] Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S.A. *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International, New York, 1993.
- [82] Test Method - Determination of Oxygen, Carbon Monoxide and Oxides of Nitrogen from Stationary Sources For Periodic Monitoring (Portable Electrochemical Analyzer Procedure), <http://www3.epa.gov/ttn/emc/ctm/ctm-034.pdf>
- [83] Thalhamer, T. Waste Fires, Investigation, Evaluation and Response. *U.S. EPA OSC Conference*, Orlando, Florida, 2011.

- [84] Уредба о одлагању отпада на депоније ,“Службени гласник РС“, бр.92/2010.
- [85] Уредба о условима за мониторинг и захтевима квалитета ваздуха ,“Сл. гласник РС“, број 11/2010, 75/2010 и 63/2013.
- [86] US EPA Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills - Back-ground Information for Final Standards and Guidelines, Emission Standards Division, (US EPA-453/R-94-021). Office of Air and Radiation Office of Air Quality Planning and Standards, United States Environmental Protection Agency,1995.
- [87] Vujić, G., Jovičić, N., Đurović-Petrović, M., Ubavin D., Nakomčić, B., Jovičić, G. and Gordić, D. Influence of Ambience Temperature and Operational-Constructive Parameters on Landfill Gas Generation – Case Study, Novi Sad, *Thermal Science*, Vol. 14, Issue 2 (2010), pp. 555-564.
- [88] Whalen, S.C., Reeburgh, W.S. and Sandbeck, K.A. Rapid Methane Oxidation in a Landfill Cover Soil. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 56, No. 11(1990), pp. 3405-3411.
- [89] Williams, P.T. *Waste treatment and disposal*. Second edition, John Wiley & Sons, 2005.
- [90] Закон о управљању отпадом ,“Службени гласник РС“, број 36/09 и 88/2010.

### Интернет извори

- [91] <http://mebig.marmara.edu.tr/Enve330/Chapter11.pdf>
- [92] <http://www.afvalzorg.nl/>
- [93] <http://www.afvalzorg.nl/en/Landfill-sites/Emissions-management/Methane-emissions>
- [94] <http://www.amazon.com/Guide-EasIR-9-Electrical-inspection-diagnostics/dp/B00Q6F0648>
- [95] <http://www.epa.gov/compliance/demonstrating-compliance-new-source-performance-standards-and-state-implementation-plans>
- [96] [http://www.eper.de/startseite/faq/deponien/deponie\\_v\\_anlage.pdf](http://www.eper.de/startseite/faq/deponien/deponie_v_anlage.pdf).
- [97] <http://www.google.rs/maps/@43.3002505,21.8793353,4620m/data=!3m1!1e3>
- [98] <http://www.google.rs/maps/place/ЈКП+Регионална+депонија+Пирот/@43.1801761,22.586854,4660m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x4755186c6aa9e399:0x57372e2dcf986ff5!8m2!3d43.1940893!4d22.5551779>
- [99] <http://www.hidmet.gov.rs>
- [100] <http://www.jkpdeponijapirot.rs/galerija/?lang=lat>

- [101] <http://www.mru-instruments.com/products/vario-plus-industrial>
- [102] [http://www.projectnavigator.com/downloads/Landfills\\_Enhanced\\_Oxidation\\_Conditions\\_3-4-10.pdf](http://www.projectnavigator.com/downloads/Landfills_Enhanced_Oxidation_Conditions_3-4-10.pdf)
- [103] <http://www.srem-macva.rs/galerija/izgradnja-deponije/izgradnja-deponije-drenaza-podzemnih-voda>
- [104] [https://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdh\\_chapter1.pdf](https://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdh_chapter1.pdf)
- [105] <http://energy2001.com/about-us/how-we-make-energy>

---

## БИОГРАФИЈА АУТОРА



Лидија Милошевић рођена је у Крушевцу 06.01.1974. године. Основну школу "Коле Рашић" и Гимназију "9. мај" завршила је у Нишу. На Факултету заштите на раду у Нишу, смер Заштита од пожара, дипломирала је 2000. године са просечном оценом 8,72. Одбраном дипломског рада под називом "Пожарни премази за заштиту челичне конструкције", стекла је звање дипломирани инжењер заштите од пожара.

Магистарске студије на Факултету заштите на раду у Нишу, смер Заштита од пожара, завршила је децембра 2011. године са просечном оценом 10. Одбранила је магистарску тезу под називом "Нумерички методи за одређивање отпорности армирано-бетонских конструкција на дејство пожара" и стекла звање магистар техничких наука-заштите од пожара.

Октобра месеца 2005. године засновала је радни однос са пуним радним временом на Факултету заштите на раду у Нишу, као сарадник у звању асистент-приправник за ужу научну област Заштита од пожара и експлозија. У звање асистента изабрана је 2012. године за ужу научну област Енергетски процеси и заштита. Ангажована је за извођење вежби из предмета: Пожари и експлозије, Заштита зграда од пожара, Теорија отпорности на дејство пожара, Ванредне ситуације и Системи управљања ванредним ситуацијама.

Лидија Милошевић је аутор и коаутор већег броја радова саопштених и објављених на скуповима домаћег и међународног значаја као и у часописима међународног значаја.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

### МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

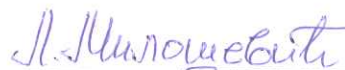
која је одбрањена на Факултету заштите на раду у Нишу, Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивала на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредила ауторска права, нити злоупотребила интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 29.08.2016. год.

Потпис аутора дисертације:



---

Др Лидија Т. Милошевић

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА  
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

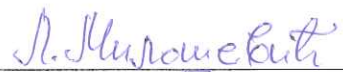
Наслов дисертације:

**МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП  
ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД  
ДЕПОНИЈСКОГ ПОЖАРА У ЦИЉУ  
ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предала за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 29.08.2016. год.

Потпис аутора дисертације:



---

Др Лидија Т. Милошевић

## ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

### МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП ПРОЦЕНЕ РИЗИКА ОД ДЕПОНИЈСКОГ ПОЖАРА У ЦИЉУ ОЦЕНЕ ЗАГАЂЕНОСТИ ВАЗДУХА

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

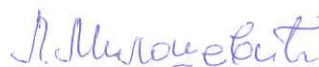
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

У Нишу, 29.08.2016. год.

Потпис аутора дисертације:



Др Лидија Т. Милошевић