



**UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
U NOVOM SADU**



Mr Dejan Jovanov

**MODEL OPTIMIZACIJE MONITORINGA  
DEPONIJSKOG GASA I PROCEDNE VODE NA  
ZATVORENIM DEPONIJAMA**

**DOKTORSKA DISERTACIJA**

Mentor: Prof. dr Goran Vujić

**Novi Sad, 2016. godine**

**UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA**

21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

**KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA**

Redni broj, <b>RBR:</b>	
Identifikacioni broj, <b>IBR:</b>	
Tip dokumentacije, <b>TD:</b>	Monografska dokumentacija
Tip zapisa, <b>TZ:</b>	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada, <b>VR:</b>	Doktorska disertacija
Autor, <b>AU:</b>	Mr Dejan Jovanov
Mentor, <b>MN:</b>	Prof. dr Goran Vujić, vanredni profesor
Naslov rada, <b>NR:</b>	Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama
Jezik publikacije, <b>JP:</b>	Srpski
Jezik izvoda, <b>JI:</b>	Srpski/Engleski
Zemlja publikovanja, <b>ZP:</b>	Republika Srbija
Uže geografsko područje, <b>UGP:</b>	Autonomna Pokrajina Vojvodina
Godina, <b>GO:</b>	2016
Izdavač, <b>IZ:</b>	Autorski reprint
Mesto i adresa, <b>MA:</b>	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Fizički opis rada, <b>FO:</b>	
Poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga	12/157/138/60/4/26/3
Naučna oblast, <b>NO:</b>	Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu
Naučna disciplina, <b>ND:</b>	Upravljanje otpadom
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO:</b>	Deponijski gas, procedna voda, monitoring, model optimizacije
<b>UDK</b>	
Čuva se, <b>ČU:</b>	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka Novi Sad
Važna napomena, <b>VN:</b>	
Izvod, <b>IZ:</b>	U okviru disertacije, korišćenjem linearnog programiranja, definisani su različiti modeli za optimizaciju monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama. Razvoj modela je baziran na grafičkoj metodi linearnog programiranja i upotrebi softvera GeoGebra. Na osnovu dobijenih rezultata, identifikovani su parametri monitoringa procedne vode kao i obim monitoringa deponijskog gasa i procedne vode. Evaluirani su ekonomski i legislativni efekti modelovanja i uočene značajne mogućnosti uštede i unapređenja procesa monitoring zatvorenih deponija.
Datum prihvatanja teme, <b>DP:</b>	
Datum odbrane, <b>DO:</b>	
Članovi Komisije, <b>KO:</b>	Predsednik Dr Dejan Ubavin, docent
	Član Dr Nemanja Stanisavljević, docent
	Član Dr Ljiljana Vukić, vanredni profesor
	Član Dr Bojan Batinić, docent
	Član, mentor Dr Goran Vujić, vanredni profesor
	Potpis mentora


**UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES**

21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

**KEY WORDS DOCUMENTATION**

Accession number, <b>ANO</b> :		
Identification number, <b>INO</b> :		
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication	
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed document	
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis	
Author, <b>AU</b> :	Mr Dejan Jovanov	
Mentor, <b>MN</b> :	Prof. dr Goran Vujić, Associate professor	
Title, <b>TI</b> :	Model of optimization of landfill gas and leachate monitoring on closed landfills	
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian	
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English	
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia	
Locality of publication, <b>LP</b> :	Autonomus Region of Vojvodina	
Publication year, <b>PY</b> :	2016	
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint	
Publication place, <b>PP</b> :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad	
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	12/157/137/60/4/26/3	
Scientific field, <b>SF</b> :	Environmental Engineering and Occupational Safety and Health	
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Waste Management	
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Landfill gas, leachate, monitoring, optimization model	
<b>UC</b>		
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Science in Novi Sad	
Note, <b>N</b> :		
Abstract, <b>AB</b> :	This doctoral dissertation, by using the linear programming, has defined the various optimization models for the monitoring of landfill gas and leachate at the closed landfills. The development of the model is based on graphical method of linear programming and the usage of GeoGebra software. According to the results, leachate monitoring parameters and landfill gas and leachate monitoring volume have been identified. The economical and legislative effects of the models have also been evaluated, as well as the considerate possibilities for financial saving and improvement of the closed landfill monitoring process.	
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :		
Defended on, <b>DE</b> :		
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Dr Dejan Ubavin, Assistant professor	
	Member: Dr Nemanja Stanisavljević, Assistant professor	
	Member: Dr Ljiljana Vukić, Assistant professor	Mentor's signature
	Member: Dr Bojan Batinić, Assistant professor	
	Member/Mentor: Dr Goran Vujić, Assistant professor	

## SADRŽAJ

SPISAK TABELA	3
SPISAK DIJAGRAMA	6
SPISAK SLIKA	8
LISTA SKRAĆENICA	9
<b>1. Uvod</b>	10
<b>2. Odlaganje otpada i procesi u deponiji</b>	14
2.1 Odlaganje otpada na sanitarne deponije	14
2.2 Fizičko – hemijska i biološka dinamika deponije	16
2.3 Generisanje i sastav deponijskog gasa	18
2.4 Generisanje i sastav procedne vode	23
2.5 Uticaj deponije na životnu sredinu	27
2.6 Uticaj deponije na zdravlje ljudi	28
2.7 Zatvaranje deponije	29
<b>3. Monitoring deponije</b>	32
3.1 Značaj i predmet monitoringa životne sredine	32
3.2 Odlaganje otpada i monitoring po standardima EU	32
3.3 Upravljanje otpadom u Republici Srbiji	34
3.4 Monitoring sanitarnih deponija po standardima Republike Srbije	36
3.5 Monitoring nesanitarnih deponija – smetlišta	43
3.6 Ostali primeri monitoringa i registara	43
3.7 Troškovi sprovođenja monitoringa deponijskog gasa i procedne vode zatvorene deponije u Srbiji	44
<b>4. Osnove i motiv istraživanja</b>	47
4.1 Definisane istraživačkih ciljeva i postavljanje hipoteze	47
<b>5. Pregled literature i vladajućih stavova</b>	50
<b>6. Eksperimentalni i teorijski okvir istraživanja</b>	55
6.1 Područje istraživanja	55
6.2 Obim istraživanja i analitičke metode	56
6.3 Teorijski okvir empirijskog dela istraživanja	57
<b>7. Rezultati</b>	66
7.1 Rezultati monitoringa	66
7.1.1 Deponijski gas	66
7.1.2 Procedna voda	71
7.2 Rezime monitoringa deponijskog gasa i procedne vode	79
7.3 Rezultati optimizacije modela monitoring deponijskog gasa i procedne vode primenom grafičke metode linearnog programiranja	80
7.4 Rezime optimizacije monitoringa	98

<b>8.</b>	<b>Identifikacija parametara monitoringa</b>	100
<b>9.</b>	<b>Ekonomski efekti optimizovanog modela</b>	103
<b>10.</b>	<b>Legislativni efekti optimizovanog modela</b>	105
	10.1 Opšti sadržaj dozvole za upravljanje otpadom	105
	10.2 Predloženi sadržaj dozvole za odlaganje otpada primenom optimizovanog modela	107
	10.3 Predloženi način sprovođenja monitoringa zatvorene nesanitarnе deponije – smetlišta primenom optimizovanog modela	108
<b>11.</b>	<b>Zaključak</b>	110
<b>12.</b>	<b>Literatura</b>	113
	<i>Prilozi</i>	121

## **SPISAK TABELA:**

*Tabela 2.1: Prosečan sastav deponijskog gasa*

*Tabela 2.2: Sastav procednih voda sa deponija komunalnog otpada*

*Tabela 2.3: Formiranje gornjeg prekrivnog sloja*

*Tabela 3.1: Način merenja meteoroloških parametara*

*Tabela 3.2: Učestalost merenja monitoring površinskih voda, procedne vode i emisije gasova*

*Tabela 3.3: Učestalost merenja i sastava podzemne vode*

*Tabela 3.4: Merenje stabilnosti tela deponije*

*Tabela 3.5: Parametri i granične vrednosti emisije otpadnih voda od odlaganja otpada na površini – granične vrednosti emisije na mestu ispuštanja u površinske vode*

*Tabela 3.6: Granične vrednosti emisije pre mešanja sa ostalim otpadnim vodama na nivou pogona*

*Tabela 3.7: Lista parametara koji mogu biti mereni u akreditovanoj laboratoriji*

*Tabela 5.1: Promene u sastavu procedne vode tokom različitih faza deponije*

*Tabela 5.2: Monitoring deponijskog gasa na zatvorenim deponijama*

*Tabela 5.3: Monitoring procednih voda na zatvorenim deponijama*

*Tabela 6.1: Tabelarni prikaz modela linearnog programiranja*

*Tabela 7.1: Prikaz koordinata biotrnova na zatvorenoj deponiji u Zrenjaninu na kojima je vršen monitoring*

*Tabela 7.2: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B4*

*Tabela 7.3: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B10*

*Tabela 7.4: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B15*

*Tabela 7.5: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B23*

*Tabela 7.6: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B28*

*Tabela 7.7: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B4*

*Tabela 7.8: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B10*

*Tabela 7.9: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B15*

*Tabela 7.10: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B23*

*Tabela 7.11: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B28*

*Tabela 7.12: Model optimizacije 5/23*

*Tabela 7.13: Koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/23*

*Tabela 7.14: Koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/23*

*Tabela 7.15: Model optimizacije 5/10*

*Tabela 7.16: Koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/10*

*Tabela 7.17: Koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/10*

*Tabela 7.18: Model optimizacije 5/10-II*

*Tabela 7.19: Koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/10-II*

*Tabela 7.20: Koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/10-II*

*Tabela 7.21: Model optimizacije 2/10*

*Tabela 7.22: Koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 2/10*

*Tabela 7.23: Koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 2/10*

*Tabela 7.24: Model optimizacije 3/2*

*Tabela 7.25: Koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 3/2*

*Tabela 7.26: Koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 3/2*

*Tabela 7.27: Rezultati optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode*

*Tabela 7.28: Prikaz submodela modela 5/10-II*

*Tabela 8.1: Parametri procedne vode koji se predlažu za obavezno merenje*

*Tabela 9.1: Uporedni prikaz troškova monitoringa procedne vode i deponijskog gasa*

*Tabela P.1a: Rezultati merenja deponijskog gasa iz jula 2013. godine*

*Tabela P.1b: Rezultati merenja procedne vode iz jula 2013. godine*

*Tabela P.1c: Rezultati merenja deponijskog gasa iz avgusta 2013. godine*

*Tabela P.1d: Rezultati merenja procedne vode iz avgusta 2013. godine*

*Tabela P.1e: Rezultati merenja deponijskog gasa iz septembra 2013. godine*

*Tabela P. 1f: Rezultati merenja procedne vode iz septembra 2013. godine*

*Tabela P. 1g: Rezultati merenja deponijskog gasa iz oktobra 2013. godine*

*Tabela P. 1h: Rezultati merenja procedne vode iz oktobra 2013. godine*

*Tabela P. 1i: Rezultati merenja deponijskog gasa iz novembra 2013. godine*

*Tabela P. 1j: Rezultati merenja procedne vode iz novembra 2013. godine*

*Tabela P. 1k: Rezultati merenja deponijskog gasa iz decembra 2013. godine*

*Tabela P. 1l: Rezultati merenja procedne vode iz decembra 2013. godine*

*Tabela P. 1m: Rezultati merenja deponijskog gasa iz juna 2015. godine*

*Tabela P. 1n: Rezultati merenja procedne vode iz juna 2015. godine*

*Tabela P.2a: Metode analize procedne vode*

*Tabela P.2b: Metode analize deponijskog gasa*



## **SPISAK DIJAGRAMA:**

*Dijagram 1: Generisanje deponijskog gasa tokom vremena*

*Dijagram 2: Faze razgradnje i promena sastava deponijskog gasa*

*Dijagram 3: Faze promene sastava procedne vode u deponiji*

*Dijagram 4: Faza II - Unošenje ograničenja u dijagram Grafičke metode linearnog programiranja*

*Dijagram 5: Faza III - Definisane oblasti dopustivih rešenja u dijagramu Grafičke metode linearnog programiranja*

*Dijagram 6: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B4*

*Dijagram 7: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B10*

*Dijagram 8: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B15*

*Dijagram 9: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B23*

*Dijagram 10: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B28*

*Dijagram 11: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B4*

*Dijagram 12: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B4*

*Dijagram 13: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B10*

*Dijagram 14: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B10*

*Dijagram 15: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B15*

*Dijagram 16: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B15*

*Dijagram 17: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B23*

*Dijagram 18: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B23*

*Dijagram 19: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B28*

*Dijagram 20: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B28*

*Dijagram 21: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/23*

*Dijagram 22: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/10*

*Dijagram 23: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/10-II*

*Dijagram 24: Dopustivi skup rešenja za monitoring 2/10*

*Dijagram 25: Dopustivi skup rešenja za monitoring 3/2*

*Dijagram 26: Funkcije troškova i dopustive oblasti modela 5/10-II*

**SPISAK SLIKA:**

*Slika 1: Proces degradacije organske komponente otpad*

*Slika 2: Prostorni raspored smetlišta u Srbiji*

*Slika 3: Raspored biotrnova na zatvorenoj deponiji u Zrenjaninu*

*Slika 4: Šematski prikaz procesa optimizacije*

## **LISTA SKRAĆENICA:**

*AOX – Adsorbujući organski halogeni (Adsorbable Organic Halogens)*

*CFCs – Hlorofluorougljenici (Chlorofluorocarbons)*

*EC – Evropski Savet (European Council)*

*ES – Ekvivalentni stanovnik*

*EU – Evropska Unija (European Union)*

*GHG – Gas sa efektom staklene baste (Greenhouse Gas)*

*ISO – Međunarodna organizacija za standardizaciju (International Organization for Standardization)*

*NIMBY – „Ne u mom dvorištu“ (Not In My Backyard)*

*NMOC – Nemetanska organska jedinjenja (Non-methane Organic Compound)*

*PAH – Policiklični aromatični ugljovodonici (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)*

*PCC – Staranje nakon zatvaranja deponije (Post Closure Care)*

*PCB – Polihlorovani bifenili (Polychlorinated biphenyls)*

*PRTR – Protokol o registru ispuštanja i prenosa zagađujućih supstanci (Protocol on Pollutant Release and Transfer Register)*

*SRPS – Skraćena oznaka srpskog standarda*

*UN ECE – Ekonomska komisija Ujedinjenih nacija za Evropu (United Nations Economic Commission for Europe)*

*UNEP – Program Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (United Nations Environment Programme)*

*US EPA – Američka agencija za zaštitu životne sredine (United States Environmental Protection Agency)*

*VOCs – Ispraljiva organska jedinjenja (Volatile Organic Compounds)*

*BPK<sub>5</sub> – petodnevna biološka potrošnja kiseonika*

*HPK – hemijska potrošnja kiseonika*

*TOC – ukupni organski ugljenik (Total Organic Carbon)*

## 1. Uvod

Milioni tona komunalnog otpada se svakog dana odlažu na hiljadama odlagališta otpada širom sveta, na uređenim ili neuređenim deponijama. Kao rezultat raspadanja otpada, dolazi do produkcije zagađujućih materija, pre svega deponijskog gasa, procedne vode i drugih otpadnih materija koje mogu imati izuzetno negativan uticaj na životnu sredinu, ukoliko se ne preduzmu sve neophodne zaštitne mere. Na otpadne materije sa deponije se u današnje vreme obraća velika pažnja, što zbog njihovog lokalnog uticaja i mogućnosti iskorišćenja energetskog potencijala otpada, tako i zbog uticaja na globalne klimatske promene.

Najvažniji produkti fazne razgradnje čvrstog komunalnog otpada i komponente sa potencijalno najvećim uticajem na životnu sredinu su deponijski gas i procedna voda (*Wall i Zeiss, 1995*). Deponijski gas nastaje na deponijama na kojima je odlagan (ili se odlaže) biorazgradljivi otpad bakterijskom razgradnjom, volatilizacijom i hemijskim reakcijama. Procedne vode nastaju rastvaranjem čvrstih supstanci u vodi koja se proceđuje kroz telo deponije.

Najvažniji sastojci deponijskog gasa su metan (CH<sub>4</sub>) i ugljen dioksid (CO<sub>2</sub>), koji predstavljaju nusproizvode biološke razgradnje organskog otpada pod dejstvom bakterija (*Abushamala i dr., 2009*)

Otpad koji se odlaže na deponijama je potencijalno zapaljiva materija, koja može da prouzrokuje, kako površinske, tako i požare ispod površine. Najzapaljiviji materijali na deponiji su papir, plastika i delovi baštenskog otpada, kao i određene materije nastale iz procesa proizvodnje koje su deponovane na deponiji a koja su po svom sastavu veoma zapaljiva. Deponijski gas je zapaljiva i potencijalno veoma štetna smeša metana, ugljen dioksida i drugih pratećih jedinjenja (*Brown i Moulder, 1994*).

Procednom vodom se naziva voda koja se proceđuje kroz telo deponije. Procedna voda predstavlja složenu, heterogenu smešu promenljivog sastava, koja se sastoji od različitih organskih i neorganskih jedinjenja i mikroorganizama (*Kjeldsen i dr., 2002*) U telu deponije, voda se generiše tokom procesa degradacije biorazgradljivih organskih materija. Prisustvo vode je rezultat atmosfereke precipitacije, kao i površinskih vodenih tokova. Opšte karakteristike procednih voda deponije su jak miris i tamno-bron boja, visoki koncentracioni nivoi polutanata, kao i vrednosti biološke potrošnje .

Neadekvatno upravljanje otpadom predstavlja jedan od najvećih problema Republike Srbije u oblasti zaštite životne sredine. Rezultati brojnih istraživanja ukazuju da u Srbiji postoji više od 3.500 deponija, od čega su 180 zvanične komunalne deponije, dok su sve ostalo uglavnom nelegalna odlagališta otpada. Rezultati pokazuju da se u Srbiji generiše 2.374.375 tona otpada godišnje ili u proseku 0,87 kg po glavi stanovnika dnevno. Najdominantnija kategorija je baštenski otpad (12,14%) i drugi biodegradibilni otpad (37,62%), potom plastika (10%) i njena podkategorija – plastične kese (4-7%). Papir, staklo i karton učestvuju sa 2% do 10%. Sastav otpada je prilično sličan i u drugim zemljama u razvoju. U Srbiji postoji desetak izgrađenih regionalnih deponija koje pokrivaju oko 22% od ukupne količine otpada u Srbiji, a veliki broj

opština i gradova je još uvek u proceduri izrade planske i projektne dokumentacije (Vujić i dr., 2010).

Deponije su posebno odabrane lokacije za tehničko-tehnološko organizovano odlaganje i tretman čvrstog komunalnog otpada, a strukturno, to su fazno-heterogeni sistemi (čvrsta, tečna i gasovita faza) u kojima se na relativno maloj površini nalazi veliki broj materija sa različitim fizičko-hemijskim osobinama (Kolomejceva, 2010). Projektovanje, izgradnja, eksploatacija i zatvaranje deponija su regulisani zakonskim i podzakonskim aktima. U takvim sistemima se mogu odigravati mnogobrojne hemijske reakcije, pre svega kiselo-bazne, oksido-redukcione i adsorpcione u kojima nastaju kompleksna jedinjenja (Baedeker i Black 1979). Ovaj jak reakcioni potencijal je uslovljen činjenicom da se većina prisutnih materija – reaktanata, nalazi u čvrstom stanju. Tokom života deponije, razlikuju se dve faze – prva predstavlja period intenzivne hemijske aktivnosti (do 10 godina), dok je druga znatno manje aktivna, ali je mnogo duža i može se meriti decenijama. Pretpostavlja se da na kraju druge faze deponija dostiže stabilno fizičko i hemijsko stanje. Zato je vrlo važno da se deponije organizuju tako da se procesi u njima ubrzaju do maksimuma i da se olakša kontrola nad produktima koji se u njima obrazuju.

Zakonodavstvo u oblasti zaštite životne sredine na nacionalnim nivoima koje definiše upravljanje otpadom je veoma razvijeno. Direktiva Saveta Evrope 1999/31/EC (*Council Directive 99/31/EC on the landfill of waste*) o deponijama otpada, zabranjuje na teritoriji EU deponovanje pojedinih vrsta opasnog otpada, tečnih otpada i guma. Direktiva postavlja za cilj redukovanje deponovanih količina biorazgradivog komunalnog otpada. Direktivom se zahteva da sav otpad mora biti tretiran pre deponovanja, tj. zabranjuje se deponovanje netretiranog otpada. Ovom direktivom o deponovanju otpada uvodi se klasifikacija deponija, prema vrsti otpada za koju je namenjena, na deponije za opasan, neopasan i inertan otpad. U direktivi se uvodi zabrana odlaganja za:

- biorazgradiv otpad,
- tečni otpad,
- zapaljiv ili izuzetno zapaljiv otpad,
- eksplozivni otpad.

Prema direktivi zajedničko odlaganje inertnog, opasnog i komunalnog otpada nije dozvoljeno. Direktiva sadrži niz opštih kriterijuma za određivanje lokacije deponija i mera zaštite vode, tla i vazduha kroz primenu sakupljanja i prečišćavanja procednih voda i sakupljanja i korišćenja deponijskog gasa uz obnavljanje energije. Ukoliko se gas ne koristi za proizvodnju energije on se mora sagorevati radi sprečavanja njegove emisije u atmosferu. Takođe, za sve klase deponija zahteva se pokrivanje površine deponije slojem debljine veće od 1 m, zatim merenje i praćenje određenih radnih parametara i zabrana ilegalnog odlaganja otpada. Za sva zahtevana merenja direktivom se propisuju i vremenski periodi kada se ona moraju sprovesti u toku perioda rada deponije kao i posle njenog zatvaranja. Monitoring se prema ovoj direktivi sprovodi na zatvorenim deponijama najmanje 30 godina, dok se u pojedinim zemljama monitoring zatvorene deponije sprovodi čitav vek.

Srpsko zakonodavstvo problematiku upravljanja otpadom reguliše Zakonom o upravljanju otpadom („*Službeni glasnik RS*“ broj 36/09, 88/10 i 14/16). U pregledu terminoloških odrednica, navodi se da je deponija mesto za konačno sanitarno odlaganje otpada na površini ili ispod površine zemlje uključujući interna mesta za odlaganje (deponija gde proizvođač odlaže sopstveni otpad na mestu nastanka) i stalna mesta (više od jedne godine) koja se koriste za privremeno skladištenje otpada, ali isključujući skladišta gde se otpad istovara radi pripreme za dalji transport do mesta za tretman, odnosno ponovno iskorišćenje ili odlaganje na drugim lokacijama i skladištenje otpada pre tretmana, odnosno ponovnog iskorišćenja najduže do tri godine ili skladištenje otpada pre odlaganja najduže do jedne godine). Takođe, definisano je da je divlja deponija mesto, javna površina, na kojoj se nalaze nekontrolisano odložene različite vrste otpada i koje ne ispunjava uslove utvrđene propisom kojim se uređuje odlaganje otpada na deponije a da je nesanitarna deponija – smetlište jeste mesto gde jedinice lokalne samouprave odlažu otpad u polukontrolisanim uslovima, kojim upravlja javno komunalno preduzeće i koje ima određenu infrastrukturu (ogradu, kapiju, buldožer), a telo deponije nije izgrađeno u skladu sa propisom kojim se uređuje odlaganje otpada na deponije (nema vodonepropusni sloj, drenažni sistem za odvođenje otpadnih voda i drugo).

Istim zakonom (član 42.), propisuje da se odlaganje otpada na deponiju vrši ako ne postoji drugo odgovarajuće rešenje, u skladu sa načelom hijerarhije upravljanja otpadom. Pre odlaganja, operater na deponiji obezbeđuje proveru dopremljenog otpada, odnosno njegovu identifikaciju prema vrsti, količini i svojstvima, kroz utvrđivanje mase otpada i kontrolu prateće dokumentacije pre preuzimanja. Uredbom o odlaganju otpada na deponije („*Službeni glasnik RS*“ broj 92/10), bliže se propisuju uslovi i za određivanje lokacije, tehnički i tehnološki uslovi za projektovanje, izgradnju i rad deponija otpada, vrste otpada čije je odlaganje na deponiji zabranjeno, količine biorazgradivog otpada koje se mogu odložiti, kriterijumi i procedure za prihvatanje ili neprihvatanje, odnosno odlaganje otpada na deponiju, način i procedure rada i zatvaranja deponije, sadržaj i način monitoringa rada deponije, kao i naknadnog održavanja posle zatvaranja deponije.

Pored toga, obaveza vođenja evidencije o otpadu, definisana je i Protokolom o registru ispuštanja i prenosa zagađujućih supstanci (*PRTR – Protocol on pollutant release and transfer register*) je poseban međunarodni ugovor usvojen na Petoj ministarskoj konferenciji "Životna sredina za Evropu" održanoj u Kijevu (Ukrajina) u maju 2003. godine. Ovaj protokol je ratifikovan početkom 2006. godine u Agenciji za zaštitu životne sredine kada su i započete aktivnosti na uspostavljanju nacionalnog registra izvora zagađivanja, koji uključuje i aktivnosti na implementaciji PRTR protokola Arhuske konvencije u Republici Srbiji. Podaci za PRTR se, u principu, prikupljaju iz tačkastih izvora zagađivanja, fabričkih postrojenja, ali i iz difuznih (linijskih i površinskih) izvora, kao sto su poljoprivredne operacije i transport. Ovo uključuje informacije o ispuštanjima u vazduh, vodu i zemljište, kao i transport otpada na organizovana odlagališta.

Monitoring u širem značenju reči označava redovno posmatranje i beleženje aktivnosti koje se odvijaju u okviru nekog projekta ili procesa. To je proces organizovanog, sistematskog i kontinualnog prikupljanja informacija (fizičkih, hemijskih i/ili bioloških) o svim aspektima životne sredine radi donošenja zaključaka o daljim aktivnostima (*USEPA, 2005*).

Imajući u vidu procese koji se odvijaju, kvalitativni i kvantitativni sastav otpada koji se nalazi na relativno malom prostoru i međusobne interakcije između komponenti otpada, dugoročni monitoring ne organizovanog i ne uređenog odlagališta otpada – smetlišta kao i organizovanog i uređenog odlagališta otpada – sanitarne deponije, tokom i nakon rada je jedan od ključnih zadataka i aktivnosti u oblasti upravljanja otpadom, jer negativni uticaji odlagališta otpadom, mogu trajno degradirati životnu sredinu ne samo na lokalnom, već i na globalnom nivou.

S tim u vezi, cilj ovog istraživanja je definisanje optimalnog modela monitoringa procednih voda i deponijskog gasa na zatvorenim deponijama, koji će biti dimezionisan u skladu sa zakonskim normama i pravilima struke, održiv na duži vremenski period i finansijski ekonomičan i koji će u budućnosti operateru na deponiji davati pouzdane podatke o fizičko – hemijskim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.



## 2. Odlaganje otpada i procesi u deponiji

### 2.1 Odlaganje otpada na sanitarne deponije

U skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponiju („Službeni glasnik RS“ broj 92/2010), lokacija za izgradnju sanitarne deponije se određuje kada karakteristike i svojstva predviđenog prostora ispunjavaju uslove utvrđene ovom uredbom. Pri izboru lokacije za deponiju uzimaju se u obzir opšti uslovi i kriterijumi koji se odnose na:

- 1) namenu prostora i korišćenje zemljišta;
- 2) topografiju terena;
- 3) inženjerskogeološke, geotehničke, hidrogeološke i seizmičke uslove na posmatranom području;
- 4) klimatske, hidrološke i hidrografske karakteristike posmatranog područja;
- 5) zone i uslove zaštite;
- 6) saobraćajnu i tehničku infrastrukturu;
- 7) moguću zapreminu i kapacitet prostora.

Deponija se projektuje tako da zadovoljava potrebne uslove za sprečavanje zagađenja zemljišta, podzemnih i površinskih voda, vazduha i da obezbedi kontrolisano upravljanje procednim vodama i izdvojenim gasovima. Zaštita zemljišta, podzemnih i površinskih voda postiže se kombinacijom geološke barijere i donjeg nepropusnog sloja za vreme aktivne faze deponije i kombinacijom geološke barijere i gornjeg nepropusnog sloja za vreme pasivne faze nakon zatvaranja deponije. Zaštita vazduha postiže se postavljanjem odgovarajućeg sistema za otplinjavanje i redovnim prekrivanjem otpada inertnim materijalom.

Tehničko tehnološki uslovi za izgradnju deponije na izabranoj lokaciji odnose se na:

- 1) telo deponije;
- 2) manipulativno opslužni plato;
- 3) objekat za sekundarnu separaciju otpada;
- 4) saobraćajnice i potrebnu infrastrukturu;
- 5) plato za postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda (ako je potrebno);
- 6) vegetacioni zaštitni pojas.

Na deponijama je zabranjeno odlaganje:

- 1) tečnog otpada;
- 2) otpada koji u deponijskim uslovima može eksplodirati, oksidisati, koji je zapaljiv i koji ima ostale karakteristike koje ga čine opasnim u skladu sa posebnim propisom kojim se uređuju kategorije, ispitivanje i klasifikacija otpada;
- 3) opasnog medicinskog i veterinarskog otpada koji nastaje u medicinskim ili veterinarskim ustanovama, a koji ima svojstva infektivnog u skladu sa posebnim propisom;
- 4) otpadnih baterija i akumulatora;
- 5) otpadnih ulja;
- 6) otpadnih guma;
- 7) otpada od električnih i elektronskih proizvoda;

- 8) otpadnih fluorescentnih cevi koje sadrže živu;
- 9) otpada koji sadrži PCB;
- 10) otpadnih vozila;
- 11) termički neobrađenih otpadaka koji nastaju u ustanovama u kojima se obavlja zdravstvena zaštita;
- 12) boca pod pritiskom;
- 13) odvojeno sakupljenih frakcija otpada - sekundarnih sirovina;
- 14) svakog drugog otpada čije odlaganje nije dozvoljeno u skladu sa posebnim propisom i koji ne zadovoljava kriterijume za prihvatanje otpada propisane ovom uredbom.

Na deponiju neopasnog otpada odlaže se:

- 1) komunalni otpad;
- 2) neopasan otpad bilo kog porekla koji zadovoljava granične vrednosti parametara za odlaganje neopasnog otpada;
- 3) čvrst, nereaktivan opasan otpad (solidifikovan) čija je procedna voda ekvivalentna sa onom za neopasan otpad iz tačke 2) i koji zadovoljava granične vrednosti parametara za odlaganje opasnog otpada na deponije neopasnog.

Pri odlaganju otpada na deponiju poštuju se procedure i režim rada deponije koji se odnosi na:

- 1) režim kretanja i procedure rada za sva vozila koja ulaze u kompleks deponije;
- 2) pravila koja se primenjuju prilikom odlaganja otpada;
- 3) kontrolu tehnološkog procesa rada deponije;
- 4) kontrolu nastajanja i kvaliteta procedne i prečišćene tečnosti na deponiji;
- 5) kontrolu izdvajanja gasa.

Kontrola nastajanja i kvaliteta procedne i prečišćene tečnosti na deponiji - kontrola procedne i prečišćene tečnosti na deponiji se vrši svakodnevno na osnovu sledećih parametara:

- temperatura na ulazu u projektovani objekat i temperatura okolnog vazduha;
- pH vrednost procedne tečnosti na ulazu i prečišćene tečnosti na izlazu iz projektovanog objekta;
- potrošnja permanganata;
- BPK (biološka potrošnja kiseonika).

Kontrola izdvajanja gasa – kontrola izdvajanja gasa sastoji se od praćenja njegovog sastava i količine, posebno:

- metana (CH<sub>4</sub>),
- ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) i
- kiseonika (O<sub>2</sub>).

Kontrola deponijskog gasa u pogledu sadržaja vodonik sulfide (H<sub>2</sub>S) i vodonika (H<sub>2</sub>) se vrši ukoliko su prisutni u deponijskom gasu. U objektima na deponiji postavlja se sistem za detekciju prisustva eksplozivne količine metana.

## 2.2 Fizičko – hemijska i biološka dinamika deponije

Ako se deponija posmatra kao reaktor, njeni najvažniji reaktivi su (*Baccini, 1988*):

- razni čvrsti otpaci, čija hemijska priroda treba da bude poznata, da bi se predvidele moguće reakcije,
- voda, koja proističe iz mokrog otpada, ili od kiše, snega, površinskih i podzemnih voda,
- kiseonik iz vazduha, koji može da prodre difuzijom u gornji deo deponije i
- heterotrofni mikroorganizmi (bakterije i gljivice) koji se nalaze u otpadu i u inertnom materijalu koji se koristi za prekrivanje otpada.

Svaki mikrobiološki proces u sebi sadrži dva sistema (*Marriott i Gravani, 2006*):

- a) biološki sistem (biotična faza), koji čini mikrobiološka populacija,
- b) okolna sredina (abiotična faza), sadržana u fermentacionoj tečnosti

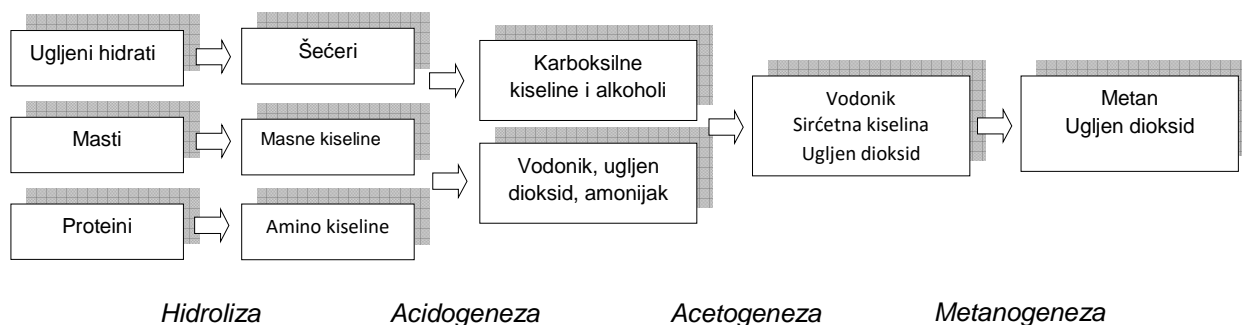
Između ova dva sistema postoji međusobni uticaj koji se ogleda u:

- razmeni mase
- razmeni toplote
- mehaničkim interakcijama

Razmena mase se odvija na granici ćelijskog zida i supstrata tako što se materije iz supstrata prenose u ćeliju a produkti metabolizma se iz ćelija izlučuju u fermentacionu tečnost. Razmena toplote se vrši kao posledica stvaranja toplote u ćelijama tokom metaboličkih procesa. Sa druge strane, temperatura fermentacione tečnosti (okoline) utiče na temperature unutar mikrobne ćelije (intraćelijska temperatura) koja se odražava na metaboličke aktivnosti ćelije. Mehaničke interakcije su pre svega posledica hidrostatičkog pritiska i smicajnih sila u okolnoj sredini i dejstava na ćelije, promena morfološkog oblika, viskoziteta i metaboličke aktivnosti ćelija (*Baras i dr., 2009*).

Kada je otpad trajno odložen na deponiju, organska materija iz otpada počinje fazno da se raspada i u krajnjoj fazi konvertuje u deponijski gas (*Barlaz i dr., 1990*). Organska materija u deponovanom otpadu nije sačinjena od samo jedne komponente, već od širokog spektra različitih materija poreklom iz otpada koje su različite biodegradabilnosti. Mali molekuli, kao što su prosti šećeri i masti su relativno lako biorazgradljivi. Hemicelulozu je relativno lako konvertovati, dok je celulozu nešto teže i sporije konvertovati, jer je hemijski stabilnija. Međutim, nije sav organski materijal moguće konvertovati u deponijski gas. Lignin je otporan na većinu mikroorganizama i procese biološke degradacije pod anaerobnim uslovima koji uopšte ne deluju na aromatsko jezgro ovog polisaharida zbog njegove kompleksne strukture, velike molekulska težine i slabe rastvorljivosti (*Perez i dr., 2002*). Njegova aerobna razgradnja je spora i ograničena. Lignin može usporiti razlaganje celuloze u otpadu.

Iako se u stručnoj literaturi susreću različiti modeli nastajanja deponijskog gasa, uglavnom se koristi i citira model nastajanja deponijskog gasa u četiri faze (*Williams, 2005*), koji je prikazan na Slici 1:



Slika 1: Proces degradacije organske komponente otpada po fazama (Al Seadi i dr., 2008)

### Faza I – hidroliza i fermentacija

Tokom 1. faze razgradnje, aerobne bakterije koriste kiseonik, pri čemu se raskidaju dugi, slabo rastvorljivi molekularni lanci kompleksnih jedinjenja koja sačinjavaju organski otpad: polisaharidi, proteini, nukleinske kiseline, masti i dr. u rastvorljiva organska jedinjenja kao što su monosaharidi, aminokiseline i dr. (Adekunle i Okolie, 2015). Nuzproizvod ovog procesa je ugljendioksid. Faza I odvija se dokle god se raspoloživi kiseonik ne istroši. Prva faza može trajati danima ili mesecima, zavisno od toga koliko je kiseonika prisutno u trenutku kada je otpad odložen na deponiji, a nivoi kiseonika će varirati u zavisnosti od toga koliko je deponija kompaktna. Količina kiseonika može da se smanji sabijanjem otpada, gaženjem teškim vozilima, na primer, traktorima guseničarima.

### Faza II – acidogeneza

Ova faza razgradnje počinje kada se iskoristi sav kiseonik i kada se uspostave anaerobni uslovi. Anaerobnim procesima, bakterije pretvaraju jedinjenja formirana procesima aerobnih bakterija u sirćetnu, mlečnu, mravlju i druge kiseline i alkohole kao što su metanol i etanol. Zbog ovih procesa, sredina deponije postaje kisela. Kako se kiseline mešaju sa vlagom prisutnom u deponiji, dolazi do rastvaranja nutrijenata za bakterije, tako da azot i fosfor postaju dostupni različitim vrstama bakterija. Gasoviti nuzproizvodi ovih procesa su ugljendioksid ( $\text{CO}_2$ ) i vodonik ( $\text{H}_2$ ). Tokom ove faze, prosti šećeri, masne kiseline i aminokiseline se konvertuju u organske kiseline i alkohol (Gerardi, 2003).

### Faza III – acetogeneza

Ova faza razgradnje počinje kada određene vrste acetogenih anaerobnih bakterija konzumiraju organske kiseline proizvedene u fazi II i počnu da formiraju acetate (Aslanzadeh, 2014). Ovaj proces uzrokuje da sredina postaje kiselo neutralna, pH približno 7, što odgovara bakterijama koje proizvode metan ( $\text{CH}_4$ ). Metanske i kiselinske bakterije imaju određenu vrstu simbiotske veze. Kiselinske bakterije proizvode jedinjenja kojima se hrane metanske bakterije. Metanske bakterije se hrane ugljen dioksidom ( $\text{CO}_2$ ) i acetatima, čije je veliko prisustvo veoma toksično za kiselinske bakterije.

#### **Faza IV – metanogeneza**

Počinje kada i sastav i produkcija deponijskog gasa postanu relativno konstantni. Deponijski gas tada sadrži oko 45-60 % metana, 40-60 % ugljen dioksida i 2-9 % ostalih gasova. Gas se proizvodi konstantno u četvrtoj fazi obično 20 godina, pri čemu se emitovanje gasa može nastaviti i posle 50 godina, jer je ova faza, u odnosu na prethodne najsporija (*Seadi i dr., 2008, op.cit.*). Produkcija gasa može trajati duže, posebno, ako su prisutne veće količine organskog otpada.

Mikroorganizmi, kao i sva druga živa bića, zahtevaju hranu za svoj rast i razvoj (*Blackall i Silvey, 1994*). Oni predstavljaju najmnogobrojniju i najraznovrsniju grupu živih bića na zemaljskoj kugli. Populacije mikroorganizama u zemljištu značajne su za razlaganje organske materije i osiguranje hranjivih sastojaka biljkama. Posebna naučna disciplina (mikrobiologija zemljišta) izučava sve ove složene procese i odnose u zemljištu koje je specifična životna sredina po biotskim i abiotskim kao i ekološkim uslevima. Smatra se da ne postoji zagađujuća materija u otpadu koju mikroorganizmi ne mogu da transformišu i/ili razgrade u određenom vremenskom periodu (*Christensen i Kjeldsen 1989*).

Volatilizacija je proces odvajanja isparljivih od neisparljivih komponenti. Volatilizacija se, takode, može posmatrati kao proces u kome jedna tečnost isparava bez stvarnog ključanja, obično pod sniženim pritiskom i bez obzira na to kako se para kasnije kondenzuje. Metode isparavanja obično uključuju neku hemijsku promenu (razlaganje, dehidratacija i sl.), a gasoviti proizvod se posle odvajanja može odrediti direktno ili indirektno. Deponijski gas može biti proizveden procesom volatilizacije kada određene vrste otpada, odnosno jedinjenja nastala kao produkti razgradnje otpada, (posebno organska jedinjenja), promene stanje iz tečnog ili čvrstog u gasovito (*Yang i dr., 2014*).

### **2.3 Generisanje i sastav deponijskog gasa**

Na proces formiranja deponijskog gasa utiču brojni faktori, kao što su: sastav otpada, prisustvo kiseonika, vodonika, sulfata, nutritijenata, inhibitora i puferskih jedinjenja, sadržaj vlage, temperatura, starost otpada, pH vrednost, granulacija otpada, sabijenost otpada, karakteristike zemljane prekrivke, recirkulacija procedne vode (*Barlaz, 1990*):

#### **a) Sastav otpada**

Veličina biodegradacionog procesa zavisi od dostupnosti i veličine biodegradabilnog udela mase u otpadu. Sastav organskih komponenti otpada a pre svega celuloza, proteini i lipidi, su pokretači degradacije otpada i kao rezultat toga dolazi do generisanja deponijskog gasa. Odnos celuloza – lignin ima negativan uticaj na produkciju metana zbog prisustva lako razgradljivog ugljenika i ima negativan odnos sa starošću otpada, koji pokazuje da je metanogeni otpad aktivniji u produkciji gasa (*Gurijala i dr., 1997*).

#### **b) Prisustvo kiseonika**

Produkcija metana počinje kada se sav kiseonik potroši. Prisustvo kiseonika se smatra inhibirajućim faktorom za formiranje metana u deponiji (*Christensen i dr., 1996*) Što je više

kiseonika u deponiji, to aerobne bakterije duže razlažu otpad. Ako je otpad samo delimično prekriven slojem zemlje ili se frekventno meša, biće prisutno više kiseonika, tako da će aerobne bakterije živeti duže i duži period će proizvoditi ugljendioksid i vodu. Anaerobne bakterije počinju proizvodnju tek kada aerobne bakterije potroše kiseonik, tako da bi bilo kakvo prisustvo kiseonika u deponiji dovelo do usporenja produkcije metana. Promene atmosferskog pritiska mogu takođe da utiču da se kiseonik iz okoline nađe u deponiji. Ta mogućnost postoji kod slojeva na manjim dubinama u kojima bi tada došlo do aerobne faze razgradnje otpada.

*c) Prisustvo vodonika*

Fermentativne i acetogene bakterije stvaraju vodonik ( $H_2$ ). Na niskom parcijalnom pritisku vodonika, fermentativne bakterije stvaraju vodonik ( $H_2$ ), ugljen dioksid ( $CO_2$ ) i sirćetnu kiseliku  $CH_3COOH$ , dok na visokom parcijalnom pritisku vodonika, fermentativne bakterije stvaraju vodonik ( $H_2$ ), ugljen dioksid ( $CO_2$ ), etanol ( $C_2H_5OH$ ), buternu kiselinu ( $CH_3C_2H_4COOH$ ) i propionsku kiselinu ( $CH_3CH_2COOH$ ). U slučaju uspostavljanja niskog parcijalno pritiska vodonika, etanol, buterna i propionska kiselina mogu biti prevedena acetogenim bakterijama u druga organska jedinjenja, dok ukoliko se uspostavi visok parcijalni pritisak vodonika, organska jedinjenja neće biti prevedena u duge oblike, već će doći do akumulacije isparljivih organskih kiselina, redukcije pH vrednosti i kao konačan rezultat inhibiciju formiranja metana ( $CH_4$ ) (*ibid.*)

*d) Prisustvo sulfata*

Sulfatni na deponijama čvrstog komunalnog otpada su obično poreklom iz uglja, drveta, građevinskog materijala i otpada (gipsanih ploča), iz šljake iz spalionica otpada i iz letećeg pepela (*Sun i Barlaz, 2015*). U grupi sulfo - redukujući bakterija, dominantne su *Desulfovibrio* i *Desulfotomaculum*. Visoka aktivnost ovih bakterija smanjuje količinu raspoložive organske materije za proizvodnju metana (*Christensen i dr., 1996, op.cit.*)

*e) Prisustvo nutritijenata*

Nutrijenti su hemijski sastojci hrane. To su osnovni hemijski sastojci koji se u probavnom traktu mogu apsorbovati da bi zatim zadovoljili metaboličke potrebe živog organizma. Tu spadaju makronutrijenti (proteini, ugljeni hidrati, lipidi i voda) i mikronutrijenti (vitamini i minerali). Dodavanje nutrijenata kao i suplementacija metalima (npr. modifikovanih prirodnih zeolita – MPZ) ima pozitivan uticaj na produkciju deponijskog gasa (*Isçi i Demirer, 2007*).

*f) Prisustvo inhibitora metanogeneze*

Pored inhibicije u pogledu stvaranja deponijskog gasa izazvane prisustvom kiseonika ( $O_2$ ), vodonika ( $H_2$ ), i sulfata ( $SO_4$ ), postoje i druge inhibirajuće supstance i jedinjenja koje se mogu identifikovati na deponijama komunalnog otpada. Ova činjenica je postala posebno značajna sa globalnog aspekta i sagledavanja uticaja metana na klimatske promene. Acetilen ( $C_2H_2$ ), etilen ( $C_2H_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), metil hlorid ( $CH_3Cl$ ) i metil fluorid ( $CH_3F$ ) su neke od inhibirajućih jedinjenja koja značajno utiču na metanogenezu, ali i na oksidaciju metana i njegovo konvertovanje u ugljen dioksid i vodu (*Chan i Parkin, 2000*).

*g) Aktivnost vode*

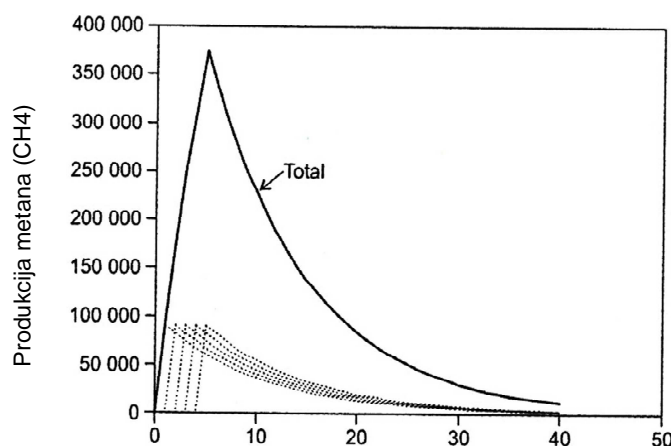
Prisustvo i porast količine vode u deponiji povećava produkciju gasa, jer vlaga podstiče razvoj bakterija i transport hranjivih sastojaka do svih delova deponije (Naranjo i dr., 2008). Voda čini 80-90% mase mikroorganizama. Sadržaj vlage od 40% i više, dovodi do maksimalne produkcije gasa. Kompaktnost otpada utiče na smanjenje produkcije gasa, jer povećanje gustine deponije uzrokuje smanjene infiltracije vode u sve slojeve otpada. Proizvodnja gasa je veća u slučaju jakih padavina i ako su prisutni propusni pokrovni slojevi koji omogućavaju dovod dodatnih količina vode u deponiju.

*h) Temperatura*

Rast mikroorganizama i formiranje proizvoda njihovog metabolizma su rezultat niza biohemijjskih reakcija zavisnih od temperature u ćeliji. Pošto ćelije mikroorganizama nemaju sposobnost samoregulacije temperature, ćelijska temperatura direktno zavisi od temperature okoline. Temperatura povećava bakterijsku aktivnost, što direktno ima za posledicu povećanje produkcije gasa (Vujić i dr., 2010). Sa druge strane, niske temperature inhibiraju bakterijsku aktivnost, tako da drastično pada ukoliko je temperatura ispod 10° C. Vremenske promene imaju značajan uticaj na plitke deponije. Ovo je posledica toga što bakterije nisu izolovane u odnosu na temperaturne promene, kao što je to slučaj sa dubokim deponijama gde debeli slojevi zemljišta pokrivaju otpad. U pokrivenoj deponiji se održava stabilna temperatura, što dovodi do povećanja produkcije gasa. Bakterijska aktivnost oslobađa toplotu, stabilišući temperaturu deponije između 25 i 45° C. Ipak, u nekim deponijama je registrovana pojava temperature i do 70° C. Na laboratorijskim eksperimentima je demonstrirano da povećanje temperature sa 20 na 30 a zatim na 40° C značajno podiže I nivo produkcije metana (Ehrig, 1984).

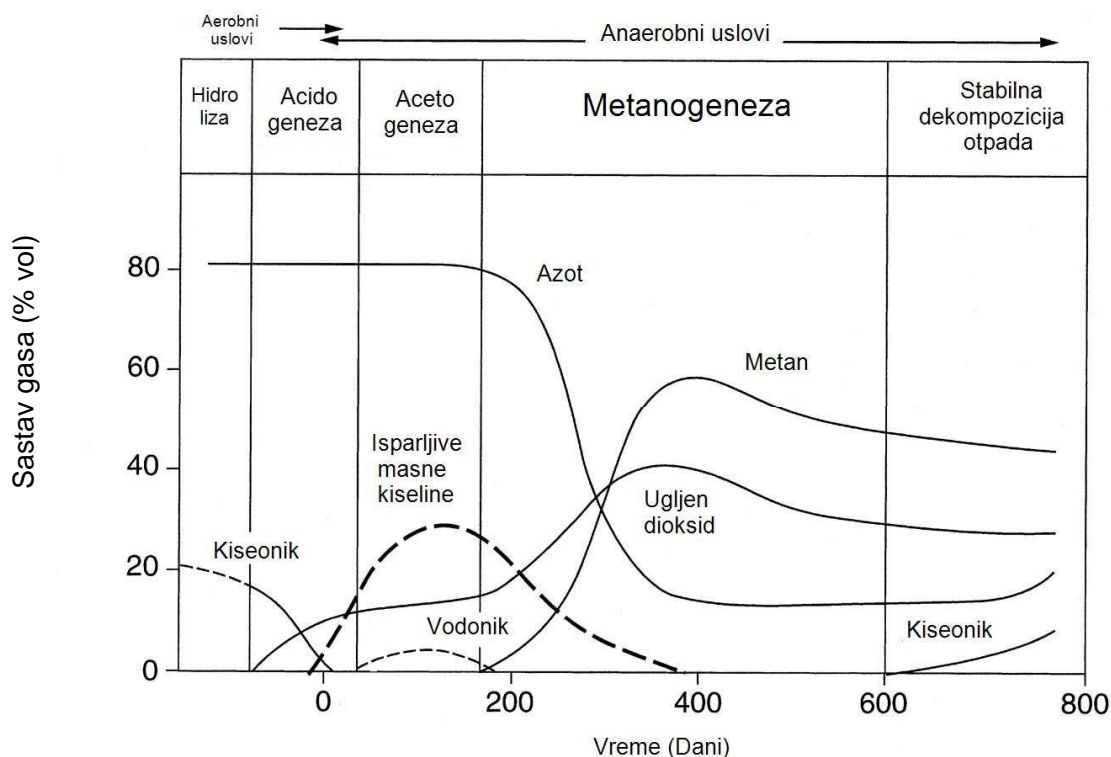
*i) Starost otpada*

Otpad koji je kasnije deponovan će generisati više gasa od onog koji je na deponiji duže vreme. Deponije obično generišu značajne količine gasa između jedne i tri godine. Maksimumi generisanja gasa su u periodu od pet do sedam godina, nakon što je otpad odložen na deponiju.



Dijagram 1: Generisanje deponijskog gasa tokom vremena (Christensen, 2010)

Nakon 20 godina po deponovanju, generisanja deponijskog gasa je minimalno i u tragovima, dok se manje količine gasa mogu generisati i posle pedeset godina (*Farquhar i Rovers, 1973*). Različiti delovi deponije mogu biti u različitim fazama dekompozicije otpada, što zavisi od starosti otpada.



Dijagram 2: Faze razgradnje i promena sastava deponijskog gasa (*Farquhar i Rovers, 1973*)

### j) pH vrednost

Mikroorganizmi su najaktivniji u oblasti optimalnih vrednosti pH za delovanje ključnih enzima. Postoje minimalne i maksimalne vrednosti pH pri kojima je još moguć opstanak mikroorganizama. Metanogene bakterije optimalno funkcionišu u opsegu 6 – 8. Studije pokazuju da produkcija metana opada kada pH vrednost opadne ispod vrednosti 6 (*Brummeler i dr., 1985*). Akumulacija vodonika ( $H_2$ ) i sirćetne kiseline ( $CH_3COOH$ ) smanjuje vrednost pH vrednosti, što izaziva inhibiciju aktivnosti metanogenih bakterija i samim tim manju produkciju metana. Mikroorganizmi bolje podnose promene pH nego promene temperature.

### k) Pritisak

Većina mikroorganizama ima dobar rast i aktivnost na normalnom atmosferskom pritisku. Većina mikroorganizama ne može da raste na pritisku većem od 500 bar, a pritisci od 100 – 500 bar obično sprečavaju rast mikroorganizama. Povećani pritisak izaziva produženje faze rasta i usporava deobu ćelija. Takođe, emisija metana u velikoj meri zavisi od promena atmosferskog



pritiska – povećanje pritiska dovodi do smanjenja emisije metana, dok smanjenje pritiska uzrokuje povećanje emisije (Xu i dr., 2014).

*l) Karakteristike zaštitne prekrivke*

Iako sve veće sanitarne deponije imaju instalirane sisteme za evakuaciju i/ili sakupljanje deponijskog gasa, manje količine deponijskog gasa ipak uspevaju da pobegnu u atmosferu ili migriraju u tlo koje okružuje odlagalište otpada (Abushammala i dr., 2014). Pojedini izvori navode da klasični sistemi za sakupljanje deponijskog gasa uspevaju da sakupe od 50 – 90% metana nastalog u deponiji (Augenstein i Pacey, 1996). Oksidacija metana pod dejstvom mikroba u pokrivnom – zaštitnom sloju deponije može biti jedno od sredstava kontrole emisije metana. Nekoliko studija je prikazalo da oksidacioni proces metana u pokrivno – zaštitnom sloju deponije, mogu biti efikasno sredstvo za smanjenje emisije metana u atmosferu (Abushammala i dr., 2013; Huber-Humer i dr., 2008; Stern i dr., 2007; Huber-Humer, 2004; Hilger i Humer, 2003; Humer i Lechner, 1999).

*m) Recirkulacija procedne vode*

Recirkulacija procednih voda ima pozitivan uticaj na formiranje metana (CH<sub>4</sub>) s tim što se mora voditi računa o pH vrednosti i sastavu procedne vode, koji utiču na formiranje metana. Recirkulacija procedne vode ima pozitivan efekat napovećanje metanogene populacije, podstičući njen rast i aktivnosti usled povećanja sadržaja vlage (Šan i Onay, 2001; Chan i dr., 2002; Bhambulkar, 2011). Radi ubrzavanja procesa stabilizacije sanitarnih deponija, različite metode i tehnološki postupci su razvijeni a među njima, najreprezentativniji su upumpavanje vazduha i recirkulacija procedne vode snabdevanjem otpada vlagom i stimulisanjem biodegradativne aktivnosti mikroba (Chugh i dr., 1999; Sun i dr., 2011; Reinhart i dr., 2002; Erses i Onay, 2003; Price i dr., 2003; He i Shen, 2006; White i dr., 2011).

Deponijski gas se uglavnom sastoji od metana (CH<sub>4</sub>), ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>), vodene pare, nemetanskih ugljovodonika (NMOC) i drugih jedinjenja. Procenjuje se da čvrst komunalni otpad sadrži 75% organske materije, koja generiše prosečno 0,005 m<sup>3</sup>/h deponijskog gasa po jednom kilogramu otpada.

Prosečan sastav deponijskog gasa je prikazan u Tabeli 2.1:

Tabela 2.1: Prosečan sastav deponijskog gasa (Ham i Barlaz, 1989)

Red.br	Naziv	Zapreminski udeli %
1.	Metan	45-55
2.	Ugljen dioksid	40-50
3.	Azot	2-5
4.	Kiseonik	0.1-1
5.	Amonijak	0.1-1
6.	Nemetanska organska jedinjenja (NMOC)	0.01-0.6
7.	Sulfidi	0-1

8.	Vodonik	0-0.2
9.	Ugljen-monoksid	0-0.2

Prema ispitivanjima koja su vršili Ham i Barlaz (1989), prosečan procentualni sastav deponijskog gasa poreklom iz komunalnog otpada u metanogenoj fazi približno sadrži 45-55% metana (CH<sub>4</sub>), 40-50% ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), 2-5% azota (N<sub>2</sub>), 0.1-1% kiseonika (O<sub>2</sub>), 0.1-1% amonijaka (NH<sub>3</sub>), 0.01-0.6% nemetanska organska jedinjenja (trihloroetilen, benzen, vinil-hlorid, itd.), 0-1% sulfida (SO<sub>3</sub>), 0-0.2% vodonika (H<sub>2</sub>), 0-0.2% ugljen monoksida (CO).

*Nemetanska organska jedinjenja (NMOC):* emisija NMOC sa deponije zavisi od faktora kao što su sastav otpada, starost otpada, konstrukciona rešenja objekta deponije, klimatoloških faktora, fizičkih i hemijskih osobina inetrog materijala koji se koristi za prekrivanje otpada i drugih faktora. NMOC nastaju kao produkti brojnih fizičkih, hemijskih i bioloških procesa koji se dešavaju unutar deponije (*Saquin i dr., 2014*). Ako se na deponiji nalazi odložena velika količina otpada, najverovatniji sastav deponijskog gasa biće oko 50% metana (CH<sub>4</sub>),, oko 45% ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>) i ostalih supstanci i jedinjenja, među kojima su i NMOC, čije se koncentracije mogu kretati u opsegu od 264 – 19.800 mg/m<sup>3</sup>.

*Isparljiva organska jedinjenja (VOCs):* Ova grupa jedinjenja predstavljaju podgrupu NMOC koja su poznata po fotolitičkim reakcijama u kojima nastaje prizemni (troposferski) ozon (*Allen i dr., 1997*). S obzirom da se VOC u deponijskom gasu ne mogu lako posebno izmeriti, obično se izračunavaju preko NMOC. Materije koje su u tragovima prisutne u deponijskom gasu, sadrže u sebi širok spektar isparljivih i poluisparljivih jedinjenja (njih oko 500).

*Formiranje kondenzata deponijskog gasa:* Kondenzat deponijskog gasa se formira prilikom sakupljanja deponijskog gasa u bitrnovima. Kondenzat deponijskog gasa nastaje kao posledica prodiranja toplog deponijskog gasa u perforiranu cev biotrna i sastoji se uglavnom od vode i organskih materija (*US EPA, 1988*). Veoma često, organska jedinjenja su nerastvorljiva u vodi, tako da se kondenzat sastoji iz dve faze: vodena faza i plivajuća organska faza. Organska faza u kondenzatu učestvuje sa najviše 5% od ukupne količine kondenzata. Prilikom aktivnog sakupljanja deponijskog gasa, većina sistema ima uređaje – sudove za sakupljanje deponijskog gasa. Sastav kondenzata deponijskog gasa zavisi od sastava otpada, starosti otpada, sadržaja vlage, temperature, površine i dubine deponije, upotrebe gornjih i donjih nepropusnih slojeva, klimatskih faktora i organskih materija poreklom iz deponijskog gasa.

## 2.4 Generisanje i sastav procedne vode

Odlagališta otpada su potencijalni izvori rizika po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Većina smetlišta i divljih deponija u zemljama u razvoju nije projektovana niti izgrađena na način koji omogućava adekvatno sakupljanje procedne vode (*Umar i dr., 2010*). Kod projektovanja i izgradnje deponija čvrstog komunalnog otpada vrlo složeno pitanje jeste optimalno rešenje koje se odnosi na tretman izuzetno zagađenih procednih deponijskih voda. Ugradnjom nepropusnih folija u podloge sanitarnih deponija postiže se zaštita podzemnih voda od infiltracije procednih voda sa deponija, čime se sprečava moguća drenaža filtrata u podzemni akvifer. Procedne

vode sa deponija su uglavnom vrlo zagađene vode koje u sebi sadrže kompleksna jedinjenja čiji tretman nije nimalo lak (*Mohajeri i dr., 2010; Palaniandy i dr., 2010; Foul i dr., 2009; Daud i dr., 2009*). Sistem za rešavanje zbirnih aktivnosti upravljanja otpadom, a posebno tretmana zagađenih deponijskih voda veoma je kompleksan, višedimenzioni fizičko-hemijski fenomen i proces (*Farquhar, 1988*).

Procednom vodom se naziva voda koja se procenjuje kroz telo deponije. Procedna voda predstavlja složenu, heterogenu smešu promenljivog sastava, koja se sastoji odrazličitih organskih i neorganskih jedinjenja i mikroorganizama svrstanih u četiri grupe:

- rastvorene organske materije,
- neorganske materije,
- teški metali i
- ksenobiotici (*Kjeldsen i dr., 2002*).

U telu deponije, voda se generiše tokom procesa degradacije biorazgradljivih organskih materija. Prisustvo vode je rezultat atmosferske precipitacije, kao i površinskih vodenih tokova. Opšte karakteristike filtratnih voda deponije su jak miris i tamno-braon boja i visoki koncentracioni nivoi polutanata. Nakon zatvaranja deponije, sa generisanjem procedne voće će se nastaviti u narednom periodu od 30 – 50 godina (*Bhalla i dr., 2012*).

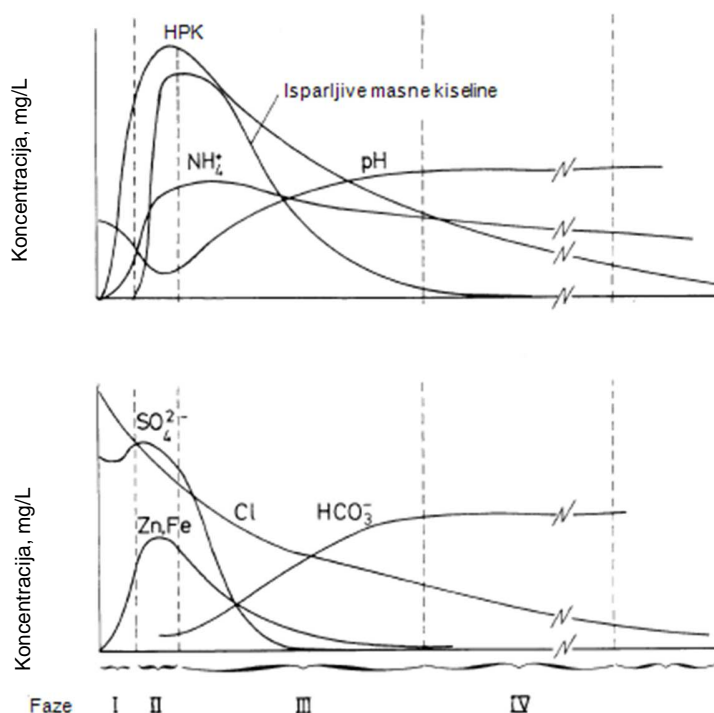
Teški metali u procednoj vodi mogu imati posebno negativan uticaj na zdravlje ljudi i podzemne vode. Na starim i zatvorenim deponijama bez vodonepropusnog sloja, u životnu sredinu preko podzemnih voda mogu biti emitovani teški metali poput nikla, kobalta, hroma, cinka, olova, mangana, aluminijuma, kadmijuma, bakra, arsena i žive (*Abu-Daibes i dr., 2013*).

Realan sastav procednih voda veoma je teško predvideti, jer zavisi od niza varijabilnih faktora kao što su: sastav otpada, temperatura i sadržaj vlage, eksternih i internih parametara, migracionog toka tečnosti, debljine tela deponije, faze razlaganja otpada, mogućih procesa samoprečišćavanja, mogućnosti menufaznih slojeva da adsorbuju/apsorbuju i minimiziraju zaganenje, kvaliteta voda koje se infiltriraju u deponiju i drugi činioci. Konstitutivna voda koja se nalazi u čvrstom otpadu kao i voda koja se infiltrira u deponiju, formiraju medijum u kome se rastvaraju odgovarajuće rastvorljive supstance, koje definišu i utiču na kvalitet procednih voda deponije. Starost otpada koji je odložen na deponiju utiče dvojako: određeni parametri pokazuju promene koncentracija u pravcu smanjivanja tokom vremena, dok pojedini parametri pokazuju relativnu stabilnost tokom proteka vremena (*Lee i dr., 2010*).

Na hemijske karakteristike procednih voda - filtrata utiču različiti fizičko-hemijski procesi (*Andreottola i Cannas, 1992*): oksido-redukциони procesi, rastvaranje organskog i neorganskog materijala u otpadu, adsorpcija/desorpcija, reakcije izmene organskih kiselina i metala, pri čemu se formiraju odgovarajući joni metala, odnosno soli, hemizam CO<sub>2</sub> koji reaguje sa solima kalcijuma i magnezijuma i izaziva povećanje tvrdoće procednih voda i drugo. Znatan uticaj na karakteristične osobine filtrata imaju i mikrobiološki razgradni procesi biodegradabilnih organskih supstanci.

Procedne vode nastaju rastvaranjem čvrstih supstanci u vodi koja se procenjuje kroz telo deponije. Filtratne vode mogu da sadrže i nerastvorljive lipofilne tečne fluide (kao što su ulja) i suspendovane čestice. U zavisnosti od tipa otpada, prisustvo ostalih polutanata se može smatrati rezultatom hemijskih reakcija unutar tela deponije i procesa biorazgradnje otpada. Kvalitet procednih voda primarno je određen sastavom otpada i rastvorljivošću njegovih konstituenata. Ako se, pod uticajem vremenskih prilika ili procesa biodegradacije, sastav otpada menja, tada će se i kvalitet procednih deponijskih voda vremenom menjati, što se najčešće dešava na deponijama komunalnog otpada. Faze u formiranju procednih voda u slučaju deponija neopasnog komunalnog otpada su (*Christensen i Kjeldsen, 1989*):

- U početnom stadijumu, procedne vode u telu deponije nastaju aerobnom dekompozicijom otpada, formirajući kompleksni rastvor približno neutralne pH vrednosti. Opisani proces najčešće traje nekoliko dana ili nedelja i nema značajan uticaj na kvalitet filtratnih deponijskih voda. Međutim, imajući u vidu da se procesom aerobne degradacije toplota oslobađa, temperatura procedne vode može da dostigne vrednosti i do 80-900 C. Ukoliko se oslobođena toplota zadrži u telu deponije, kasniji stadijumi produkcije procednih voda biće intenzivirani.
- Daljim odvijanjem procesa dekompozicije, sredina u telu deponije postaje anaerobna. U ranom anaerobnom stadijumu, filtrat se odlikuje visokim koncentracijama rastvorljivih degradabilnih organskih supstanci i niskim pH vrednostima („kisela faza“). Koncentracije amonijaka i metala takođe su povećane u ranom anaerobnom stupnju formiranja procednih voda. Nakon nekoliko meseci ili godina, uspostavlja se „metanska faza“, filtrate postaje neutralan ili blago alkalni, uz udeo značajnih količina određenih polutanata (npr. amonijak  $\text{NH}_3$ ).
- Kako se proces biodegradacije bliži finalizaciji, aerobni uslovi se ponovo mogu uspostaviti unutar tela deponije, dok procedna voda postaje manje hazardna po životnu sredinu.



Dijagram 3: Faze promene sastava procedne vode u deponiji (Christensen i Kjeldsen, 1989)

Karakterizacija statusa filtratnih deponijskih voda bazirana na analizi uzoraka procednih voda sa specifičnih, prethodno definisanih lokaliteta, od izuzetnog je značaja za razvoj monitoring programa i procenu uticaja deponije na životnu sredinu (Al-Muzaini, 2009).

Tipičan sastav procednih voda po fazama degradacije otpada, dat je u tabeli 2.2:

Tabela 2.2: Sastav procednih voda sa deponija komunalnog otpada (Stegman i dr., 2005)

Sastav procednih voda sa deponija komunalnog otpada							
Parametar	Jedinica mere	Acetogena faza		Intermedijalna faza		Metanogena faza	
		Opseg vrednosti	Srednja vrednost	Opseg vrednosti	Srednja vrednost	Opseg vrednosti	Srednja vrednost
pH		6,2 – 7,8	7,4	6,7 – 8,3	7,5	7,0 – 8,3	7,6
HPK	mg/L	950-40000	9500	700-28000	3400	460-8300	2500
BPK <sub>5</sub>	mg/L	600-27000	6300	200-10000	1200	20-700	230
TOC	mg/L	350-12000	2600	300-1500	880	150-1600	660
AOX	µg/L	260-6200	2400	260-3900	1545	195-3500	1725
NH <sub>4</sub>	mg/L	17-1650	740	17-1650	740	17-1650	740
TKN	mg/L	250-2000	920	250-2000	920	250-2000	920
SO <sub>4</sub>	mg/L	35-925	200	20-230	90	25-2500	240
Cl	mg/L	315-12400	2150	315-12400	2150	315-12400	2150
Na	mg/L	1-6800	1150	1-6800	1150	1-6800	1150
K	mg/L	170-1750	880	170-1750	880	170-1750	880
Ca	mg/L	80-2300	650	40-310	150	50-1100	200

P (ukupni)	mg/L	0,3-54	6,8	0,3-54	6,8	0,3-54	6,8
Cr	mg/L	0,002-0,52	0,155	0,002-0,52	0,155	0,002-0,52	0,155
Fe	mg/L	3-500	135	2-120	36	4-125	25
Ni	mg/L	0,01-1	0,19	0,01-1	0,19	0,01-1	0,19
Cu	mg/L	0,005-0,56	0,09	0,005-0,56	0,09	0,005-0,56	0,09
Zn	mg/L	0,05-16	2,2	0,06-1,7	0,6	0,09-3,5	0,6
As	mg/L	0,0053-0,11	0,0255	0,0053-0,11	0,0255	0,0053-0,11	0,0255
Cd	mg/L	0,0007-0,52	0,0375	0,0007-0,52	0,0375	0,0007-0,52	0,0375
Hg	mg/L	0-0,025	0,0015	0-0,025	0,0015	0-0,025	0,0015
Pb	mg/L	0,008-0,4	0,16	0,008-0,4	0,16	0,008-0,4	0,16

## 2.5 Uticaj deponije na životnu sredinu

Otpad koji je odložen na odlagalištu otpada, bilo uređenom ili ne uređenom, po svom hemijskom i fizičkom sastavu, kao i brojnim procesima koji prate degradaciju otpada, razlikuje se od okoline (životne sredine) i samim tim može na nju imati i negativan uticaj.

Uticaji deponije na životnu sredinu mogu biti grubo svrstani u dve kategorije (*Christensen i Kjeldsen, 1995*):

- lokalni uticaji i
- globalni uticaji

Od lokalnih uticaja, kao ključne, treba napomenuti zagađivanje vazduha deponijskim gasovima koji mogu biti neprijatnog mirisa, te je stoga neophodno uspostaviti kvalitetno upravljanje deponijskim gasovima i monitoring, kako bi se izbegao negativan uticaj na životnu sredinu (*Vujić i dr., 2012*).

Značajnije zagađenje se može pojaviti prodorom procednih voda u zemljište ili podzemne vodotokove, što se eliminiše kvalitetnim projektom, pravilnom izgradnjom, adekvatnim upravljanjem i kontinualnim monitoringom. Ova vrsta zagađenja je u potpunosti eliminisana (ili verovatnoća svedena na minimum) na novim generacijama sanitarnih deponija.

Ostala zagađenja, kao npr. raznošenje smeća, pojava glodara i ptica, prekomerna buka, mogućnost požara i slično se eliminišu stalnim unapređenjem upravljanja deponijama i odgovornim pristupom, kao i kvalitetnim monitoringom. Nove sanitarne deponije ne predstavljaju opasne zagađivače ni po kvalitativnim ni po kvantitativnim pokazateljima zagađujućih materija, ako se pravilno njima upravlja i kontroliše rad deponija (*Vujić i Brünner, 2009*).

Od globalnih uticaja treba pomenuti uticaj na smanjenje ozonskog omotača i uticaj na efekat „staklene bašte“ (*Lou i Nair, 2009*).

Oštećenje ozonskog omotača u stratosferi je uglavnom prouzrokovano antropogenim izvorima. Antropogeni izvori su uglavnom emisije supstanci koje u različitim kombinacijama sadrže hemijske elemente hlor (Cl), fluor (F), brom (Br), ugljenik (C) i vodonik (H), poznatije su pod nazivom supstance koje oštećuju ozonski omotač. Tu se ubrajaju: freoni (hlorisani i

fluorisani ugljovodonici, CFCs), koji su prisutni u deponijskom gasu (*Hodson i dr., 2010*), haloni, metil bromid, ugljen tetra hlorid i metil hloroform. Ove supstance imaju široku primenu kao rashladno sredstvo u frižiderima, zamrzivačima i drugim rashladnim uređajima, klima-uređajima i toplotnim pumpama, aerosolima, sredstvima za čišćenje i aparatima za gašenje požara. Ostali izvori koji doprinose smanjenju ozonskog sloja su emisija gasova iz avionskih motora, uključujući emisiju azotnih oksida (NO), vodene pare, nesagorelih ugljovodonika, ugljen-monoksida (CO), ugljendioksida (CO<sub>2</sub>) i sumpor-dioksida (SO<sub>2</sub>), kao i neki prirodni izvori kao što su veliki požari, velike vulkanske erupcije itd.

Metan i ugljen dioksid sa deponija su gasovi sa efektom staklene bašte (GHG), čije prisustvo u atmosferi doprinosi globalnom zagrevanju i klimatskim promenama (*UNEP, 2010*). Metan učestvuje sa 16% od ukupne antropogene i prirodne emisije metana u atmosferu, dok oko 70% emisije metana nastaje iz poljoprivredne proizvodnje, podzemne i površinske eksploatacije uglja i eksploatacije nafte. Metan je drugi po značaju (odmah posle ugljen dioksida CO<sub>2</sub>) gas sa efektom „staklene bašte“, ali je zato 25 puta agresivniji od ugljen dioksida CO<sub>2</sub>. Njegov životni vek u atmosferi je oko 12 godina.

## 2.6 Uticaj deponije na zdravlje ljudi

Zahtevno i vrlo teško je izmeriti efekte na zdravlje stanovništva nastale dugoročnom ekspozicijom dejstvu materija koje su prisutne u otpadu ili nastaju kao produkti na postrojenjima za tretman otpada, naročito imajući u vidu da su te koncentracije pretežno male, kao i sagledavajući složen način njihovog prenosa kroz zemljište, ulaz u lanac ishrane i sl. (*Stevanović-Čarapina i Mihajlov, 2011*). Ipak, usled nedostatka kvalitetnih istraživanja i dokaza o uticaju postrojenja za tretman otpada, njihova izgradnja i rad izaziva pažnju i zabrinutost javnosti. Različiti akcidenti, koji često i nisu u vezi sa upravljanjem otpadom proizveli su izuzetno jak NIMBY (*not in my backyard* – ne u mom dvorištu) sindrom koji izaziva suprotstavljanje izgradnji postrojenja: deponija, reciklažnih centara, insineratora. Veliki broj radova i studija je izrađen koji tretiraju uticaj emisija zagađujućih materija u blizini različitih postrojenja za tretman otpada. Nastajanje određenih zdravstvenih problema se može povezati sa svakim korakom u životnom ciklusu otpada, tokom rukovanja, tretmana, odlaganja i to:

- Usled direktnog izlaganja uticaju otpada, kroz procese povradaja i reciklaže ili drugih vidova izlaganja opasnim materijama iz otpada (gasovi iz insineratora, ili deponija, miris, štetočin, buka i sl.
- Indirektnim uticajem (npr. gutanjem kontaminirane vode, hrane sa kontaminiranog zemljišta zagađene usled odlaganja otpada i sl.).

Ekspozicija stanovništva uticaju postrojenja za tretman otpada može biti (*Giusti, 2009*):

- Akutna, usled kratkotrajnog izlaganja visokom nivou opasnih materija, bioaerosola i prašine do koga dolazi usled akcidenata koji mogu nastati pri radu postrojenja za tretman otpada,

- Hronična, kada se radi o dugotrajnom izlaganju relativno niskim koncentracijama opasnih supstanci ili radijacije.

Imajući u vidu karakteristike otpada, kao indikacija zdravstvenih efekata koji mogu nastati usled uticaja emisija u medijume zivotne sredine iz postrojenja za upravljanjem otpadom se navode (*Triassi i dr., 2015*):

- Iritacije oka: VOC (isparljiva organska jedinjenja),
- Bronhitis i respiratorne infekcije: čestice, sumpordioksid SO<sub>2</sub>,
- Astma,
- Smanjenje kapaciteta za prenos kiseonika u krvi: ugljen dioksid CO<sub>2</sub>,
- Efekti na centralni nervni system: olovo Pb, mangan Mn, ugljen monoksid CO,
- Efekti na imuni system: olovo Pb, dioksini, PAH, benzen, PCB, organohlorna jedinjenja,
- Efekti na reproduktivnost: arsen As, benzen, kadmijum Cd, olovo Pb, živa Hg, hlorna jedinjenja, PAH, PCB,
- Kancer: PAH, arsen As, niki Ni, hrom Cr, vinil hlorid, benzen,
- Efekti na jetru: arsen As, PCB, hloroform, vinil hlorid,
- Efekti na bubrege: živa Hg, kadmijum Cd, arsen As, olovo Pb, halogenovani ugljovodonici, organski rastvarači, pesticidi.

## 2.7 Zatvaranje deponije

Upravljanje deponijom i procesima na deponiji se ne završava nakon prestanka dovoženja i odlaganja otpada na lokaciju deponije. Pre nego što se pristupi pronalazanju nove adekvatne lokacije za nastavak procesa kontrolisanog odlaganja otpada, neophodno je izvršiti zatvaranje deponije uz poštovanje principa minimizacije uticaja zatvorene deponije na životnu sredinu i principa kontinualnog praćenja.

U skladu sa Zakonom o upravljanju otpadom („*Službeni glasnik RS*“ broj 36/09,88/10, 14/16), operater na deponiji je dužan da obezbedi rekultivaciju deponije posle njenog zatvaranja i vršenje stručnog nadzora nad deponijom, odnosno lokacijom u periodu od najmanje 30 godina, sa ciljem smanjenja rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Takođe, operateri postrojenja za skladištenje, tretman i odlaganje otpada koji podnose zahtev za izdavanje dozvole, dužni su da uz ostalu dokumentaciju dostave i plan za zatvaranje postrojenja. Dozvolom se utvrđuju uslovi za obavljanje delatnosti operatera u postrojenju za skladištenje, tretman i odlaganje otpada, kao i mere zaštite od udesa, mere zaštite od požara, kao i procedure za zatvaranje postrojenja, planovima za zatvaranje i rekultivaciju i visini finansijske garancije ili drugog instrumenta za pokriće troškova rada deponije i naknadnog održavanja lokacije posle zatvaranja. Dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada izdaju se na period od 10 godina. Operater deponije odgovoran je za primenu uslova propisanih dozvolom i posle zatvaranja deponije, sve dok nadležni organ za izdavanje dozvole, ne izda potvrdu kojom se garantuje da su rizici po zdravlje ljudi i životnu sredinu svedeni na prihvatljiv nivo.



Pravilnikom o sadržini i izgledu dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada ("Službeni glasnik RS", broj 96/2009), definisan je izgled i sadržina dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada koji izdaje nadležni državni organ operateru na period od 10 godina. U Pravilniku se navode tri osnovne celine (Opšti podaci, delatnost za koju je zahtev podnet i ocena zahteva i uslovi za rad postrojenja), a u okviru celine koja se odnosi na uslove za rad postrojenja, razmatraju se sledeći aspekti:

1. Važnost dozvole i rok za podnošenje zahteva za obnavljanje i/ili reviziju uslova u dozvoli
2. Rad i upravljanje postrojenjem
3. Lokacija postrojenja i infrastruktura
4. Upravljanje otpadom
5. Mere zaštite životne sredine i kontrola zagađivanja
6. Sprečavanje udesa i odgovor na udes
7. Nestabilni (prelazni) načini rada
8. Definitivni prestanak rada postrojenja ili njegovih delova
9. Izveštavanje
10. Netehnički prikaz podataka na kojima se zahtev zasniva

Pod tačkom 5. "Mere zaštite životne sredine i kontrola zagađivanja", navode se sledeće stavke u dozvoli za odlaganje otpada::

- 1) Granične vrednosti emisija (vazduh, voda, buka)
- 2) Koncentracija zagađujućih materija u vazduhu i vodi i uticaj na njihov kvalitet
- 3) Zaštita zemljišta i podzemnih voda od zagađivanja
- 4) Monitoring (kontrola i merenje)

U skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponije, površina deponije ili jedan njen deo zatvara se kada su ispunjeni uslovi navedeni u dozvoli i glavnom projektu za zatvaranje cele deponije ili jednog njenog dela. Sve klase deponija se prekrivaju i nanose se zaštitni slojevi u skladu sa procedurama i režimom rada deponije, a u cilju sprečavanja dotoka padavinskih voda u telo deponije, povećanja količine procedne vode i produžetka procesa odumiranja deponije.

Pri zatvaranju deponije obezbeđuje se nesmetano funkcionisanje sistema za otplinjavanje (biotrnova) sve dok za tim postoji potreba. Deponija ili deo deponije zatvara se u skladu sa dozvolom, kada se steknu uslovi za zatvaranje deponije ili usled nepredviđenih okolnosti koje ugrožavaju životnu sredinu, a u skladu sa posebnim propisima. Po zatvaranju deponije obezbeđuje se:

- 1) održavanje i zaštita zatvorene deponije,
- 2) kontrola i monitoring zatvorene deponije u skladu sa ovom uredbom.

Nakon završenog perioda eksploatacije, deponija se zatvara za dalje odlaganje formiranjem gornjeg prekrivnog sloja koji ispunjava sledeće tehničko-tehnološke uslove iz tabele 2.3:

Tabela 2.3: Formiranje gornjeg prekrivnog sloja  
(Uredba o odlaganju otpada na deponije „Službeni glasnik RS“ broj 92/2010)

Primenjene mere u smislu formiranja gornjeg prekrivnog sloja	Klasa deponije		
	Za neopasan otpad	Za opasan otpad	Za inertni otpad
Sloj za drenažu deponijskog gasa $\geq 0,3$ m	zahteva se	ne zahteva se	ne zahteva se
Veštačka vodonepropusna obloga - folija	ne zahteva se	zahteva se	ne zahteva se
Nepropusni mineralni sloj $\geq 0,5$ m	zahteva se	zahteva se	ne zahteva se
Sloj za rekultivaciju $\geq 0,5$ m	zahteva se	zahteva se	ne zahteva se

Tehničko-tehnološke mere iz tabele ne primenjuju se na deponijama na kojima se odlaže građevinski otpad, otpad koji sadrži čvrsto vezani azbest, kao i na deponije za inertni otpad, koji u procesu raspada ne utiče na životnu sredinu, odnosno kod koga oticanje procednih tečnosti u okruženje nema negativnih efekata na kvalitet zemljišta, podzemnih i površinskih voda.

Za sloj za rekultivaciju može se koristiti kompost ili otpad dobijen drugim tehnologijama biološkog tretmana, koji po sastavu zadovoljava granične vrednosti parametara za odlaganje otpada.

Nakon zatvaranja deponije sve do njenog odumiranja, operater na deponiji preduzima mere koje se odnose na:

1. održavanje, nadzor, kontrolu i monitoring prostora deponije, u skladu sa ovom uredbom i Zakonom;
2. sastavljanje izveštaja o stanju deponije za svaku kalendarsku godinu i njegovo dostavljanje nadležnom organu najkasnije do 31. marta za prethodnu kalendarsku godinu;
3. prijavu nepravilnosti utvrđene kontrolom i monitoringom, koje mogu štetno uticati na životnu sredinu, a koja se dostavlja nadležnim institucijama, u roku od sedam dana od dana utvrđivanja.

Mere za sprečavanje ili smanjenje zagađenja životne sredine sprovodi operater o svom trošku i u datom roku, a u skladu sa pomenutim Zakonom.

### **3. Monitoring deponije**

#### **3.1 Značaj i predmet monitoringa životne sredine**

Zakonom o zaštiti životne sredine („Službeni glasnik RS“ broj 135/04, 36/09, 36/09 – dr. zakon, 72/09 – dr. Zakon, 43/2011 – odluka US, 14/2016), predviđeno je da Republika Srbija, autonomna pokrajina i jedinica lokalne samouprave u okviru svoje nadležnosti utvrđene zakonom obezbeđuju kontinualnu kontrolu i praćenje stanja životne sredine, u skladu sa ovim i posebnim zakonima.

Monitoring je sastavni deo jedinstvenog informacionog sistema životne sredine. Vlada donosi programe monitoringa na osnovu posebnih zakona. Autonomna pokrajina, odnosno jedinica lokalne samouprave donosi program monitoringa na svojoj teritoriji. Republika Srbija, autonomna pokrajina i jedinica lokalne samouprave, obezbeđuju finansijska sredstva za obavljanje monitoringa.

Monitoring se vrši sistematskim praćenjem vrednosti indikatora, odnosno praćenjem negativnih uticaja na životnu sredinu, stanja životne sredine, mera i aktivnosti koje se preduzimaju u cilju smanjenja negativnih uticaja i podizanja nivoa kvaliteta životne sredine. Monitoring može da obavlja i ovlašćena organizacija ako ispunjava uslove u pogledu kadrova, opreme, prostora, akreditacije za merenje datog parametra i SRPS-ISO standarda u oblasti uzorkovanja, merenja, analiza i pouzdanosti podataka.

Operater postrojenja, odnosno kompleksa koje predstavlja izvor emisija i zagađivanja životne sredine dužan je da preko nadležnog organa, ovlašćene organizacije ili samostalno, ukoliko ispunjava uslove propisane zakonom, obavlja monitoring, odnosno da:

- 1) prati indikatore emisija, odnosno indikatore uticaja svojih aktivnosti na životnu sredinu, indikatore efikasnosti primenjenih mera prevencije nastanka ili smanjenja nivoa zagađenja;
- 2) obezbeđuje meteorološka merenja za velike industrijske komplekse ili objekte od posebnog interesa za Republiku Srbiju, autonomnu pokrajinu ili jedinicu lokalne samouprave.

Zagađivač je dužan da izradi plan obavljanja monitoringa, da vodi redovnu evidenciju o monitoringu i da dostavlja izveštaje, u skladu sa ovim zakonom. Zagađivač planira i obezbeđuje finansijska sredstva za obavljanje monitoringa, kao i za druga merenja i praćenje uticaja svoje aktivnosti na životnu sredinu. Državni organi, odnosno organizacije, organi autonomne pokrajine i jedinice lokalne samouprave, ovlašćene organizacije i zagađivači dužni su da podatke iz monitoringa dostavljaju Agenciji za zaštitu životne sredine na propisan način.

#### **3.2 Odlaganje otpada i monitoring po standardima EU**

Politika zaštite životne sredine danas predstavlja jedno od najsveobuhvatnijih i najvažnijih politika Evropske unije i ona direktno proizilazi iz pravnih tekovina Evropske unije. U državama članicama ova politika dolazi sa nadnacionalnog nivoa, jer je nadnacionalna tvorevina Evropska

unija u odnosu na nacionalne politike država članica Evropske unije vodeći autoritet u ovoj oblasti. Može se reći da nekoliko principa upravljanja otpadom, utvrđeni u različitim dokumentima i propisima, predstavljaju osnovu politike Evropske unije u ovoj oblasti. Pored opštih principa politike Evropske unije u oblasti životne sredine definisanih Ugovorom o funkcionisanju Evropske unije (prevencija, predostrožnost, zagađivač - plaća i sprečavanje štete u životnoj sredini na izvoru nastanka) nekoliko principa se specifično odnosi na oblast upravljanja otpadom ili na specifičan način izvedeni iz opštih principa. U skladu sa članom 4. Direktive 2008/98/EC o otpadu hijerarhija principa podrazumeva da strategije upravljanja otpadom moraju da budu zasnovane na sprečavanju proizvodnje (nastanka) otpada i minimiziranju štetnih efekata otpada. A kada ovo nije moguće, otpadni materijali treba da budu ponovo korišćeni, reciklirani, obnovljeni ili korišćeni kao izvor energije. U poslednjoj fazi ostavljena je mogućnost za primenu mera koje se odnose na odlaganje otpada u skladu sa definisanim standardima (Nikolić, 2015).

Postupanje sa otpadom u EU i stanje u ovoj oblasti različito je od države do države iako postoje izvesne opšte i zajedničke karakteristike. Procenjuje se da dominira odlaganje komunalnog otpada na deponije (49%), potom dolazi spaljivanje (18%), reciklaža i kompostiranje (33%). U državama novim članicama, iako se stanje ubrzano menja, dominira odlaganje na deponije iako je to u savremenoj politici najnepoželjnija opcija. Inače, postoje velike razlike u stanju između pojedinih država članica budući da kod nekih ubedljivo dominira odlaganje na deponije (99%), za razliku od drugih gde je odlaganje na deponije zanemarljiv način postupanja sa otpadom (10%), i gde dominiraju drugi oblici postupanja sa otpadom (reciklaža 65%), itd. (Dragojlović i Mišćević, 2010).

Može se reći da nekoliko principa upravljanja otpadom, utvrđeni u različitim dokumentima i propisima, predstavljaju osnovu politike EU u ovoj oblasti. Pored opštih principa politike EU u oblasti životne sredine definisanih Ugovorom o funkcionisanju EU (prevencija, predostrožnost, zagađivač-plaća i sprečavanje štete u životnoj sredini na izvoru nastanka) nekoliko principa se specifično odnosi na oblast upravljanja otpadom ili na specifičan način izvedeni iz opštih principa. U skladu sa članom 4. Direktive 2008/98/EC o otpadu hijerarhija principa podrazumeva da strategije upravljanja otpadom moraju primarno biti zasnovane na sprečavanju proizvodnje (nastanka) otpada i minimiziranju štetnih efekata otpada. Onda kada ovo nije moguće, otpadni materijali treba da budu ponovo korišćeni, reciklirani, obnovljeni ili korišćeni kao izvor energije. U poslednjoj fazi ostavljena je mogućnost za primenu mera koje se odnose na odlaganje otpada u skladu sa definisanim standardima. Ovome treba dodati i sledeće principe: princip blizine (otpad treba da bude odlagan što je moguće bliže izvoru nastanka), princip odgovornosti proizvođača (koji podrazumeva da privredni subjekti moraju biti uključeni u mere zasnovane na pristupu koji polazi od principa „životnog ciklusa“ za substance, delove ili proizvode koji oni proizvode ili koriste), sprečavanje ilegalne trgovine otpadom i ilegalnog odlaganja otpadom (što podrazumeva preduzimanje odgovarajućih mera monitoringa, obezbeđivanja poštovanja propisa i međunarodne saradnje) i princip najboljih raspoloživih tehnika koje ne zahtevaju prevelike troškove (ibid.)

Direktiva 1999/31/EC o deponijama otpada (*Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste*) zabranjuje na teritoriji EU deponovanje pojedinih vrsta opasnog otpada, tečnih otpada i guma. Direktiva postavlja za cilj redukovanje deponovanih količina biorazgradivog komunalnog otpada. Direktivom se zahteva da sav otpad mora biti tretiran pre deponovanja, tj. zabranjuje se deponovanje netretiranog otpada. Ovom direktivom o deponovanju otpada uvodi se klasifikacija deponija, prema vrsti otpada za koju je namenjena, na deponije za opasan, neopasan i inertan otpad. U direktivi se uvodi zabrana odlaganja za:

- biorazgradiv otpad - predloženom direktivom je predviđeno smanjenje količine biorazgradivog otpada koji se deponuje na 75%, i dalje smanjenje na 50% do 2005, odnosno na 25% do 2010. godine;
- tečni otpad;
- zapaljiv ili izuzetno zapaljiv otpad;
- eksplozivan otpad;

Prema ovoj Direktivi, zajednicko odlaganje inertnog, opasnog i komunalnog otpada nije dozvoljeno. Direktiva sadrži niz opštih kriterijuma za određivanje lokacije deponija i mera zaštite vode, tla i vazduha kroz primenu sakupljanja i precišćavanja procednih voda i sakupljanja i korišćenja deponijskog gasa uz obnavljanje energije. Ukoliko se gas ne koristi za proizvodnju energije on se mora sagorevati radi sprecavanja njegove emisije u atmosferu. Takodje, za sve klase deponija zahteva se pokrivanje površine deponije slojem debljine veće od 1 m, zatim merenje i pracenje određenih radnih parametara i zabrana ilegalnog odlaganja otpada. Monitoring deponija nakon zatvaranja u zemljama Evropske unije je ovom Direktivom propisan na vremenski period od 30 godina, mada u praksi, od zemlje do zemlje članice EU ovaj period se kreće od 30 – 60 godina, a u pojedinim slučajevima i do 100 godina monitoringa deponije.

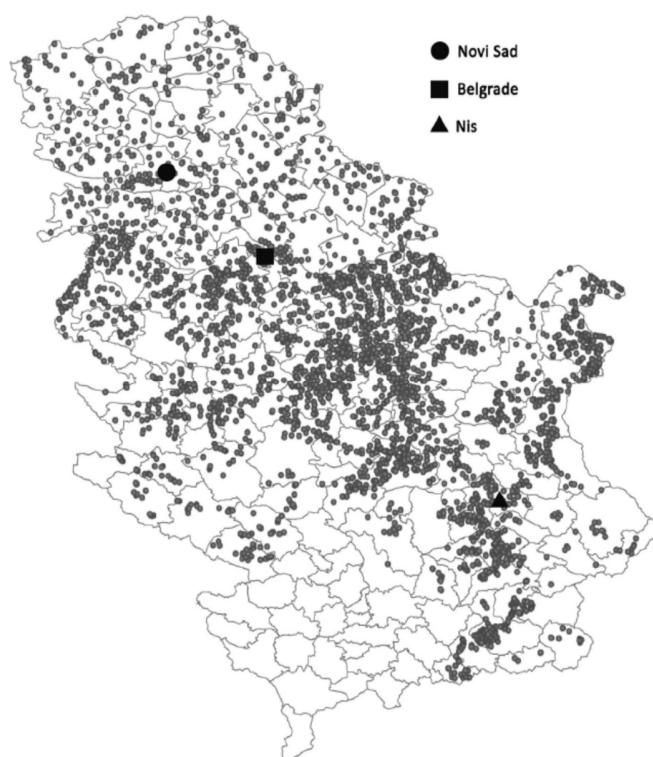
### 3.3 Upravljanje otpadom u Republici Srbiji

Srbija, kao zemlja kandidat za članstvo u EU, nalazi se u izuzetno teškom položaju kada je reč o problemu otpada. Postoji pozitivan trend aktivnosti, ali samo u pogledu usvajanja horizontalnog zakonodavstva, zadovoljenjem rokova za usaglašavanje zakonodavstva EU u nacionalno zakonodavstvo. Prvi iskorak je načinjen 2009. godine usvajanjem Zakona o upravljanju otpadom (*"Službeni glasnik" RS, br 135/2009*) i Zakona o ambalaži i ambalažnom otpadu (*"Službeni glasnik" RS, br 135/2009*). Ove zakone, međutim, nisu blagovremeno pratila neophodna podzakonska akta čime je načinjen "pravni vakum" za primenu njihovih odredbi. Praksa pravno uređenih država je da se pre usvajanja zakona pripreme neophodni podzakonski akti kako bi, po stupanju zakona na snagu, njegove odredbe bile primenjive. Izmenama i dopunama ovog zakona (*"Službeni glasnik" RS, br 88/10 i 14/16*), pomerene su stvari sa mrtve tačke i stvoreni mehanizmi za adekvatno upravljanje otpadom, međutim i dalje se situacija u pogledu upravljanja otpadom nije mnogo promenila.

Veliki problem je i ne izgrađena infrastruktura za adekvatno upravljanje otpadom. U Srbiji se godišnje odloži na deponije oko 2,3 miliona tona otpada čija se struktura uglavnom pozanata. U Srbiji je trenutno u funkciji oko 160 lokalnih-opštinskih deponija, oko 4500 "divljih"

deponija – smetlišta (Slika 2). Sve one čine nesagledanu ali veliku štetu po životnu sredinu odnosno zdravlje ljudi. Većina je starosti preko 20 pa do 54 godine i njihova popunjenost je evidentna. Locirane su na način kojim direktno utiču na sve resurse obzirom da ne ispunjavaju, najčešće, ni minimum tehničko-tehnoloških i sanitarnih uslova (Vujić i dr., 2012, op.cit.).

Strategijom upravljanja otpadom u Srbiji za period 2010–2019 ("Službeni glasnik RS", br.29/10), predviđena je izgradnja 26 regionalnih centara za komunalni otpad koji bi u svom sastavu imali i postrojenja za separaciju reciklabilnog otpada, postrojenja za biološki tretman otpada i transfer stanice. Izgradnja regionalnih deponija u Srbiji je fazna i za samu izgradnju računa se investicija od 20 miliona eura. Njihova funkcionalnost i operativnost umanjena je činjenicom da se kasni sa formiranjem transfer stanica kao njihovih neophodnih pratilaca. U Srbiji je završeno do sada 7 regionalnih deponija a u procesu izgradnje se nalazi još nekoliko.



Slika 2: Prostorni raspored smetlišta u Srbiji (Vujić i dr., 2012, op.cit.)

U narednom periodu potrebno je dalje usaglašavanje propisa sa EU zakonodavstvom i razvijanje institucionalnih kapaciteta. Teritorijalne jedinice (opštine i regioni) imaju zakonsku obavezu da urade i usvoje svoje lokalne i regionalne planove upravljanja otpadom. Neophodno je formiranje i promovisanje širenja centara za odvojeno sakupljanje reciklabilnog otpada (papira, limenki, stakla, plastike itd.) gde će građani sami donositi otpad. Na osnovu strateških dokumenata prioritet predstavlja organizacija regionalnih centara za upravljanje otpadom, sa

svom potrebnom infrastrukturuom. Politika upravljanja otpadom podrazumeva dugoročno planiranje i izgradnju postrojenja za iskorišćavanje energije iz otpada tamo gde za to postoji ekonomska opravdanost. Pored ovoga, neophodna je primena principa pune nadoknade troškova za usluge sakupljanja i odlaganja otpada i uvođenje podsticajnih instrumenata za ponovno korišćenje i reciklažu otpada. Samo na ovaj način, odnosno ostvarivanjem svega navedenog, dosadašnja težnja i donošenje strateških i planskih dokumenata ima svoju svrhu, a to je uspostavljanje efikasnog sistema upravljanja otpadom u našoj zemlji (*Filipović i dr., 2012*).

### 3.4 Monitoring sanitarnih deponija po standardima Republike Srbije

U skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponije („*Službeni glasnik RS*“ broj 92/10), monitoring na deponiji se sprovodi u toku aktivne i pasivne faze deponije.

Na deponiji vrši se monitoring, i to:

- 1) monitoring meteoroloških parametara;
- 2) monitoring površinskih voda;
- 3) monitoring procedne vode;
- 4) monitoring emisije gasova;
- 5) monitoring podzemnih voda;
- 6) monitoring količine padavinskih voda;
- 7) monitoring stabilnosti tela deponije;
- 8) monitoring zaštitnih slojeva;
- 9) monitoring pedoloških i geoloških karakteristika.

Monitoring se vrši uzorkovanjem i merenjem na sledeći način:

- 1) Monitoring meteoroloških parametara

Merenje meteoroloških parametara vrši se na način dat u Tabeli 3.1:

Tabela 3.1: Način merenja meteoroloških parametara  
(Uredba o odlaganju otpada na deponije „*Službeni glasnik RS*“ broj 92/2010)

Parametri	Aktivna faza	Pasivna faza
1. Količina padavina	dnevno	dnevno, dodaje se mesečnoj vrednosti
2. Temperatura (min, maks. u 14.00)	dnevno	mesečni prosek
3. Brzina i smer vazdušnih strujanja	dnevno	nije potrebno
4. Isparavanje (lizimetar) *	dnevno	dnevno, dodaje se mesečnoj vrednosti
5. Atmosferska vlažnost (u 14.00)	dnevno	mesečni prosek
* ili druga odgovarajuća metoda		

Merenja se obrađuju u deponijskoj laboratoriji ili se preuzimaju od najbliže meteorološke stanice dokle god to zahteva nadležni organ u skladu sa zakonom i ovom uredbom.

## 2) Monitoring površinskih voda

Monitoring površinskih voda, ukoliko postoje u neposrednoj zoni deponije, a u zavisnosti od hidrogeoloških uslova sredine i njihove udaljenosti od deponije, vrši se:

1. pre puštanja deponije u eksploataciju, uzimanjem uzoraka površinskih voda, odnosno određivanjem "nultog stanja",
2. u procesu eksploatacije deponije u cilju upoređivanja sa "nultim stanjem", i to u početku eksploatacije deponije (prvih godinu dana) - svakih mesec dana, a kasnije na svaka tri meseca,
3. po prestanku eksploatacije deponije prvih pet godina na svakih šest meseci, a kasnije jednom godišnje, do odumiranja deponije, ukoliko rezultati monitoringa pokažu da nije došlo do akcidentne situacije. Ukoliko postoje površinske vode, uzorkovanje se vrši na najmanje dve tačke, jednoj uzvodno od deponije, a jednoj nizvodno od deponije.

Uzorkovanje i ispitivanje površinskih voda koje se vrše u propisanim vremenskim intervalima, obavljaju akreditovane ustanove za tu vrstu ispitivanja. Stalni monitoring površinskih voda u toku eksploatacije deponije sa skraćenim hemijskim i bakteriološkim analizama vrši se na svakih 15 dana u deponijskoj laboratoriji.

## 3) Monitoring procedne vode

Monitoring procedne vode vrši se na reprezentativnom broju uzoraka na svakoj tački na kojoj se tečnost kontrolisano odvodi sa lokacije. Merenje zapremine i sastava tj. kvalitativnih i kvantitativnih parametara procedne vode vrši se jednom mesečno u toku eksploatacije deponije. Navedena merenja vrše se i po prestanku eksploatacije deponije svakih šest meseci prvih pet godina, a zatim jednom godišnje do odumiranja deponije.

## 4) Monitoring emisije gasova

Monitoring emisije gasova vrši se na reprezentativnom broju uzoraka propisanim dozvolom. Merenje emisije i koncentracije gasova metana (CH<sub>4</sub>), ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) i kiseonika (O<sub>2</sub>) vrši se jednom mesečno u toku eksploatacije deponije. Navedena merenja vrše se i po prestanku eksploatacije deponije prvih deset godina, svakih šest meseci, a zatim svake dve godine do odumiranja deponije. Merenja ostalih deponijskih gasova (vodonik sulfide H<sub>2</sub>S, vodonika H<sub>2</sub> i drugih) vrše se u zavisnosti od sastava odloženog otpada, a u skladu sa dozvolom.

Učestalost uzorkovanja i merenja iz tačke 2), 3) i 4) ovog vrši se na način dat u Tabeli 2.5:

Tabela 3.2: Učestalost merenja monitoring površinskih voda, procedne vode i emisije gasova (Uredba o odlaganju otpada na deponije, „Službeni glasnik RS“ broj 92/2010)

Parametri	Aktivna faza	Pasivna faza <sup>(3)</sup>
1. Zapremina procedne vode	Mesečno <sup>(1)(3)</sup>	svakih šest meseci
2. Sastav procedne vode <sup>(2)</sup>	Kvartalno <sup>(3)</sup>	svakih šest meseci
3. Zapremina i sastav površinske vode <sup>(7)</sup>	Kvartalno <sup>(3)</sup>	svakih šest meseci



4. Potencijalna emisija gasova i atmosferski pritisak <sup>(4)</sup> (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , i O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> itd.)	Mesečno <sup>(3)</sup> <sup>(5)</sup>	svakih šest meseci <sup>(6)</sup>
<p><sup>(1)</sup> učestalost uzorkovanja se može prilagoditi na osnovu morfološkog sastava, a određuje se dozvolom.</p> <p><sup>(2)</sup> parametri za merenje koji se analiziraju variraju u zavisnosti od sastava deponovanog otpada, određuju se dozvolom.</p> <p><sup>(3)</sup> ukoliko procena podataka ukazuje da su duži intervali jednako efektivni merenja mogu da se vrše u tim intervalima, ali obavezno jednom godišnje.</p> <p><sup>(4)</sup> ove mere se odnose na biorazgradivi otpad.</p> <p><sup>(5)</sup> CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, i O<sub>2</sub> redovno, ostali gasovi po potrebi, u zavisnosti od sastava deponovanog otpada.</p> <p><sup>(6)</sup> efikasnost degazacionog sistema, mora se redovno proveravati.</p> <p><sup>(7)</sup> na osnovu karakteristika lokacije deponije, nadležna institucija koja daje uslove može utvrditi da ova merenja nisu potrebna i o tome obavestiti nadležni organ.</p> <p><sup>(1)</sup> i <sup>(2)</sup> primenjuju se samo kod klase deponije na kojoj se vrši sakupljanje procedne vode.</p>		

#### 5) Monitoring podzemnih voda

Monitoring podzemnih voda vrši se u tri etape:

- (1) uzorkovanje;
- (2) nadzor;
- (3) određivanje kritičnih vrednosti.

Monitoring podzemnih voda ispod dna deponije i u neposrednoj zoni uticaja deponije mora biti takav da obezbedi informacije o podzemnim vodama koje se mogu zagaditi kao posledica rada deponije. Kao referentne vrednosti za vršenje monitoringa podzemnih voda uzimaju se uzorci pre puštanja u eksploataciju deponije i označavaju kao "nulto stanje", a prema ISO 5667-2 deo 11, 1993.

Uzorci podzemnih voda se uzimaju iz hidrogeoloških objekata (piezometara, baterija piezometara ili osmatračkih bunara) iz najmanje tri tačke, a takvog rasporeda da prate kretanje podzemnih voda. Konačan broj mernih objekata definišu hidrogeološki uslovi sredine. Ova ispitivanja uzoraka podzemnih voda se vrše u cilju eventualnog utvrđivanja dešavanja akcidentnih situacija u zaštitnim slojevima deponije, odnosno utvrđivanja zagađenja podzemnih voda.

Pored određivanja sastava podzemne vode vrši se i permanentno merenje nivoa podzemnih voda. Učestalost merenja nivoa i sastava podzemne vode data je u Tabeli 3.3:

Tabela 3.3: Učestalost merenja I sastava podzemne vode  
(Uredba o odlaganju otpada na deponije, „Službeni glasnik RS“ broj 92/2010)

Parametri	Aktivna faza	Pasivna faza
1. Nivo podzemne vode	svakih šest meseci <sup>(1)</sup>	svakih šest meseci <sup>(1)</sup>
2. Sastav podzemne vode	učestalost u zavisnosti od specifičnosti terena <sup>(2) (3)</sup>	učestalost u zavisnosti od specifičnosti terena <sup>(2) (3)</sup>
<sup>(1)</sup> Sa povećanjem učestalosti promene nivoa podzemne vode treba povećati učestalost uzorkovanja. <sup>(2)</sup> Ako se dostigne kritičan nivo, učestalost se mora zasnivati na mogućnosti preduzimanja korektivnih mera između dva uzorkovanja, tj. učestalost se mora utvrditi na temelju znanja i procene brzine toka podzemne vode. <sup>(3)</sup> Kada se dostigne kritičan nivo neophodna je provera ponavljanjem uzimanja uzoraka. Kad je nivo potvrđen, mora da se sprovede plan (utvrđen u dozvoli) za nepredviđene okolnosti.		

U prvih šest meseci rada deponije na svakih 15 dana vrši se merenje i ispitivanje (skraćene hemijske i bakteriološke analize) podzemnih voda, a nakon ovog perioda prema učestalostima datim u Tabeli 5. Uzorci podzemnih voda, koji se uzimaju u vremenskim intervalima datim u Tabeli 5, rade se kao kompletne hemijske i bakteriološke analize u akreditovanim ustanovama za tu vrstu ispitivanja. Ukoliko rezultati ispitivanja uzetih uzoraka pokažu da je odstupljeno od graničnih vrednosti u skladu sa zakonom kojim se uređuju vode, smatra se da je došlo do akcidentne situacije zaštitnih slojeva deponije. U tom slučaju izrađuju se dodatni hidrogeološki objekti uzimajući u obzir hidrogeološke uslove sredine. Svi obrađeni podaci prikazuju se kontrolnim dijagramima sa utvrđenim kontrolnim pravilima graničnih vrednosti za svaku mernu tačku za podzemne vode.

#### 6) Monitoring količine padavinskih voda

Merenje količine padavinskih voda na prostoru deponije, njenih pratećih objekata i u široj zoni zaštite, vrši se u skladu sa zakonom kojim se uređuju vode.

#### 7) Monitoring stabilnosti tela deponije

Monitoring stabilnosti tela deponije, vrši se kroz praćenje podataka o telu deponije i senzorskim praćenjem zaptivne obloge - folije. Stabilnost tela deponije, određuje se na način dat u Tabeli 3.4:

Tabela 3.4: Merenje stabilnosti tela deponije  
(Uredba o odlaganju otpada na deponije, „Službeni glasnik RS“ broj 92/2010)

Parametri	Aktivna faza	Pasivna faza
1. Struktura i sastav tela deponije <sup>(1)</sup>	godišnje	
2. Osobina sleganja nivoa tela deponije	godišnje	godišnje očitavanje
<sup>(1)</sup> podaci za utvrđivanje postojećeg stanja deponije, površina koju zauzima otpad, zapremina i sastav otpada, način odlaganja, vreme i trajanje odlaganja, proračun preostalog kapaciteta deponije.		

8) Monitoring zaštitnih slojeva

Monitoring zaštitnih slojeva deponije vrši se neprekidno sensorima ugrađenim u veštačku vodonepropusnu oblogu (ukoliko je ugrađena), a podaci se prate u deponijskoj laboratoriji. Monitoring zaštitnih slojeva deponije vrši se neprekidno dok traje eksploatacija deponije a po prestanku eksploatacija osmatranje i obrada podataka vrši se u intervalima propisanim u dozvoli za rad deponije.

9) Monitoring pedoloških i geoloških karakteristika

Monitoring pedoloških karakteristika zemljišta i geoloških karakteristika tla u neposrednoj zoni depo nije za "nulto stanje", vrši se uzimanjem uzoraka iz plitkih i dubokih sondažnih jama, kao i bušotina periodično izvođenih sa ciljem uzimanja uzoraka geološke sredine iz dubljih slojeva u neposrednoj zoni deponije.

Rezultati ispitivanja uzoraka vrše se u akreditovanim institucijama i upoređuju sa graničnim vrednostima utvrđenih dozvolom za rad deponije.

Uzorkovanja se vrše jednom godišnje u toku eksploatacije deponije, a po prestanku rada deponije jednom u pet godina sve do odumiranja deponije.

Svi podaci dobijeni monitoringom evidentiraju se u laboratoriji deponije i dostavljaju Agenciji za zaštitu životne sredine.

Uzorkovanje i merenje vrši se:

- 1) u deponijskoj laboratoriji gde se određena ispitivanja vrše svakodnevno;
- 2) u akreditovanoj laboratoriji u određenim vremenskim razmacima propisanim ovom uredbom ili učestalije, ako podaci u deponijskoj laboratoriji pokažu da je došlo do bilo kakve akcidentne situacije ili odstupanja od nultog stanja određenih parametara.

Ovde treba napomenuti da Uredbom o odlaganju otpada na deponije nije tačno definisano koji parametri moraju biti praćeni i mereni prilikom sprovođenja monitoringa podzemne vode i monitoringa procednih voda, kao ni njihove maksimalno dozvoljene koncentracije, već se većina merenja obavlja na osnovu opštih uputstava, stranih iskustava i protokola.

Pravilnikom o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima („*Službeni glasnik RS*“ broj 33/2016), propisani su načini i uslovi za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržina izveštaja o izvršenim merenjima. Takođe, navedeno je da pravno lice, odnosno preduzetnik koji ispušta otpadne vode u recipijent i/ili u javnu kanalizaciju mora sprovoditi monitoring i merenja u skladu sa navedenim pravilnikom i priložima u njemu.

U navedenom pravilniku su definisani osnovni parametri otpadnih voda a to su:

- protok (minimalni, maksimalni i srednji dnevni),
- temperatura vazduha
- temperatura vode
- barometarski pritisak
- boja
- miris
- vidljive materije
- taložive materije nakon 2h
- pH vrednost
- BPK<sub>5</sub>
- HPK
- sadržaj kiseonika
- suvi ostatak,
- žareni ostatak,
- gubitak žarenjem
- suspendovane materije i
- elektroprovodljivost

Međutim, Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje („Službeni glasnik RS“ broj 67/11 i 48/12), propisuje u Prilogu 2, delu II – Druge otpadne vode, pod 2 - Granične vrednosti emisije otpadnih voda od odlaganja otpada na površini, propisani su parametri koje treba pratiti, dati su u Tabeli 3.5 i 3.6:

Tabela 3.5: Parametri i granične vrednosti emisije otpadnih voda od odlaganja otpada na površini – granične vrednosti emisije na mestu ispuštanja u površinske vode (Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, „Službeni glasnik RS“ broj 67/11 i 48/12)

Parametar	Jedinica mere	GVE <sup>(1)</sup>
Temperatura	°C	30
pH		6,5 – 9
Suspendovane materije	mg/l	35
Biohemijska potrošnja kiseonika	mg O <sub>2</sub> /l	20
Hemijska potrošnja kiseonika	mg O <sub>2</sub> /l	200 <sup>(2)</sup>
Ukupni neorganski azot	mg/l	70 <sup>(4)</sup>
Ukupni fosfor	mg/l	3
Ukupni ugljovodonici	mg/l	10 <sup>(3)</sup>
Azot od nitrita	mg/l	2
Toksičnost za ribe		2

<sup>(1)</sup> Vrednosti se odnose na 2-časovni uzorak.

<sup>(2)</sup> Slučaj otpadne vode za koji se smatra da hemijska potrošnja kiseonika (HPK) pre tretmana premašuje 4000 mgO<sub>2</sub> /l primeniće se nivo za HPK u efluentu u reprezentativnom slučajnom uzorku ili 2-časovnom kompozitnom uzorku, što je ekvivalentno redukciji HPK od 95%. Smanjenje HPK će se odnositi na odnos između količine zagađenja u efluentu i količine zagađenja u efluentu u postrojenja za tretman otpadnih voda tokom 24 časa. Za opterećenje zagađujućim materijama u efluentu

odlučujući će biti kapacitet iskorišćenja postrojenja na kome je zasnovana dozvola. Obim smanjenja će biti procenjen na osnovu dimenzionisanja i načina rada postrojenja za tretman otpadnih voda.

- (3) Zahtevi za ukupne ugljovodonike će se primeniti na slučajan uzorak. Neće se primenjivati na otpadnu vodu od odlaganja komunalnog otpada.
- (4) Zahtevi za ukupan azot će se primeniti na otpadnu vodu na temperaturi od 120°C i iznad u efluentu iz biološkog reaktora postrojenja za tretman otpadnih voda. Više koncentracije i do 100 mg/l za ukupan azot mogu biti dozvoljene u dozvoli za ispuštavanje vode, ako je obezbeđena redukcija opterećenja azotom do 75%. Redukcija se odnosi na srazmer između opterećenja azotom u efluentu i između efluenta nakon reprezentativnog perioda vremena koje ne prelazi 24 časa. Ukupan vezan azot (organski i neorganski) će biti korišćen kao osnova za računanje opterećenja.

Tabela 3.6: Granične vrednosti emisije pre mešanja sa ostalim otpadnim vodama na nivou pogona (Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, „Službeni glasnik RS“ broj 67/11 i 48/12)

Parametar	Jedinica mere	GVE <sup>(1)</sup>
AOX <sup>(2)</sup>	mg/l	0,5
Hg, živa	mg/l	0,05
Cd, kadmijum	mg/l	0,1
Cr, hrom	mg/l	0,5
Cr VI, hrom VI <sup>(3)</sup>	mg/l	0,1
Ni, nikel	mg/l	1
Pb, olovo	mg/l	0,5
Cu, bakar	mg/l	0,5
Zn, cink	mg/l	2
As, arsen	mg/l	0,1
CN, cijanid	mg/l	0,2
SO <sub>4</sub> , sulfat	mg/l	1

(1) Reprezentativan slučajni uzorak ili 2-časovni kompozitni uzorak  
 (2) Za AOX, hrom VI, lako oslobodive cijanide i sulfide se primenjuju vrednosti koje se odnose na slučajni uzorak

Otpadna voda, izuzev otpadne vode iz instalacija za biološki tretman otpada, može biti mešana sa drugim otpadnim vodama u svrhu zajedničkog biološkog tretmana ako je ispunjen barem jedan od sledećih zahteva:

1) U slučaju korišćenja riba, luminescentnih bakterija ili dafnija kao test organizama, u reprezentativnom uzorku otpadne vode, posle sprovođenja eliminacionih testova korišćenjem kanalizacionog postrojenja za biološki tretman laboratorijskog tipa, sledeći zahtevi se ne smeju prekršiti:

- Toksičnost za ribe: TF = 2 (mora se voditi računa da amonijak (NH<sub>3</sub>) ne bude razlog prevazilaženja te vrednosti);
- Toksičnost za dafnije TD = 4; i
- Toksičnost za luminiscetne bakterije TL = 4.

2) Da se postiže uklanjanje rastvorenog organskog ugljenika 75%.

3) Pre zajedničkog biološkog tretmana sa drugim otpadnim vodama, otpadna voda već poseduje koncentraciju rastvorenog organskog ugljenika manju od 400 mg/l.

### **3.5 Monitoring zatvorenih nesanitarnih deponija komunalnog otpada – smetlišta**

Pravilnikom o metodologiji za izradu projekata sanacije i remedijacije („*Službeni glasnik RS*“ broj 74/2015), Prilog II, bliže je definisana izrada projekata sanacije i remedijacije postojećih nesanitarnih deponija komunalnog otpada – smetlišta.

Velika neuniformnost, odnosno raznolikost postojećih nesanitarnih deponija – smetlišta, zahtevala je formiranje, odnosno definisanje metodologije izrade projekata sanacije i remedijacije za četiri grupe postojećih nesanitarnih deponija:

1. Nesanitarne deponije – smetlišta koja se konačno zatvaraju,
2. Nesanitarne deponije – smetlišta, koja će se koristiti do tri godine,
3. Nesanitarne deponije – smetlišta, koja će se koristiti pet i više godina,
4. Nesanitarne deponije – smetlišta, koja direktno ugrožavaju izvorišta vodosnabdevanja

Za prvu kategoriju nesanitarnih deponija – smetlišta, potrebno je predvideti monitoring stabilnosti, emisije gasova i kapaciteta obodnih kanala. Monitoring procedne vode nije predviđen za projektovanje i sprovođenje ni u jednoj od kategorija nesanitarnih deponija – smetlišta.

### **3.6 Ostali primeri monitoring i registara**

Protokol o registru ispuštanja i prenosa zagađujućih supstanci - Protocol on pollutant release and transfer register, (*EC No 166/2006*) je poseban međunarodni ugovor usvojen na Petoj ministarskoj konferenciji "Životna sredina za Evropu" održanoj u Kijevu (Ukrajina) u maju 2003. godine. On predstavlja međunarodni ugovor razvijen u okviru i pod okriljem Arhuske konvencije i formalno predstavlja protokol uz Arhusku konvenciju. Početkom 2006. godine u Agenciji za zaštitu životne sredine su započete aktivnosti na uspostavljanju katastra zagađivača, koji uključuje i aktivnosti na implementaciji PRTR protokola Arhuske konvencije u Republici Srbiji. Podaci za PRTR se, u principu, prikupljaju iz tačkastih izvora zagađivanja, fabričkih postrojenja, ali i iz difuznih (linijskih i površinskih) izvora, kao što su poljoprivredne operacije i transport. Ovo uključuje informacije o ispuštanjima u vazduh, vodu i zemljište, kao i transport otpada na organizovana odlagališta (*UN ECE, 2008*).

Osnovna karakteristika PRTR je da se prikazuju informacije o tačno definisanim hemijskim materijama, kao što su benzen ili živa, ali ne šire kategorije polutanata, kao što su VOCs, GHG gasovi ili teški metali. Pored toga, PRTR podrazumeva periodičnost prikupljanja informacije, čime se omogućuje prostorna i vremenska analiza distribucije zagađujućih materija. Korišćenjem precizno definisanih identifikatora za zagađujuće materije, postrojenja i druge izvore moguće je prikupljanje podataka, njihovo poredjenje i agregacija, kao i automatska obrada dobijenih informacija.

U grupi aktivnosti 5. (otpad i otpadne vode), a koje podležu obavezi registrovanja polutanata, spadaju:

- uređaji za obradu ili odlaganje opasnog otpada, sa kapacitetom od 10 t/dan,
- uređaji i instalacije za spaljivanje neopasnog otpada, sa kapacitetom od 3 t/h,
- uređaji za odlaganje neopasnog otpada, sa kapacitetom od 50 t/dan
- deponije (osim deponija inertnog otpada), sa kapacitetom od 10 t/dan ili sa ukupnim kapacitetom od 25000 tona otpada
- uređaji i instalacije za odlaganje ili reciklažu životinjskih leševa i otpada životinjakog porekla, sa kapacitetom tretmana od 10 t/dan
- postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda sa kapacitetom od 100000 ES
- postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u industrijskim postrojenjima, sa kapacitetom od 10000 m<sup>3</sup>/dan

Operatori navedenih instalacija i postrojenja, dužni su da prate i registruju preko 90 različitih polutanata od metana, ugljen monoksida, ugljen dioksida, hidrofluorougļjovodonika, azotnih oksida, amonijaka, nemetanskih isparljivih organskih materija, azot suboksida, sumporheksafluorida do polihlorovanih bifenila i benzoperilena.

Američka agencija za zaštitu životne sredine je objavila Vodič za evaluaciju i monitoring emisije deponijskog gasa sa zatvorenih ili napuštenih lokacija (*USEPA, 2005*). Dokument je pre svega namenjen rukovodiocima projekata sanacije i remedijacije na velikim lokacijama na kojima se širom zemlje dugo i nekontrolisano odlagao opasan otpad ili mešavina komunalnog i opasnog otpada. U tom dokumentu su navedene procedure i sredstva radi sprovođenja evaluacije emisije deponijskog gasa u ambijentalni vazduh, načini izlaganja i uticaj deponijskog gasa na ljudsko zdravlje, potencijalni problemi koji prate emisiju deponijskog gasa u životnu sredinu i dr.

### **3.7 Troškovi sprovođenja monitoringa deponijskog gasa i procedne vode zatvorene deponije u Srbiji**

U skladu sa Zakonom o upravljanju otpadom („Službeni glasnik RS“ broj 36/09 i 88/10), operater na deponiji je dužan da obezbedi rekultivaciju deponije posle njenog zatvaranja i vršenje stručnog nadzora nad deponijom, odnosno lokacijom u periodu od najmanje 30 godina, sa ciljem smanjenja rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu.

Prema Uredbi o odlaganju otpada na deponije („Službeni glasnik RS“ broj 92/10), monitoring deponijskog gasa se nakon zatvaranja deponije, prvih deset godina, vrši svakih šest meseci, što ukupno iznosi dvadeset merenja u prvih deset godina, a u narednih 20 godina, svake druge godine, što iznosi još deset merenja. Dakle, tokom 30 godina monitoringa emisija deponijskog gasa sa deponije, predviđeno je sprovođenje 30 merenja. Merenja ostalih deponijskih gasova vrše se u zavisnosti od sastava odloženog otpada, a u skladu sa dozvolom. Efikasnost degazacionog sistema se mora redovno proveravati.

Monitoring procedne vode se nakon zatvaranja deponije, prvih pet godina, vrši svakih šest meseci, što ukupno iznosi deset merenja u prvih pet godina, a u narednih 25 godina, jednom

godišnje, što iznosi još dvadeset pet merenja. Dakle, tokom 30 godina monitoringa procednih voda sa deponije, predviđeno je sprovođenje 35 merenja. Parametri za merenje koji se analiziraju, variraju u zavisnosti od sastava deponovanog otpada i oni se bliže određuju dozvolom. Ukoliko procena podataka ukazuje da su duži intervali jednako efektivni, merenja mogu da se vrše u tim intervalima, ali obavezno jednom godišnje.

Akreditovana Laboratorija za monitoring deponija, otpadnih voda i vazduha, Univerziteta u Novom Sadu, Fakulteta tehničkih nauka, Departmana za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, opremljena je i osposobljena da vrši merenje parametara prikazanih u Tabeli 3.7.

Tabela 3.7: Lista parametara koji mogu biti mereni u akreditovanoj laboratoriji (Fakultet tehničkih nauka, Departman za inženjerstvo životne sredine i zaštitu na radu, Novi Sad, 2016)

Br.	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.
1	Temperatura	EPA 170.1	°C
2	pH vrednost	EPA 150.1	-
3	Elektroprovodljivost	EPA 120.1	µS/cm
4	Koncentracija rastvorenog kiseonika	EPA 360.1	mg/l
5	Nitrati	EPA 352.1	mg/l
6	Nitriti	EPA 354.1	mg/l
7	Hloridi	EPA 330.5	mg/l
8	Sulfati	HACH Metod 8051 SulfaVer4	mg/l
9	Određivanje hemijske potrošnje kiseonika HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l
10	Određivanje biološke potrošnje kiseonika BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BOD Trak <sup>tm</sup> HACH	mg/l
11	Suspendovane materije (gravimetrijski, suvi ostatak nakon filtriranja na 103-105°C)*	EPA 160.2	mg/l
12	Rastvorene materije (suvi ostatak filtriranog uzorka 180°C) *	EPA 160.1	mg/l
13	Ukupan suvi ostatak (gravimetrijski, suvi ostatak nakon sušenja na 103-105°C)*	EPA 160.3	mg/l
14	Amonijak	EPA 350.1	mg/l
15	Ortofosfati	EPA 365.3	mg/l
16	Kalcijum		mg/l
17	Magnezijum		mg/l
18	Aluminijum	EPA 202.2	mg/l
19	Olovo	EPA 239.1	mg/l
20	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l
21	Kadmijum	EPA 239.1	mg/l
22	Nikl	EPA 249.1	mg/l
23	Cink	EPA 289.1	mg/l

Merenje svih navedenih parametara iz tabele 3.7. premašuje zahteve koje predviđa Uredba o odlaganju otpada na deponije kao I Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje, Prilog 2, deo II – Druge otpadne



vode, pod 2 – Granične vrednosti emisije otpadnih voda od odlaganja otpada na površini. Ova vrsta analize procedne vode se u stručnim krugovima naziva „velikom analizom“.

Cena jedne analize deponijskog gasa koja podrazumeva merenje 5 parametara (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S) iznosi 6000,00 dinara po jednom biotrnju. Cena merenja jednog parametra (jedinična cena) iznosi 1200,00 dinara. Cena analize deponijskog gasa koja obuhvata 5 parametara koji se mere na svih 30 biotrnova iznosi 180.000,00 po jednom merenju.

Cena jedne analize procedne vode koja podrazumeva merenje svih (23) parametara iz Tabele 2.10 iznosi 7.955,70 dinara. Cena merenja jednog parametra (jedinična cena) iznosi 345,90 dinara. Cena analize procedne voda koja obuhvata merenje 23 parametara, koji se mere na svih 30 biotrnova iznosi 238.671,00 po jednom merenju.

Ukupna cena jednog merenja deponijskog gasa na svih 30 biotrnova i procedne vode na svih 30 biotrnova iznosi 418.671,00 dinara.

Po sadašnjem cenovniku, za 30 godina monitoringa deponije, za monitoring deponijskog gasa je potrebno sprovesti 30 merenja i obezbediti sredstva u iznosu od oko 5.400.000,00 dinara, na jednoj lokaciji zatvorene deponije, mereno na svih 30 biotrnova.

Po sadašnjem cenovniku i obimu monitoringa i parametara navedenim u gornjoj tabeli, za 30 godina monitoringa deponije, za monitoring procedne vode je potrebno sprovesti 35 merenja i obezbediti sredstva u iznosu od 8.353.485,00 dinara. U ovom trenutku, sa zakonske tačke gledišta, to se ne odnosi na lokaciju sanirane deponije u Zrenjaninu, jer na njoj nije postavljen sistem za sakupljanje procednih voda.

Ukoliko bi se monitoring procedne vode ipak sprovodio, ukupno za 30 godina, potrebno bi bilo obezbediti oko 13.750.000,00 dinara za monitoring deponijskog gasa i procedne vode.

Ovi troškovi ne uključuju monitoring meteoroloških parametara, monitoring površinskih voda, monitoring podzemnih voda, monitoring količine padavinskih voda, monitoring stabilnosti tela deponije, monitoring zaštitnih slojeva i monitoring pedoloških i geoloških karakteristika.

## 4. Osnove i motiv istraživanja

Monitoring zatvorene deponije je dugoročna aktivnost koju sprovodi operater na deponiji u skladu Uredbom o odlaganju otpada na deponije i dozvolom za odlaganje otpada koju izdaje nadležni državni organ u skladu sa Zakonom.

Imajući u vidu da je po srpskom ali i evropskom zakonodavstvu potrebno sprovoditi kontinualan monitoring zatvorene deponije najmanje 30 godina nakon njenog zatvaranja, jasno je da se radi o izdvajanju značajnih finansijskih sredstava iz budžeta Republike Srbije, Autonomne Pokrajine, jedinice lokalne samouprave, odnosno operatera na deponiji. Iz tog razloga, neophodno je definisati optimalan model monitoringa procedne vode i deponijskog gasa koji bi bio pravilno dimenzionisan i ekonomski pristupačan.

Takođe, način definisanja monitoringa zatvorene deponije dozvolom za odlaganje otpada nije u potpunosti precizan. Ta nepreciznost se ogleda u nekoliko činjenica. Prvo, u Uredbi o odlaganju otpada na deponije, navedeno je da parametri za merenje sastava procedne vode koji se analiziraju mogu varirati u zavisnosti od sastava deponovanog otpad i oni se određuju dozvolom koju izdaje nadležni državni organ. Međutim, u praksi, u dozvolama za odlaganje otpada na deponije se navodi da operater na deponiji „po zatvaranju deponije obezbeđuje održavanje i zaštitu zatvorene deponije, kao i kontrolu i monitoring zatvorene deponije (pasivna faza deponije), u skladu sa Uredbom“. Ta kontradiktornost može uzrokovati posledicu da je na zaposlenom licu u državnom organu koje izdaje dozvolu za odlaganje otpada na deponiju odgovornost da odredi parametre i obim monitoringa koji će biti mereni na osnovu podataka kojima raspolaže operater, bez bližeg usmerenja i odrednica.

Značajno je navesti da se Pravilnikom o metodologiji za izradu projekata sanacije i remedijacije, u Prilogu II, monitoring procedne vode ne predviđa za projektovanje i sprovođenje ni u jednoj od 4. kategorija nesanitarnih deponija – smetlišta.

Iz tog razloga, neophodno je definisati pravilno dimenzionisan i ekonomičan model monitoringa koji će smanjiti i/ili sprečiti proizvoljnost u definisanju parametara procedne vode koji će biti mereni i predložiti što precizniju listu parametara koji se moraju meriti tokom sprovođenja procesa kontinualnog monitoringa nakon zatvaranja deponije. Eventualne proizvoljnosti usled nepreciznosti zakonskih odredaba mogu biti osnov za bespotrebno ili nedovoljno izdvajanje finansijskih sredstava za sprovođenje monitoringa zatvorene deponije.

### 4.1 Definisane istraživačkih ciljeva i postavljanje hipoteze

Uobičajeni ciljevi procesa optimizacije su postizanje:

- minimalnih troškova, tj. maksimalnog profita,
- minimalne potrošnje energije,
- maksimalnog kapaciteta,
- minimalnog rizika,

- maksimalne efikasnosti procesa, itd.

S toga, pre definisanja hipoteze istraživanja, neophodno je definisati šta podrazumeva cilj optimizacije monitoring deponijskog gasa i procedne vode:

- samo smanjenje troškova monitoringa procedne vode i deponijskog gasa, bez obzira na obim monitoringa i broja parametara koji se meri,
- samo smanjenje obima monitoringa i broja parametara procedne vode i deponijskog gasa bez obzira na troškove,
- smanjenje i obima monitoring, broja parametara i troškova monitoringa procedne vode i deponijskog gasa.

Ti ciljevi mogu biti postignuti na sledeći način:

- smanjenjem broja parametara koji se mere u deponijskom gasu i procednoj vodi,
- smanjenjem obima monitoringa smanjenjem veličine uzoraka,
- smanjenjem broja parametara koji se mere I smanjenjem obima monitoringa,
- promenom metodologije monitoringa koja će proizvesti smanjenje troškova I obima monitoringa.

Uslov koji treba optimizacija da obezbedi je da monitoring i u budućnosti daje pouzdane podatke o fizičko – hemijskim, mehaničkim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.

Optimizovanim modelom monitoringa će se postići sledeći rezultati:

- Definisanje minimalnog broja parametara deponijskog gasa i procedne vode koje je potrebno meriti na svakoj zatvorenoj deponiji,
- Definisanje minimalnog obima monitoringa deponijskog gasa i procedne vode koji je potrebno sprovesti na svakoj zatvorenoj deponiji,
- Racionalno i ekonomično planiranje i trošenje finansijskih sredstava za sprovođenje monitoringa deponijskog gasa i procedne vode
- Obezbediti kvalitetnu osnovu za procenu stanja životne sredine (uticaja deponije na životnu sredinu)

S tim u vezi, istraživački cilj podrazumeva definisanje minimalno dopustivog modela monitoringa deponijskog gasa i procedne vode koji će biti pravilno dimezionisan, održiv i ekonomičan i koji će u budućnosti davati pouzdane podatke o fizičko – hemijskim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.

Na osnovu navedenog, definišu se hipoteze istraživanja, koje glase:

*H<sub>1</sub> - „Optimizovani model monitoringa će definisati minimalni obim merenja koncentracije deponijskog gasa i analize procedne vode, pri čemu se neće narušiti kvalitet informacija potrebnih za sagledavanje realnog stanja zatvorene deponije i potencijanih rizika po životnu sredinu“.*

*H<sub>2</sub> – „Uspostavljanjem optimizovanog modela monitoringa, obezbediće se dobijanje informacija o stanju zatvorene deponije, koje će omogućiti zadovoljenje zakonskih obaveza propisanih u oblasti monitoringa zatvorenih deponija, kao i racionalno i efikasno korišćenje finansijskih sredstava u svrhe monitoringa“.*

## 5. Pregled literature i vladajućih stavova

Na osnovu razmatranja većeg broja radova koji se bave monitoringom deponije iz različitih razloga, uviđa se sličnost u koncentracijama metana u deponijskom gasu i pojedinih parametara u procednoj vodi na lokacijama deponija širom sveta. Do tih podataka se dolazilo empirijski, ali i pomoću matematičkih modela.

Sastav procednih voda sa metanogenih deponija sa različitih strana sveta je vrlo sličan u pogledu fizičko-hemijskih osobina (*Robinson, 2007*). To je jedan od zaključaka ovog rada koji je prikazao rezultate ispitivanja odlagališta otpada širom sveta, sa različitih klimatskih podneblja, različito ekonomski razvijenih sredina i različitih kulturoloških modela. Ispitivane su lokacije odlagališta otpada iz Južne Afrike, Malezije, Indonezije, Tajlanda, Velike Britanije, Mauricijusa, Južne Koreje i Novog Zelenda. Iz podataka koji su dobijeni ispitivanjem procedne vode uočava se visok stepen sličnosti sa velikih deponija u svakoj od ovih zemalja. Posebno, metanogena procedna voda je vrlo slična po sastavu i koncentracijama komponenata, bilo da se radi o zemljama sa toplije južne hemisfere ili tropskih zemalja. Ono što je takođe uočeno je da je proces tranzicije acetogene procedne vode u metanogenu procednu vode (tj. fazu) u toplijim krajevima traje od 6 – 18 meseci, dok u hladnijim krajevima taj proces može da traje i do 3 godine.

U cilju adekvatne evaluacije procesa koji se odvijaju u zatvorenoj deponiji, i/ili radi uticanja na procese u njoj u smislu ubrzavanja ili usporavanja, neophodno je raspolagati tačnim informacijama o uslovima koji vladaju u zatvorenoj deponiji. Biotrnovi koji su raspoređeni po telu deponije, u fazi nakon zatvaranja odlagališta otpada, mogu biti korišteni za karakterizaciju procedne vode. Ovakav pristup može ilustrovati uslove koji vladaju u neposrednoj blizini biotrna kao što je faza degradacije otpada (acidogena ili metanogena), potencijal generisanja procedne vode kao i kao i kretanje vode kroz deponiju. (*Sormunen i dr., 2008*).

Sastav procedne vode može obezbediti potrebne informacije za identifikaciju starosti odloženog otpada i preovlađujuće trendove u deponiji (*Ehrig, 1989*). Međutim, ovde treba napomenuti da procedna voda koja je predmet monitoringa može biti mešavina procednih voda starog i "mladog" otpada, koncentrisanih ili veoma razblaženih procednih voda, što može zavisiti od lokacije sa koje se uzima uzorak, manipulativnim operacijama koje su sprovedene na deponiji i izvođenja sistema za drenažu, što je prikazano u Tabeli 11:

Tabela 5.1: Promene u sastavu procedne vode tokom različitih faza deponije (*Ehrig, 1989*)

Parametri kod kojih postoji razlika u acetogenoj i metanogenoj fazi			Parametri kod kojih nije zabeležena razlika u acetogenoj i metanogenoj fazi		
Acetogena faza	Prosek	Opseg	Parametar	Prosek	Opseg
pH	6,1	4,5 – 7,5	Cl (mg/L)	2.100	100 – 5.000
BPK <sub>5</sub> (mg/L)	13.000	4.000 – 40.000	Na (mg/L)	1.350	50 – 4.000
HPK (mg/L)	22.000	6.000 – 60.000	K (mg/L)	1.100	10 – 2.500

Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

BPK <sub>5</sub> /HPK	0,58	-	Alkalinitet	6.700	30 – 11.500
SO <sub>4</sub> (mg/L)	500	70 – 1750	NH <sub>4</sub> (mg/L)	750	30 – 3.000
Ca (mg/L)	1.200	10 – 2500	OrgN (mg N/L)	600	10 – 4.250
Mg (mg/L)	470	50 – 1150	Total N (mg N/L)	1.250	50 – 5.000
Fe (mg/L)	780	20 – 2100	NO <sub>3</sub> (mg N/L)	3	0,1 – 50
Mn (mg/L)	25	0,3 – 65	NO <sub>2</sub> (mg N/L)	0,5	0 – 25
Zn (mg/L)	5	0,1 – 120	Total P (mg P/L)	6	0,1 – 30
<i>Metanogena faza</i>	<i>Prosek</i>	<i>Opseg</i>	AOX (µg Cl/L)	2.000	320 – 3.500
pH	8	7,5 – 9	As (mg/L)	160	5 – 1600
BPK <sub>5</sub> (mg/L)	180	20 – 550	Cd (mg/L)	6	0,5 – 140
HPK (mg/L)	3.000	500 – 4500	Co (mg/L)	55	4 – 950
BPK <sub>5</sub> /HPK	0,06	-	Ni (mg/L)	200	20 – 2.050
SO <sub>4</sub> (mg/L)	80	10 – 420	Pb (mg/L)	90	8 – 1.020
Ca (mg/L)	60	20 – 600	Cr (mg/L)	300	30 – 1.600
Mg (mg/L)	180	40 – 350	Cu (mg/L)	80	4 – 1.400
Fe (mg/L)	15	3 – 280	Hg (mg/L)	10	0,2 – 50
Mn (mg/L)	0,7	0,03 – 45			
Zn (mg/L)	0,6	0,03 – 4			

Uzorci procedne vode treba da se uzimaju iz kanala ili prihvatnog šahta procednih voda ili na izlasku procedne vode iz deponije. Parametri koji treba da se analiziraju su (*Vujić i Brünner, 2009, op.cit.*):

1. Zapremina procedne vode, m<sup>3</sup>
2. Elektroprovodljivost, µS/cm
3. pH vrednost
4. BPK<sub>5</sub> (biohemijska potrošnja kiseonika), mg/l
5. HPK (hemijska potrošnja kiseonika), mg/l
6. TOC (*total organic carbon*), mg/l
7. Fosfati, mg/l
8. Ukupni azot (N<sub>tot</sub>), mg/l
9. Nitrati (NO<sub>3</sub>), mg/l
10. Amonijak (preko amonijum jona NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), mg/l

Različita nacionalna zakonodavstva propisuju različite načine monitoringa procednih voda i deponijskog gasa zatvorenih deponija. Novozelandsko zakonodavstvo propisuje sprovođenje monitoringa na način dat u Tabelama 11 i 12 (*New Zealand, Ministry for the Environment, 2001*).

Tabela 5.2: Monitoring deponijskog gasa na zatvorenim deponijama  
(Ministry for the Environment, 2001)

Godine od zatvaranja	Veličina deponije		
	< 15.000 m <sup>3</sup>	15.000 – 100.000 m <sup>3</sup>	>100.000 m <sup>3</sup>
0 – 5	Godišnje: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti tela	Na 6 meseci: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti tela	Na 3 meseca: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti

Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

	deponije i zaštitnih slojeva	deponije i zaštitnih slojeva - Monitoring emisije (podzemni)	tela deponije i zaštitnih slojeva - Monitoring emisije (površinski) - Monitoring emisije (pozemni)
5 – 15	Ne zahteva se	Godišnje: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti tela deponije i zaštitnih slojeva	Na 6 meseci: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti tela deponije i zaštitnih slojeva - Monitoring emisije (pozemni)
15 – 40	Ne zahteva se	Ne zahteva se	Na 6 meseci: - Vizuelni pregled - Kontrola stabilnosti tela deponije i zaštitnih slojeva
>40	Ne zahteva se	Ne zahteva se	Ne zahteva se

Tabela 5.3: Monitoring procednih voda na zatvorenim deponijama  
(Ministry for the Environment, 2001, op.cit.)

Godine od zatvaranja	Veličina deponije		
	< 15.000 m <sup>3</sup>	15.000 m <sup>3</sup> – 100.000 m <sup>3</sup>	>100.000 m <sup>3</sup>
0 – 5	1. Sveobuhvatna analiza: Procedne vode – samo jednom Podzemne vode – samo jednom Površinske vode – samo jednom  2. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – jednom godišnje Površinske vode – jednom godišnje	1. Sveobuhvatna analiza: Procedne vode – jednom godišnje Podzemne vode – jednom godišnje Površinske vode – jednom godišnje  2. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – dva puta godišnje Površinske vode – dva puta godišnje	1. Sveobuhvatna analiza: Procedne vode – jednom godišnje Podzemne vode – dva puta godišnje Površinske vode – dva puta godišnje  2. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – kvartalno Površinske vode – kvartalno
5 – 15	Ne zahteva se	1. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – dva puta godišnje Površinske vode – dva puta godišnje	1. Sveobuhvatna analiza: Podzemne vode – jednom godišnje Površinske vode – jednom godišnje  2. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – dva puta godišnje Površinske vode – dva puta godišnje

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

			godišnje
15 – 40	Ne zahteva se	Ne zahteva se	1. Analiza reprezentativnih parametara: Podzemne vode – jednom godišnje Površinske vode – jednom godišnje
>40	Ne zahteva se	Ne zahteva se	Ne zahteva se

U radu Barlaza *i dr.* (2002), se navodi da se u većini država propisuje da monitoring deponija po zatvaranju mora biti sproveden najmanje 30 godina sa mogućnošću njegovog produženja, o čemu odluku donosi nadležni gradski, regionalni ili državni organ. I pored velikog broja kriterijuma i zahteva koji moraju biti ispunjeni u pogledu odlaganja otpada na deponije, što tokom eksploatacije, tako i nakon njenog zatvaranja, autori smatraju da je poželjnije da ispunjenost tehničkih kriterijuma a ne vremenski period bude razlog za prestanak sprovođenja monitoringa. Tehnički kriterijumi koji se u radu navode i naglašavaju kao moguća alternative konvencionalnom vremenskom pristupu se odnose na kontinualno posmatranje i merenje sastava procednih voda i proizvodnju procednih voda i deponijskog gasa sa zatvorene deponije i geotehnička stabilnost deponije. Takođe, autorsko stanovište između koncepcije da se nad deponijama vrši monitoring u jako dugom vremenskom periodu od najmanje 30 godina i koncepcije da se monitoring vrši samo dok rezultati ne pokazuju da je deponija u potpunosti inertizovana se bazira na činjenici da će se vremenom frekvencija monitoringa smanjiti čim podaci sa te lokacije i analiza uticaja na životnu sredinu ukažu (i dokažu) da ta deponija ne predstavlja više nikakvu pretnju.

U radu Lee i Jones Lee (1996), navodi se takozvani „30 godišnji mit“ o monitoringu zatvorenih deponija u trajanju od 30 godina, jer će nakon tog perioda odloženi i zatvoreni otpad prestati da predstavlja pretnju ka podzemnim tokovima voda i zbog toga se, nakon ovog perioda, operateri i vlasnici na deponijama oslobađaju sprovođenja kao i svake odgovornosti u pogledu monitoringa, održavanja i remedijacije deponije. Prema autorima ovog rada, 30-godišnji period je deo vremenskog perioda u kojem će odloženi otpad ipak biti neposredna pretnja podzemnim tokovima otpada. Autori smatraju da proces raspadanja otpada ugoržava životnu sredinu tokom celog trajanja procesa raspadanja i da je taj proces najintenzivniji u periodu od 20 – 50 godina.

U doktorskoj disertaciji Banu Sizerici Yildiz (2009), navodi se da zakonodavstvo Sjedinjenih američkih država propisuje tzv. PCC (post closure care) period – period nakon zatvaranja deponije) na 30 godina, koji podrazumeva sakupljanje i tretman procednih voda, monitoring podzemnih voda, kontrolu gornjeg prekrivnog sloja i monitoring deponijskog gasa. Međutim, autor smatra da monitoring u okviru PCC perioda treba da bude fokusiran na činjenicu da li deponija predstavlja pretnju po ljudsko zdravlje i životnu sredinu ili ne, što bi nakon istraživanja definisala konkretna studija. Stabilnost deponije, po autoru, zavisi od niza faktora,



## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

kako tokom eksploatacije, tako i nakon zatvaranja deponije. Iz tog razloga, odluka o dužini i načinu sprovođenja PCC perioda treba da bude bazirana na specifičnim faktorima lokalne sredine, izrađenoj analizi rizika (*Risk Assessment*) po ljudsko zdravlje i životnu sredinu, operativnim i finansijskim mogućnostima operatera na deponiji.

## 6. Eksperimentalni i teorijski okvir istraživanja

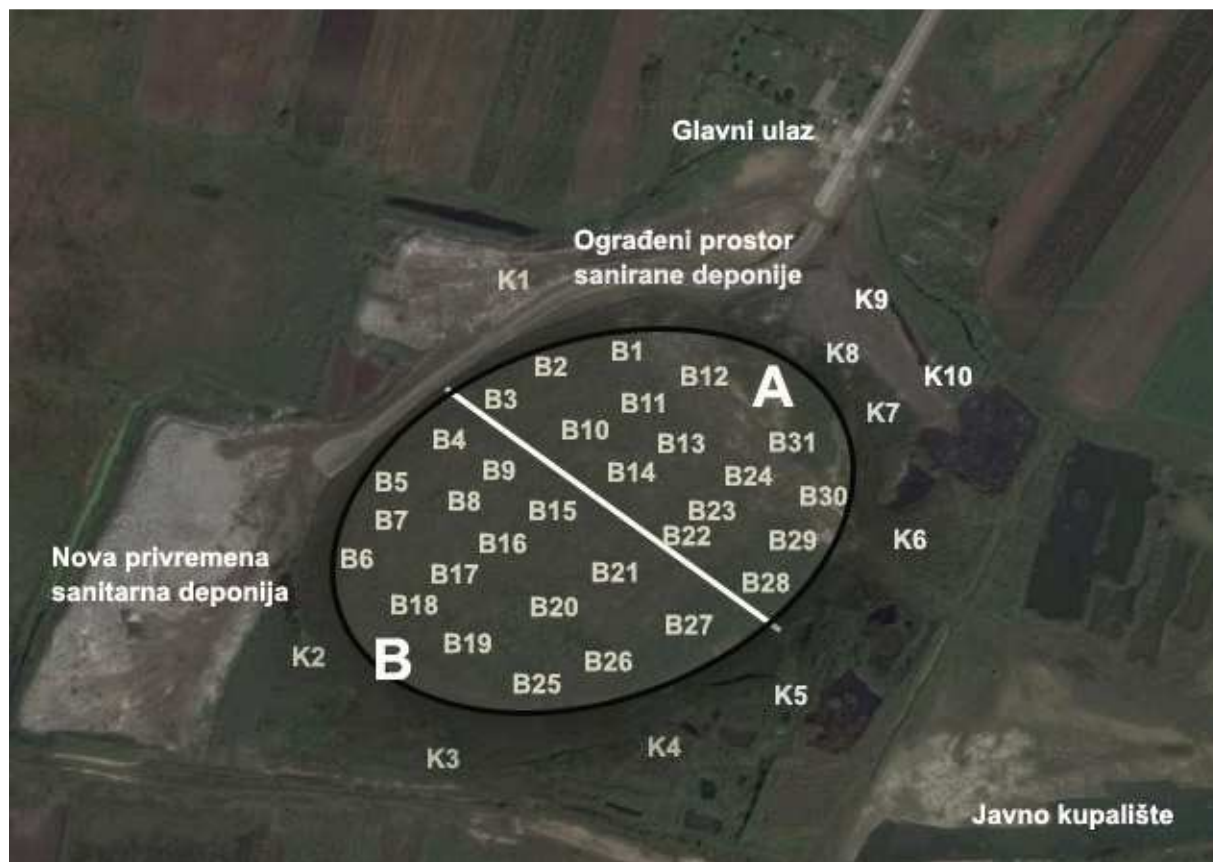
### 6.1. Područje istraživanja

Sva eksperimentalna istraživanja opisana u ovoj disertaciji podrazumevaju prikupljanje, obradu i analizu podataka sa lokacije zatvorene deponije u Zrenjaninu. Lokacija koja je predmet istraživanja se koristila za odlaganje komunalnog otpada sa šireg područja Grada Zrenjanina oko 20 godina, svakodnevno, do aprila 2012. godine kada je zatvorena. Od centra Zrenjanina udaljena je oko 5 km. U blizini deponije ne postoji otvoreni atmosferski ili meliorativni kanal, niti bilo koji drugi recipijent atmosferskih voda. Na razdaljini od oko 600 metara se nalazi najpopularnije zrenjaninsko kupalište „Peskara“, sastavljeno od tri jezera, nastalo vađenjem peska za potrebe izgradnje, koje tokom godine leti, u kupališnoj sezoni, poseti više hiljada građana Zrenjanina i okolnih mesta i opština.

Broj stanovnika koji je generisao otpad koji se odlagao na ovoj lokaciji iznosi oko 125.000 sa dnevnom produkcijom otpada od oko 0,9 kg/st/dan, sa dnevnim odlaganjem od oko 100 t/dan. Po broju stanovnika, grad Zrenjanin je sličan gradovima Kraljevu, Pančevu i Kruševcu. Na predmetnoj lokaciji do njenog zatvaranja, nisu se primenjivale nikakve mere zaštite životne sredine od uticaja otpada, kao što su prekrivanje smeća inertnim materijalom, razvrstavanje smeća, sabijanje smeća i slično. Na lokaciji koja je predmet istraživanja nije postojao sistem za degazaciju, lokacija nije bila ograđena i sl. Na deponiji je vrlo često (najmanje jedanput godišnje, tokom letnjih meseci) dolazilo do pojave požara. Na deponiji nema vage za merenje odloženog otpada. Na pomenutoj lokaciji su odlagane i one vrste otpada koje smatramo opasnim (pesticidi, lekovi, leševi životinja, antifrizi i sl.), posebnim tokovima otpada (guma, električni aparati, metali i sl.), ili ambalažnim otpadom.

Na osnovu podataka iz Glavnog projekta sanacije, rekultivacije i zatvaranja deponije u Zrenjaninu (*Vujić, 2009*), na zatvorenoj deponiji u Zrenjaninu se nalazi oko 700.000 m<sup>3</sup> tj. 490.000 tona komunalnog otpada u metanogenoj fazi. Biološki otpad je već velikim delom degradirao, osim otpada koji je odložen neposredno pre zatvaranja. Površina lokacije koja je predmet istraživanja iznosi 6,40 hektara, nakon sanacije, presvučena je drenažnim materijalom, zemljom i izolacionom barijerom (bentonitom) i na njoj se nalazi 40 nepovezanih biotrnova od kojih se 30 nalazi u ograđenom delu, a preostalih 10 kontrolnih bitrnova je raspoređeno oko sanirane deponije (Slika 2).

Sa biotrnova se vrši pasivna evakuacija deponijskog gasa u atmosferu, bez spaljivanja ili iskorištavanja u energetske svrhe. Zatvorena deponija nema ugrađen sistem za evakuaciju i sakupljanje procednih voda.



Slika 3: Raspored biotrnova na zatvorenoj deponiji u Zrenjaninu  
B1 – B30 biotrnovi u ograđenom, saniranom delu deponije  
K1 - K10 kontrolni biotrnovi oko deponije)

## 6.2. Obim istraživanja i analitičke metode

Istraživanje je sprovedeno tokom perioda od 6 meseci 2013. godine u periodu jul – decembar na lokaciji na kojoj se nalazi 30 biotrnova koji su podeljeni u 2.sekcije (Lokacija „A“ i lokacija „B“) od po 15 biotrnova. Imajući u vidu specifičnost istraživanja, uzorkovanje podrazumeva kako selektivno, tako i slučajno uzorkovanje u cilju dobijanja što reprezentativnijih podataka. Tokom 6 meseci, vršena su merenja na 5 biotrnova koji su ravnomerno raspoređeni po telu zatvorene deponije a to su biotrnovi B4, B10, B15, B23, B28 (Slika 3). Iz biotrna je izvlačen uzorak procedne vode, a raspored biotrnova je prikazan na slici 3.

Juna 2015. godine, ponovljen je monitoring na istim biotrnovima sa istim parametrima. Takođe, monitoring je ponovljen i decembra 2015. godine, ali su rezultati odbačeni zbog uspostavljanja aerobnih uslova u jednom delu deponije.

Uzorkovanje i analiza deponijskog gasa sa navedene lokacije se vršilo u skladu sa akreditovanom metodom od proizvođača opreme *Geotechnical Instruments*.

Uzorkovanje procednih voda sa navedene sanirane deponije komunalnog otpada vršeno je u skladu sa standardnim normativima za uzorkovanje otpadnih voda (Prilog 2) i u skladu sa domaćom zakonskom regulativom iz ove oblasti (*Pravilnik o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće, Sl.list SFRJ broj 33/87*).

Za utvrđivanje sastava deponijskog gasa, korišten je multigasni detektor za merenje za određivanje koncentracije CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub> i merenje protoka gasa, pritiska i temperature GEM 2000 *plus*, proizvođača „Geotech“. Za utvrđivanje fizičko-hemijskog sastava procedne vode biće korištene standardne metode za ispitivanje otpadnih voda.

Od parametara deponijskog gasa, mereno je 5 parametara (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S i H<sub>2</sub>) u skladu sa pomenutom Uredbom o odlaganju otpada na deponije. Na samom početku merenja, urađena su merenja koncentracija deponijskog gasa na svim biotrnovima i ta procedura je ponovljena na kraju merenja juna 2015. godine. Decembarски uzorak je odbačen kao ne reprezentativan.

Od parametara procednih voda mereno je 10 parametara (temperatura, pH vrednost, nitrati, nitriti, HPK, BPK<sub>5</sub>, gvožđe, cink, kalcijum, magnezijum). Analiza osnovnih fizičko-hemijskih parametara: temperature, pH vrednosti, elektroprovodljivosti, rastvorenog kiseonika, BPK<sub>5</sub>, HPK, ukupnog fosfora, ukupnog azota i suspendovanih materija, urađena je primenom standardnih EPA metoda (Prilog 2). Temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost i koncentracija rastvorenog kiseonika određivane su pomoću multiparametarskog uređaja, Multi 340i. HPK, sadržaj ukupnog fosfora i ukupnog azota, nakon standardnih metoda prireme uzoraka, je određivan na UV/VIS spektrofotometru, HACH DR 5000. Sadržaj suspendovanih materija je određivan prema metodi EPA 160.2, pomoću uređaja za vakum filtraciju, dok su vrednosti BPK<sub>5</sub> dobijene pripremom uzorka i korišćenjem BPK inkubatora.

Takođe, kada se govori procednoj vodi, treba napomenuti da precizan broj parametara pomenutom Uredbom o odlaganju na deponije nije definisan, već je predviđeno da se oni određuju dozvolom od strane državnog organa. Pomenutom Uredbom je navedeno da se merenje procedne vode vrši samo ako u sistemu postoji sistem za prihvatanje procedne vode. Za potrebe ovog istraživanja, iako na lokaciji sanirane deponije u Zrenjaninu ne postoji sistem za sakupljanje procedne vode (već se njeni uzorci uzimaju iz biotrnova), procedna voda je predmet analize.

### 6.3 Teorijski okvir empirijskog dela istraživanja

Optimizacija se definiše kao nauka koja se bavi određivanjem najboljeg ili rešenja određenog i matematički definisanog problema koja optimizuje vrednost funkcije. Posedovanje najboljeg rešenja ili rešenja bliskih najboljem vodi ka uštedama u materijalu i energiji (čiji su resursi ograničeni) ili postizanju finansijske dobiti, najveće pouzdanosti ili sigurnosti u radu itd. (*Marjanović, 2012*).

Postupak optimizacije konkretnog sistema može se formalno podeliti na dva nivoa. Na prvom nivou potrebno je jednoznačno definisati problem i uspostaviti egzaktno odnose uticajnih parametara i rešenja u uslovima pod kojim sistem treba da funkcioniše. Drugi nivo predstavlja izbor neke od poznatih ili razvoj nove metodologije za rešavanje postavljenog problema, pri čemu definisani problem mora da zadovolji formalna i matematička ograničenja izabrane metode, a izabrana metoda mora da omogući pouzdano i tačno određivanje optimalnih rešenja na što jednostavniji i brži način (ibid).

Postupak rešavanja optimizacionih zadataka se sastoji iz sledećih pet faza (ibid):

1. Formulacija problema,
2. Izrada matematičkog modela koji reprezentuje realni sistem,
3. Izbor i primena metode, izbor algoritma i programa za računar (eventualno modifikacija ili razvoj nove metode, razrada algoritma ili izrada programa za računar),
4. Testiranje modela i dobijenih rešenja i
5. Implementacija.

U inženjerskoj praksi planiranja optimizacije koristi se prilaz "diskretnih modela" kada se, umesto izrade sveobuhvatnog matematičkog modela, projektuju varijantna rešenja. Za ovakav prilaz postupak rešavanja optimizacionog problema ima sledeće faze (*Opricović, 1998*):

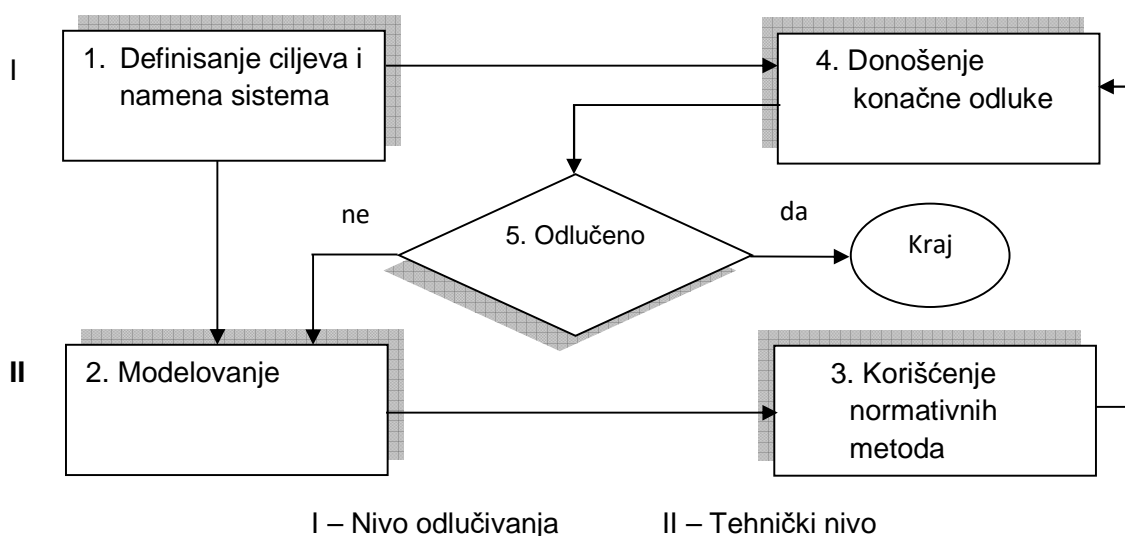
1. Formulisanje problema,
2. Prikupljanje podataka o sistemu,
3. Definisane kriterijuma za vrednovanje alternativnih rešenja,
4. Formulisanje alternativnih rešenja,
5. Vrednovanje modela,
6. Optimizacija – izbor najbolje alternative,
7. Završno projektovanje i
8. Implementacija.

U nekim slučajevima se koriste oba prilaza. Da bi se primenila neka optimizaciona metoda, u većini slučajeva je potrebna matematička formalizacija problema, odnosno matematički model. Matematičko programiranje upotrebom modela ima široku primenu u ekonomiji, inženjerstvu poljoprivredi i zaštiti životne sredine (*Kaiser i Messer, 2011; Huang i dr., 1992*).

Procedura optimizacije podrazumeva upotrebu metoda matematičkog programiranja i ono garantuje optimalno ili rešenje najbliže optimalnom (*Cunha i Nunes, 2011*). Zadatak optimizacije sistema je da se izvrši izbor najbolje varijante iz mogućih ili povoljnih varijanti u smislu usvojenog kriterijuma. Takva najbolja varijanta se naziva optimalno rešenje optimizacionog zadatka. Optimalno rešenje predstavlja kompromis između želja (kriterijuma) i mogućnosti (ograničenja). Kriterijum se obično izražava kriterijumskom funkcijom koja za najbolju varijantu (rešenje) treba da dostigne globalni ekstremum, s obzirom na ograničenja koja uslovljavaju mogućnost postizanja cilja optimizacije. Sa matematičke strane optimizacija se svodi na određivanje ekstremuma kriterijumske funkcije.

Na nivou odlučivanja ključnu ulogu ima donosilac odluke. U složenim sistemima i delatnostima često donosilac odluke nije jedna osoba, već je to skup osoba sa specifičnim strukturama skupa. U takvim slučajevima tehnički nivo treba da predloži donosiocu odluke skup dobrih odluka, vodeći računa o tome da olakša donošenje konačne odluke, što znači da predložena rešenja treba da su jasno, kratko i precizno obrazložena i da njihov broj bude relativno mali.

Postupak donošenja konačne odluke zavisi od strukture donosioca odluke, skupa rešenja koji im se prezentira i širih društvenih normi prikazan je na slici 4 (Opricović, 1998, op.cit.):



Slika 4: Šematski prikaz procesa optimizacije (Opricović, 1998, op.cit.)

Kvantitativne veličine za koje treba izabrati vrednosti u procesu optimizacije nazivaju se promenljivim optimizacije i one mogu biti predstavljene na sledeći način:

$$X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Svaka kombinacija promenljivih optimizacije naziva se rešenjem ili konstrukcijom. Rešenja koja zadovoljavaju ograničenja postavljena zadatkom nazivaju se dopustivim (prihvatljivim), a dopustivo rešenje koje daje najbolju (u slučaju minimizacije najmanju, a u slučaju maksimizacije najveću) vrednost funkcije cilja je optimalno rešenje (konstrukcija).

Funkcija cilja je funkcija kojom se matematički definiše kriterijum odnosno cilj optimizacije. U matematičkom smislu funkcija cilja se izražava nekom funkcijom  $f(X)$ . Zadatak optimizacije je da se odredi njena ekstremna vrednost, odnosno skup promenljivih optimizacije  $X^{opt}$  za koji funkcija cilja dostiže ekstremnu vrednost.

Svaki skup funkcioniše i ostvaruje ciljeve pod određenim uslovima definisanim ograničenjima. Skup ograničenja je definisan sistemom od  $m$  jednačina i/ili nejednačina u kojima figurišu promenljive optimizacije.

$$g_i(X) = 0; \quad i = 1, 2, m_1$$
$$g_i(X) \geq 0; \quad i = m_1 + 1, m_2 + 2, \dots, m$$

U skupu ograničenja  $g$  mogu nastati sledeći slučajevi:

- skup  $G$  je protivrečan, što znači da ne postoji ni jedno rešenje koje zadovoljava sva ograničenja,
- skup ograničenja  $G$  nije protivrečan ali je dopustiva oblast  $D$  (oblast dopustivih rešenja) određena skupom  $G$  neograničena. Optimizacioni zadatak će imati rešenje ako funkcija cilja nije neograničena u dopustivoj oblasti  $D$ .
- skup ograničenja  $G$  nije protivrečan a oblast dopustivih rešenja je ograničena. U ovom slučaju rešenje se može naći ako funkcija cilja ima konačnu vrednost u ograničenoj oblasti  $D$ .

Formiranje matematičkog modela obuhvata definisanje funkcije cilja  $f(X)$ , skupa ograničenja  $G(X)$  i sistematizovano prikupljanje, verifikovanje i sređivanje potrebnih podataka u cilju kompletiranja jedne ili više varijanti modela. Matematički model je najčešće rezultat originalne sinteze međusobne zavisnosti promenljivih optimizacije.

Opšta definicija optimizacionog zadatka podrazumeva da je potrebno naći ekstremnu vrednost funkcije cilja:

$$(min / max)f(X) \text{ uz zadovoljenje ograničenja } G(X)$$

Za potrebe istraživanja prikazanog u disertaciji, konstruisan je matematički model opisanog problema. Model je analiziran primenom metoda linearnog programiranja, specijalno, grafičkom metodom.

Linearno programiranje je deo matematike koji se bavi rešavanjem problema pronalaženja maksimuma ili minimuma funkcije cilja koja je uvek u obliku linearne funkcije, pod uslovima iskazanim u obliku linearnih jednačina ili nejednačina. Termin „programiranje“ je ovde sinonim za planiranje, odnosno određivanje optimalnog (najboljeg) plana. To znači određivanje vrednosti promenljivih takvih da daju optimalnu vrednost funkcije cilja, pri tom zadovoljavajući uslove ograničenja (Lord i dr., 2013):

$$\min | \max f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

$$\begin{aligned} & \cdot \\ & \cdot \\ & \cdot \\ & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

ili iskazano u sažetijem obliku

$$\begin{aligned} \min | \max f(x) &= \sum_{i=1}^n c_i x_i \\ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j &\leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \\ x_j &\geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Tako, Tascione i dr., (2014) koriste metode linearnog programiranja za identifikaciju optimalnog scenarija za upravljanje otpadom u cilju izbegavanja donošenja odluka na osnovu pretpostavki i nedovoljno jasnih strategija koje mogu imati negativan uticaj na životnu sredinu. U kombinaciji sa GIS (Geografski informacioni sistem), metode linearnog programiranja je moguće koristiti radi definisanja optimalnog broja i lokacija transfer stanica za upravljanje otpadom (Musemić i Maretić – Tiro, 2013). Sa ciljem pronalaženja najbolje opcije upravljanja otpadom, uzimajući u obzir i aspekte energetske efikasnosti, Kondo i Nakamura (2005) su razvili WIO model (waste input-output) koji je baziran upravo na ovoj metodi. Dakle, lineano programiranje je dokazano kao pouzdan metod za određivanje najboljeg rešenja određenog matematičkog problema.

Skup svih tačaka u n-dimenzionalnom prostoru koje zadovoljavaju ograničenja problema se naziva dopustivim skupom ili skupom dopustivih rešenja. Tačka iz ovog skupa za koju je vrednost funkcije cilja optimalna, odnosno maksimalna ili minimalna, (u slučaju problema koji se razmatra u disertaciji minimalna), se naziva optimalno rešenje. Sve tačke izvan dopustivog skupa su nedopustiva rešenja (*Dugošija, 2011*).

U nauci o upravljanju sistemima, linearno programiranje zauzima značajno mesto. U praksi je od velike važnosti rešavati probleme planiranja npr. proizvodnje radi maksimiziranja i uvećavanja profita. Zbog toga su razvijene različite metode maksimiziranja funkcije cilja pod određenim ograničenjima. Takođe, važno je i minimiziranje funkcije cilja pod određenim ograničenjima, kao što je minimiziranje troškova. Zbog ovakvih mogućnosti, metoda linearnog programiranja je primenjena u istraživanju koje je opisano u ovoj disertaciji.

Postupak rešavanja problema linearnog programiranja podrazumeva da kada se formuliše matematički model, sledeća faza je njegovo rešavanje i dobijanje rešenja. Problemi



linearnog programiranja se mogu rešavati grafički i analitički. Oblast istraživanja mogućih rešenja može biti jednodimenzionalna, dvodimenzionalna, trodimenzionalna i n-to dimenzionalna (*Stanimirović i Milovanović, 2002*):

- *Jednodimenzionalne oblasti istraživanja*: ako se rešenje zadatka sastoji iz jedne komponente napisane u obliku jednodimenzionalnog vektora  $x=(x_1)$ , čije se vrednosti nalaze u intervalu  $0 \leq x \leq \infty$ , kažemo da taj zadatak ima rešenje u jednodimenzionalnoj oblasti.
- *Dvodimenzionalne oblasti istraživanja*: neka se rešenje zadatka sastoji iz dve komponente čije su vrednosti  $x_1$  i  $x_2$  i neka je napisano u obliku dvodimenzionalnog vektora  $x=(x_1, x_2)$ , tada se moguća rešenja problema nalaze u I kvadrantu pravouglog koordinatnog sistema.
- *Trodimenzionalne oblasti istraživanja*: kada se rešenje sastoji iz tri komponente čije su vrednosti  $x_1, x_2$  i  $x_3$  i neka je napisano u obliku trodimenzionalnog vektora  $x=(x_1, x_2, x_3)$ , tada se moguća rešenja nalaze u I oktantu trodimenzionalnog koordinatnog sistema.
- *n-to dimenzionalnu oblast istraživanja*: neka se rešenje sastoji iz n komponenti čije su vrednosti  $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$  i neka je napisano u obliku n-to dimenzionalnog vektora  $x=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)$ , tada se rešenja nalaze u n-to dimenzionalnom prostoru i to u oblasti koja zadovoljava uslov  $x_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n$ , odnosno  $x=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) \geq 0$ .

Grafičko rešavanje problema linearnog programiranja je podesno za jednodimenzionalne i dvodimenzionalne probleme. Budući da je matematički model prikazan u ovoj disertaciji dvodimenzionalan, primenjena je grafička metoda linearnog programiranja za rešavanje postavljenog problema optimizacije monitoringa deponije.

Grafička metoda je realizovana primenom softvera *GeoGebra*. *GeoGebra* je dinamički matematički softver koji se može koristiti za implementaciju različitih matematičkih teorija. Pri tome, *GeoGebra* je dostupna svim korisnicima za preuzimanje bez nadoknade (*open source software*). Ona predstavlja moćan softver, sa mogućnostima da ispuni sve zahteve svih korisnika, a naročito kada se primenjuje za potrebe matematičkog modelovanja (*Diković, 2009*). Dinamička priroda *GeoGebra-e* je jedan od glavnih razloga što je *GeoGebra* softver koji se najviše koristi u procesu matematičkog modelovanja, a to je zbog toga što se realni primeri mogu odlično prikazati kroz *GeoGebra* animacije i simulacije, a u isto vreme se može izgraditi matematička pozadina razmatranog problema. Zbog velikih grafičko-dinamičkih mogućnosti *GeoGebra-e*, grafički metod linearnog programiranja je realizovan upravo primenom ovog softvera. *GeoGebra* je postavila nove standarde, kako u učenju tako i u modelovanju optimizacionih problema i zbog toga se često koristi za rešavanje istih (*Saha i dr., 2010*).

Kada se u svrhu optimizacije primenjuje grafička metoda linearnog programiranja, najoptimalnije rešenje se realizuje kroz nekoliko faza (*Reeb i S. Leavengood, 1998*):

## **I FAZA**

U ovoj fazi se postavljaju ograničenja karakteristična za dati problem optimizacije koji se rešava. Ograničenja su svrstana u dve grupe:

- ograničenja nenegativnosti i
- ostala ograničenja

Ograničenja nenegativnosti predstavljaju deo ravni ograničenog sa jedne strane vertikalnim ili horizontalnim pravama oblika  $x=x_1$ ,  $y=x_2$ .

Iz praktičnih razloga, prikaz modela linearnog programiranja može se dati tabelarno (Letić, 2011). Radi jednostavnijeg prikaza modela optimizacije, granični uslovi i funkcija troškova se predstavljaju tabelarno za svaki model ponaosob. Tabela sadrži dva granična uslova modela, svaki predstavljen u posebnom redu tabele. Jedan uslov je označen kao maksimum, i on odgovara situaciji kada se meri više parametara za gas i za vodu, a drugi, označen kao minimum odgovara situaciji kada se meri manje parametara. Poslednji red tabele prikazuje funkciju troškova po parametrima za predstavljeni problem optimizacije. Tabelarnim prikazom se postiže pregledniji prikaz svih graničnih uslova modela i funkcije troškova koja se optimizuje, što umnogome pojednostavljuje kasnije rešavanje postavljenog problema optimizacije. Iz tabele se granični uslovi i funkcija troškova efikasno prenose u GeoGebra softver, odakle se dobija rešenje problema, odnosno određuje se dopustiva oblast za dati model i minimum funkcije troškova (Tabela 6.1)

Tabela 6.1: tabelarni prikaz modela linearnog programiranja

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas (x)	Parametri za vodu (y)	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Minimum	$g_{min}$	$v_{min}$	$Br_{merenja}$
Maksimum	$g_{max}$	$v_{max}$	$Br_{merenja}$
Troškovi merenja po jednom parametru $F(x,y)$	$Tr_{j\ gas}$	$Tr_{j\ voda}$	

Gde su:

$g_{min}$ ,  $g_{max}$  – minimalni (maksimalni) broj parametara za gas

$v_{min}$ ,  $v_{max}$  – minimalni (maksimalni) broj parametara za vodu

$Br_{merenja}$  – ukupan broj merenja

$Tr_{j\ gas}$ ,  $Tr_{j\ voda}$  – troškovi merenja jednog parametra za gas, odnosno vodu

Na ovaj način, svaka tabela se može prevesti u jedan model opisan njegovim graničnim uslovima i funkcijom troškova koji se dalje optimizuje:

$$g_{min}x + v_{min}y \leq Br_{merenja}$$

$$g_{max}x + v_{max}y \leq Br_{merenja}$$

$$F(x,y) = Tr_{j\ gas} x + Tr_{j\ voda} y$$

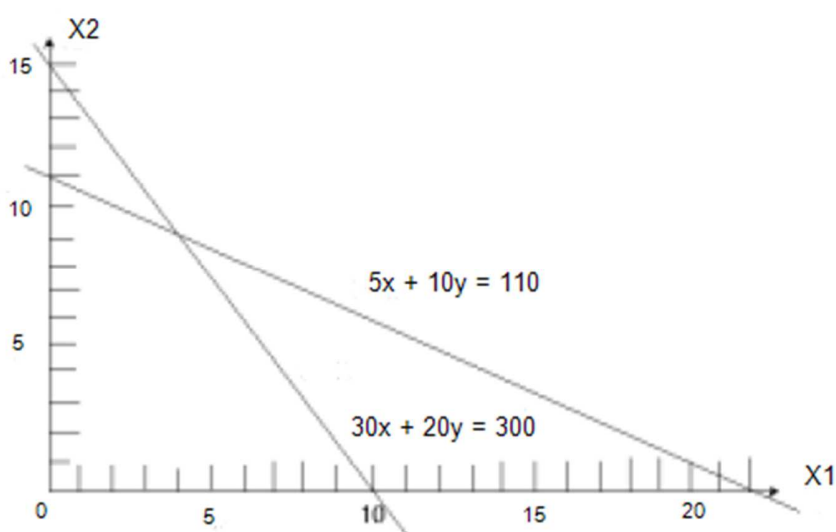
## II FAZA

Druga faza grafičke metode se sastoji u unošenju I grafičkom predstavljanju svih ograničenja u ravni, u cilju nalaženja dopustive oblasti rešenja problema. Za potrebu ove disertacije je

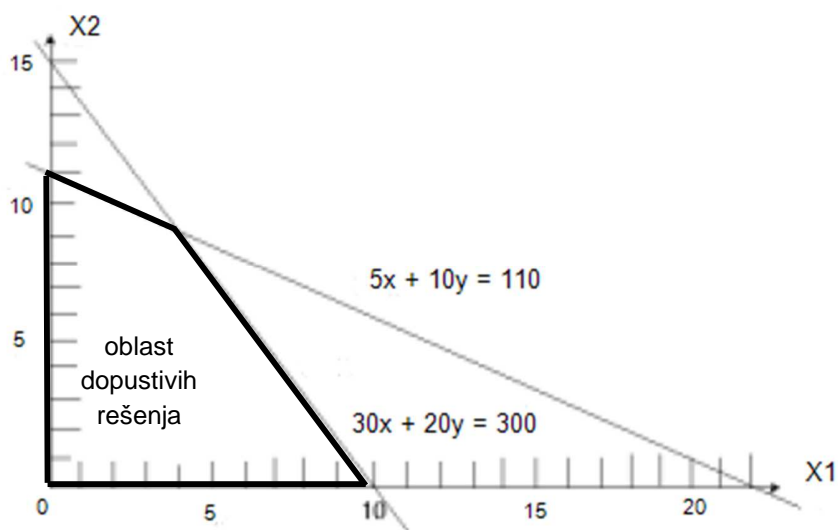
korišćen softver GeoGebra koji je značajno olakšao postupak grafičkog predstavljanja svih ograničenja i prikazivanja dopustive oblasti rešenja. Dopustiva oblast rešenja predstavlja konveksan mnogougao koji je pri tome oblast koja je ograničena zadatim početnim uslovima (Dijagram 4)

### III FAZA

U trećoj fazi se određuje najoptimalnije rešenje zadatog problema tako što se određuje funkcija cilja u svakom temenu mnogougla koji predstavlja dopustivu oblast. Najoptimalnija vrednost funkcije cilja (minimum ili maksimum, u zavisnosti od zadatog problema) predstavlja konačno rešenje problema dobijeno grafičkom metodom optimizacije (Dijagram 5)



Dijagram 4: Faza II - Unošenje ograničenja u dijagram grafičke metode linearnog programiranja (Reeb i Leavengood, op.cit. 1998)



Dijagram 5: Faza III - Definisiranje oblasti dopustivih rešenja u dijagramu grafičke metode linearnog programiranja, (Reeb i Leavengood, *op.cit.* 1998)

## 7. Rezultati

### 7.1. Rezultati monitoringa

Monitoring deponijskih gasova i procedne vode je sproveden na lokaciji zatvorene deponije u Zrenjaninu u periodu od jula do decembra 2013 godine i tokom juna i decembra 2015 godine. Koncentracije deponijskih gasova i procedne vode izmerene tokom decembra 2015. godine, su odbačene jer došlo do delimičnog narušavanja pokrovnog inernog sloja i ponovnog uspostavljanja aerobne faze. Na predmetnoj lokaciji postoji 40 biotrnova, od čega je 30 intalisano na samom telu zatvorene deponije dok su ostalih 10 intalisani van ograđenog prostora, kao kontrolni biotrnovi za kontrolu sanirane deponije i njenih potencijalnih uticaja na okolinu, a pre svega na obližnje javno kupalište.

Na slici 2 je prikazan položaj biotrnova, a u Tabeli 7.1 su date koordinate biotrnova na kojima je izvršena analiza deponijskog gasa i procedne vode.

Tabela 7.1: Prikaz koordinata biotrnova na zatvorenoj deponiji u Zrenjaninu na kojima je vršen monitoring

Redni broj	Oznaka biotrna	GPS KOORDINATE	
1.	B4	20° 21' 54,607" E	45° 21' 11,795" N
2.	B10	20° 21' 58,019" E	45° 21' 11,514" N
3.	B15	20° 21' 58,106" E	45° 21' 10,080" N
4.	B23	20° 22' 1,354" E	45° 21' 9,892" N
5.	B28	20° 22' 1,933" E	45° 21' 8,172" N

U daljem tekstu je data komparativna analiza parametara koja je izvršena poređenjem trendova koncentracija komponentata deponijskog gasa i procedne vode sa pojedinačne lokacije biotrna.

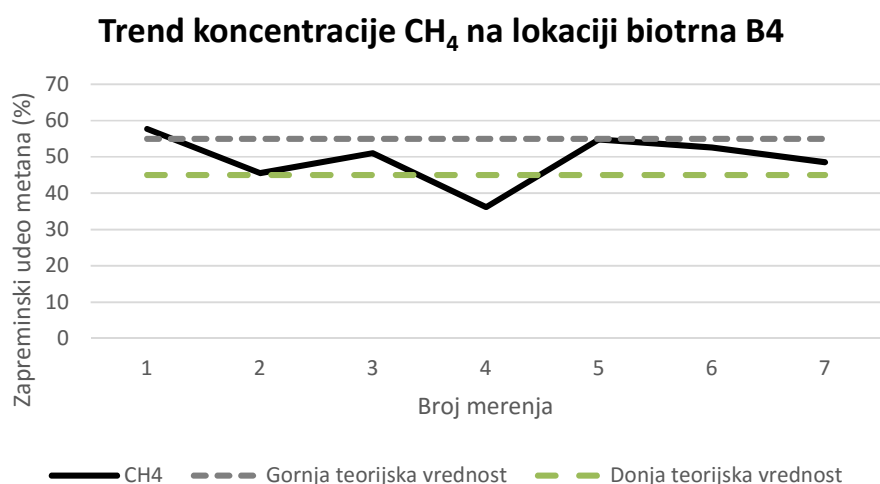
#### 7.1.1 Deponijski gas

U tabeli 7.2 su prikazane koncentracije deponijskog gasa uzorkovanog na biotrn B4.

Tabela 7.2: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B4 (u %)

Biotrn B4							
	Jul 2013	Avgust 2013	Septembar 2013	Oktobar 2013	Novembar 2013	Decembar 2013	Jun 2015
Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7
CH <sub>4</sub>	57,7	45,5	51	36,2	54,8	52,6	48,5
CO <sub>2</sub>	32,2	30,2	30	25,5	30,8	30,6	27,4
O <sub>2</sub>	0	0,5	0,6	2	0	0	1
CO	2	0	5	4	0	0	0
H <sub>2</sub> S	9	1	23	0	13	10	0

Izmereni koncentracioni nivoi metana (CH<sub>4</sub>) ukazuju da je raspon kretanja sadržaja metana od 36,2 % do 57,7 %, čime se može zaključiti da je koncentracija metana varirala i kretala se u većini slučajeva (izuzev koncentracija izmerenih tokom jula i oktobra 2013.) u opsegu gornje i donje teorijske vrednosti za metan u metanogenoj fazi (Ham i Barlaz, 1989), (Dijagram 6).



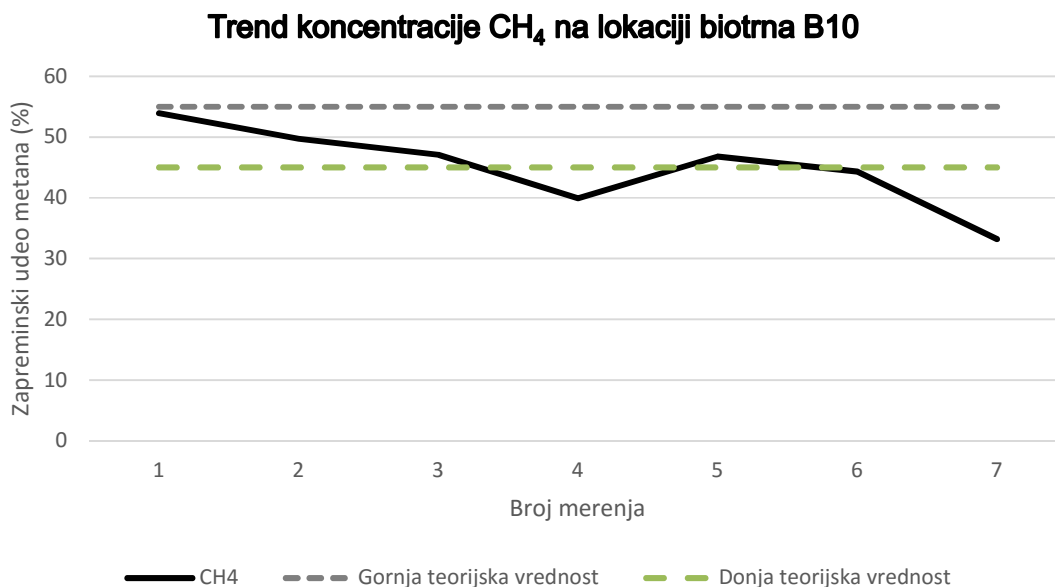
Dijagram 6: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B4

U tabeli 7.3 dat je pregled izmerenih koncentracionih nivoa metana uzorkovanih iz biotrna B10.

Tabela 7.3: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B10 (u %)

<b>Biotrn B10</b>							
	<i>Jul</i> 2013	<i>Avgust</i> 2013	<i>Septembar</i> 2013	<i>Oktobar</i> 2013	<i>Novembar</i> 2013	<i>Decembar</i> 2013	<i>Jun</i> 2015
Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7
CH <sub>4</sub>	53,9	49,7	47,1	39,9	46,8	44,3	33,2
CO <sub>2</sub>	28,2	31,5	25,5	22,1	23,5	22,8	16,1
O <sub>2</sub>	1,6	1,8	4,1	4,3	3	3,1	8,8
CO	0	0	3	0	0	1	0
H <sub>2</sub> S	3	11	7	0	5	4	1

Raspon koncentracije CH<sub>4</sub> na biotrn B10 se kretao od 33,2 % do 53,9%.



Dijagram 7: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B10

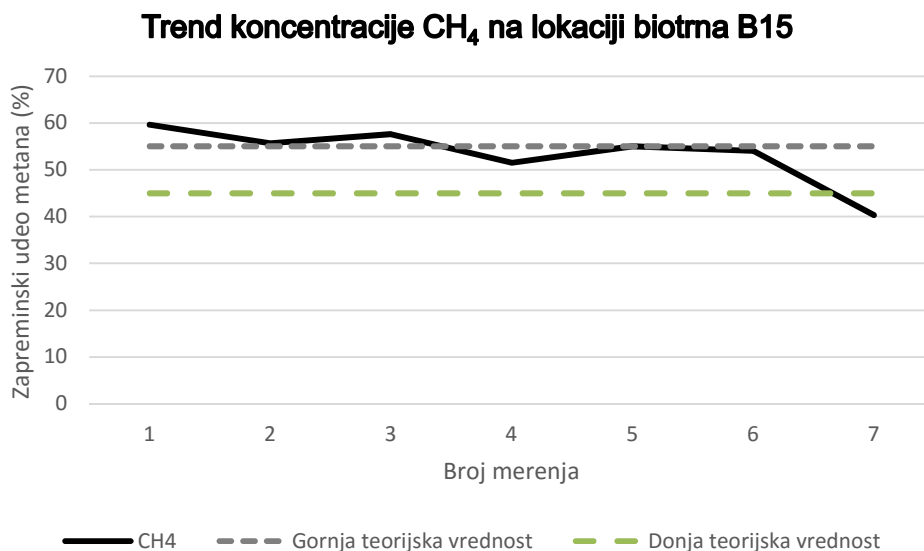
Za razliku od biotrna B4, na biotrnju B10 koncentracijski nivoi pokazuju blagi pad udela metana u deponijskom gasu, počevši od koncentracije izmerene u julu 2013. godine od 53,9% do koncentracije izmerene u junu 2015. godine kada je izmerena i najniža koncentracije metana od 33,2% (Dijagram 7).

U tabeli 7.4 je dat prikaz koncentracionih nivoa deponijskog gasa izmerenih na biotrnju B15.

Tabela 7.4: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrnju B15 (u %)

<b>Biotrn B15</b>							
	<i>Jul 2013</i>	<i>Avgust 2013</i>	<i>Septembar 2013</i>	<i>Oktobar 2013</i>	<i>Novembar 2013</i>	<i>Decembar 2013</i>	<i>Jun 2015</i>
Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7
CH <sub>4</sub>	59,6	55,7	57,6	51,5	55	54	40,3
CO <sub>2</sub>	33,1	34	32,3	29,5	30,4	31,7	28,1
O <sub>2</sub>	0	0	0,1	1,1	0,2	0,8	3,2
CO	0	2	7	1	0	0	0
H <sub>2</sub> S	2	16	14	1	4	3	11

Raspon koncentracije CH<sub>4</sub> na biotrnju B15 se kretao od 40,3% do 59,6 %.



Dijagram 8: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B15

Takođe, slično kao i na biotrn B10, na biotrn B15 se beleži blagi pad koncentracionih nivoa metana. Međutim, koncentracioni nivoi metana na ovom biotrn su znatno viši (Dijagram 8).

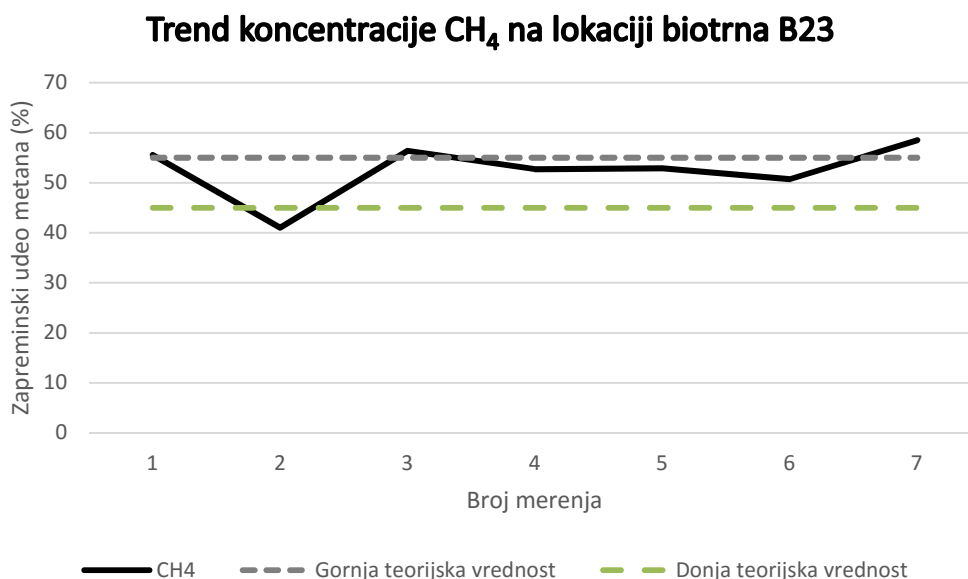
U tabeli 7.5 dat je pregled koncentracionih nivoa deponijskih gasova izmerenih na biotrn B23

Tabela 7.5: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B23 (u %)

<b>Biotrn B23</b>							
	<i>Jul</i> 2013	<i>Avgust</i> 2013	<i>Septembar</i> 2013	<i>Oktobar</i> 2013	<i>Novembar</i> 2013	<i>Decembar</i> 2013	<i>Jun</i> 2015
Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7
CH <sub>4</sub>	55,6	41	56,4	52,7	52,9	50,7	58,5
CO <sub>2</sub>	36,4	32,4	34	33,1	32,9	33	33,7
O <sub>2</sub>	0	2,3	0	0	0	0	0,6
CO	4	7	7	3	0	0	0
H <sub>2</sub> S	9	68	14	55	58	46	6

Raspon koncentracije CH<sub>4</sub> na biotrn B23 se kretao od 41 % do 58,5%.





Dijagram 9: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B23

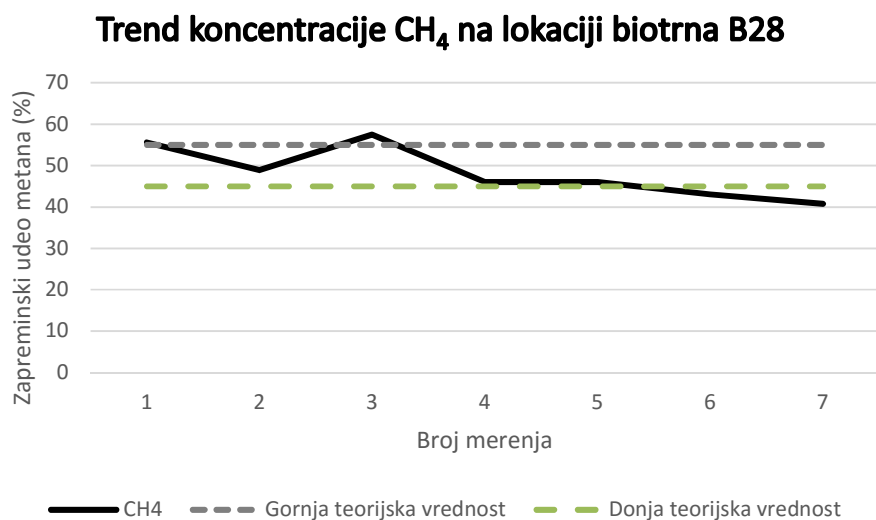
Slično kao i u slučaju izmerenih koncentracionih nivoa metana na biotrn B4, izmereni koncentracije metana na biotrn B23 kretali su se u većini slučajeva između gornje i donje teorijske vrednosti za metan (Dijagram 9).

U tabeli 7.6 prikazani su koncentracioni nivoi deponijskih gasova izmereni na biotrn B28

Tabela 7.6: Prikaz trenda emisije deponijskog gasa sa biotrna B28 (u %)

<b>Biotrn B28</b>							
	<i>Jul 2013</i>	<i>Avgust 2013</i>	<i>Septembar 2013</i>	<i>Oktobar 2013</i>	<i>Novembar 2013</i>	<i>Decembar 2013</i>	<i>Jun 2015</i>
Broj merenja	1	2	3	4	5	6	7
CH <sub>4</sub>	55,6	48,9	57,5	46	46	43	40,8
CO <sub>2</sub>	34,5	32,5	33,2	32	32	32	26,9
O <sub>2</sub>	0	0,3	0,4	0,2	0,2	1	2,7
CO	3	0	5	2	2	1	0
H <sub>2</sub> S	39	46	27	0	0	8	0

Raspon koncentracije CH<sub>4</sub> na biotrn B28 se kretao od 40,8 % do 57,5%.



Dijagram 10: Trend koncentracije CH<sub>4</sub> na lokaciji biotrna B28

Koncentracioni nivoi metana izmerenih na biotrnju B28, se u uglavnom kreću između donje i gornje teorijske vrednosti za metagenu fazu (Dijagram 10).

### 7.1.2 Procedna voda

U skladu sa domaćim zakonodavstvom, ne postoji obaveza monitoringa procedne vode zatvorene deponije gde nema instaliranog sistema za sakupljanje procednih voda, međutim za potrebe ove disertacije monitoring je izvršen jer predstavlja prvo (i za sada jedino) obimnije istraživanje koje je sprovedeno na ovoj lokaciji. Za potrebe istraživanja, uzorkovanje procednih voda je izvršeno iz biotrnova iz kojih je meren deponijski gas.

Analiza procedne vode je obuhvatila sledeće parametar: temperaturu, pH, nitrate (NO<sub>3</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>), hemijsku potrošnju kiseonika (HPK), biološku potrošnju kiseonika (BPK<sub>5</sub>), gvožđe (Fe), cink (Zn), kalcijum (Ca) i magnezijum (Mg).

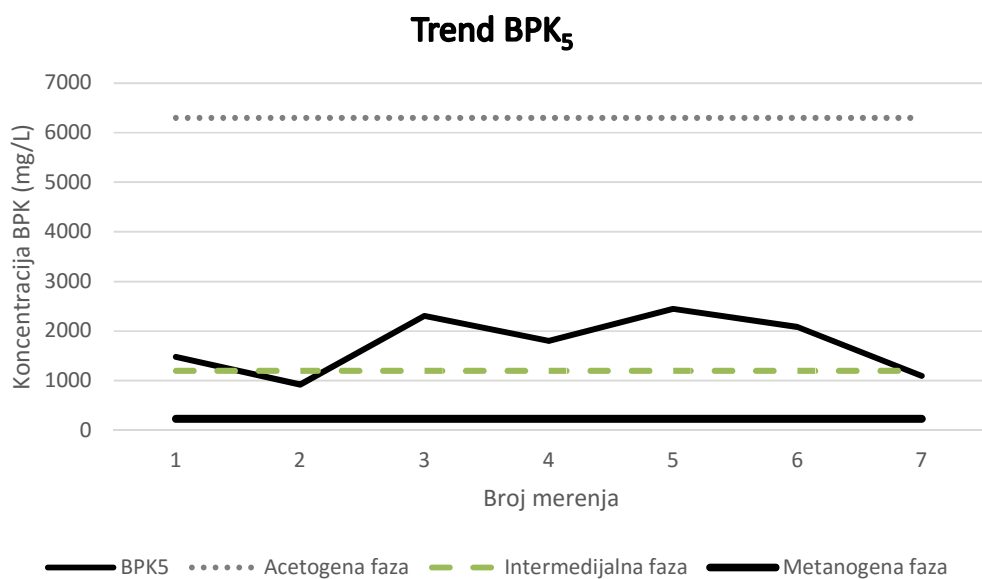
U daljem tekstu su prikazani rezultati monitoring procedne vode sa sanirane deponije u Zrenjaninu pri čemu su zabeležene BPK<sub>5</sub> i HPK vrednosti upoređene sa opsegom vrednosti karakterističnim za metanogenu, intermedijalnu i acetogenu fazu ragrađnje deponije (tabela 5.1) (Ehig, 1989).

U tabeli 7.7 je dat prikaz fizičko-hemijskih karakteristika procedne vode uzorkovane na biotrnju B4

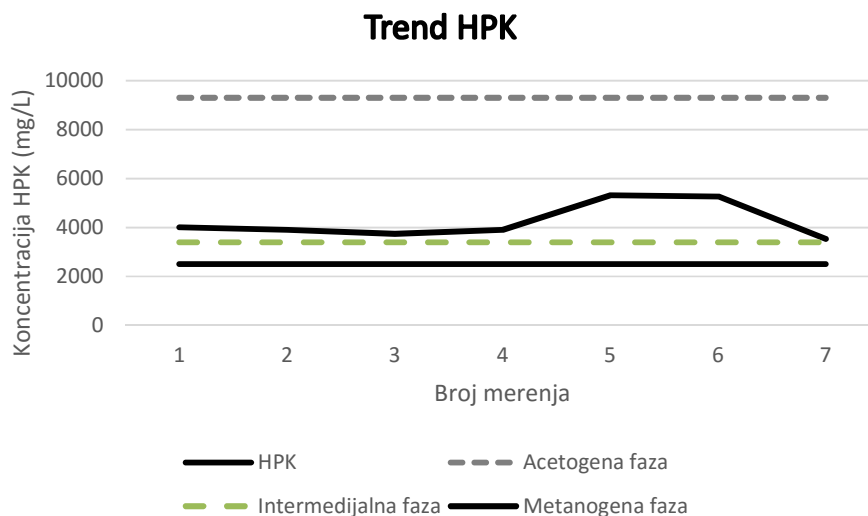
Tabela 7.7: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B4

<b>Biotrn B4</b>							
	<i>Jul 2013</i>	<i>Avgust 2013</i>	<i>Septembar 2013</i>	<i>Oktobar 2013</i>	<i>Novembar 2013</i>	<i>Decembar 2013</i>	<i>Jun 2015</i>
Temperatura	21,6	22,0	23,9	20	20	19	15,8
pH	7,64	7,57	7,61	7,69	7,62	7,67	7,06
Nitrati	29,3	16,8	44,5	38	37,0	36	18,7
Nitriti	0,49	0,12	0,58	0,94	0,38	0,37	0,02
HPK	4010	3900	3744	3910	5320	5270	3540
BPK <sub>5</sub>	1480	920	2300	1800	2450	2080	1100
Gvožđe	2,8	3,15	4,21	2,6	3,09	2,4	2,2
Cink	0,36	0,23	0,53	<0,05	0,10	<0,05	<0,05
Kalcijum	75,2	80,1	68,6	51,3	27,5	26,5	24,7
Magnezijum	42,36	35,98	31,42	186,38	170,00	120,50	98,80

Kretanje trenda BPK<sub>5</sub> i HPK izmerenih na biotrn B4 prikazani su na dijagramima 11 i 12



Dijagram 11: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B4



Dijagram 12: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B4

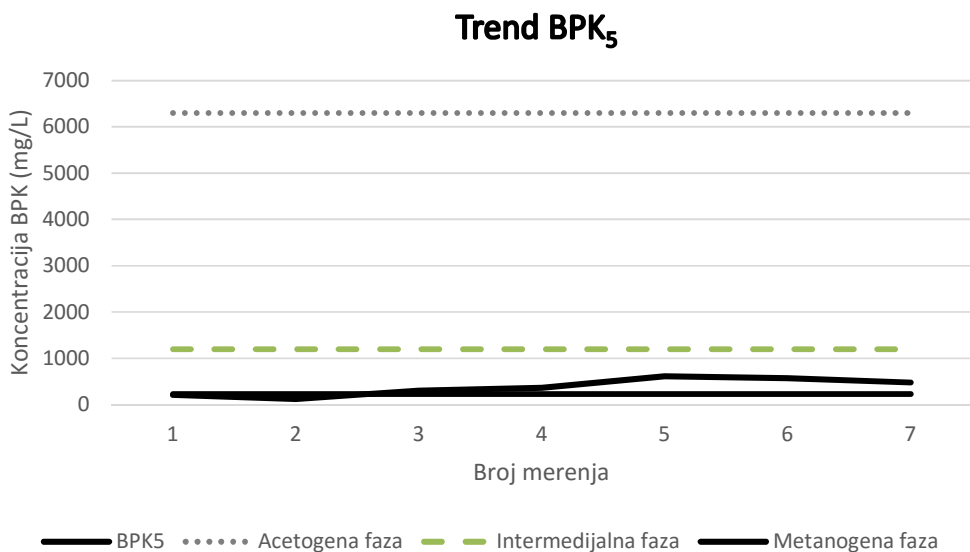
Vrednosti  $BPK_5$  u rasponu od 920 do 2450  $mgO_2/l$ , HPK u rasponu od 3540 do 5320  $mgO_2/l$  ukazuju na prisutnu acetogenu fazu.

U tabeli 7.8 su date fizičko hemijske karakteristike otpadne vode uzokovane na biotnu B10.

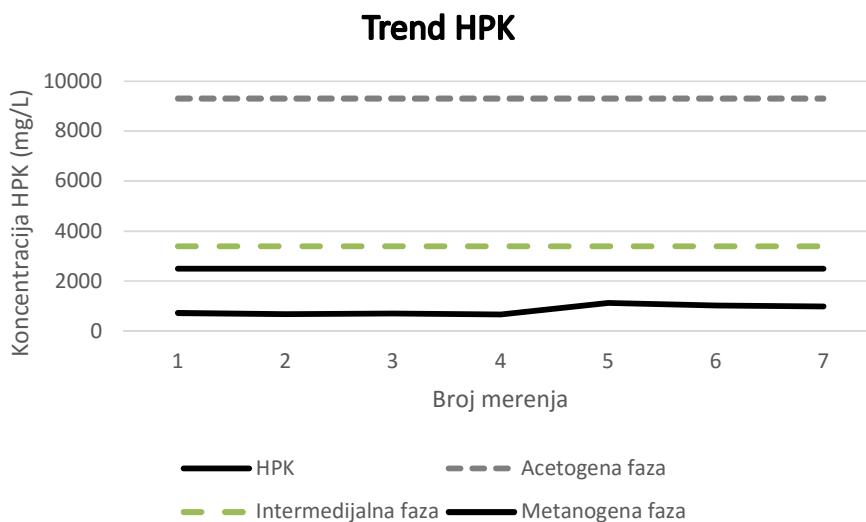
Tabela 7.8: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B10

Biotrn B10							
	Jul 2013	Avgust 2013	Septembar 2013	Oktobar 2013	Novembar 2013	Decembar 2013	Jun 2015
Temperatura	19,7	18,5	20,1	19,5	21	21	17,8
pH	7,21	7,15	7,24	7,31	7,36	7,38	7,17
Nitrati	4,2	3,8	9,5	3,3	6,3	7	3,7
Nitriti	0,09	0,09	0,08	0,04	0,06	0,05	0,05
HPK	720	670	702	666	1130	1030	990
$BPK_5$	210	120	300	360	610	570	480
Gvožđe	8,64	11,72	9,22	1,95	16,92	15,80	12,4
Cink	0,10	0,15	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kalcijum	155,40	160,1	114,7	131,6	93,0	88,0	77,4
Magnezijum	86,44	78,54	98,11	226,85	251,51	230,00	154,72

Kretanje trenda  $BPK_5$  i HPK izmerenih na biotrn B10 prikazani su na dijagramima 13 i 14



Dijagram 13: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B10



Dijagram 14: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B10

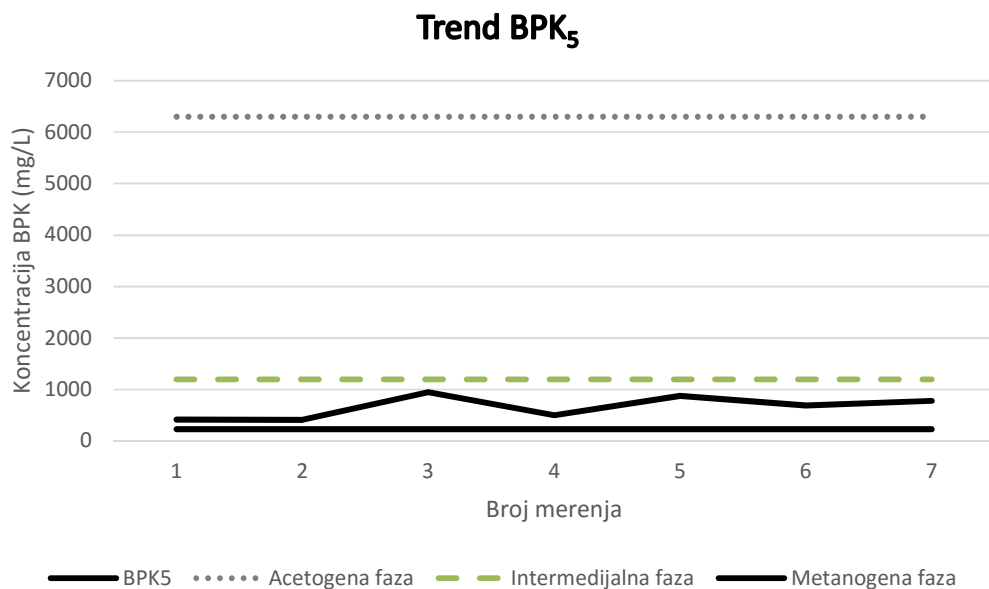
Vrednosti BPK<sub>5</sub> i HPK zabeležene u procednoj vodi uzokovane na biotrn B10 su znatno niže u odnosu na otpadnu vodu uzorkovanu na biotrn B4. Rraspon vrednosti BPK5 od od 120 do 610 mgO<sub>2</sub>/l, i HPK u rasponu od 666 do 1130 mgO<sub>2</sub>/l ukazuju na prisutnu metanogenu fazu.

U tabeli 7.9 su date fizičko hemijske karakteristike otpadne vode uzokovane na biotnu B15.

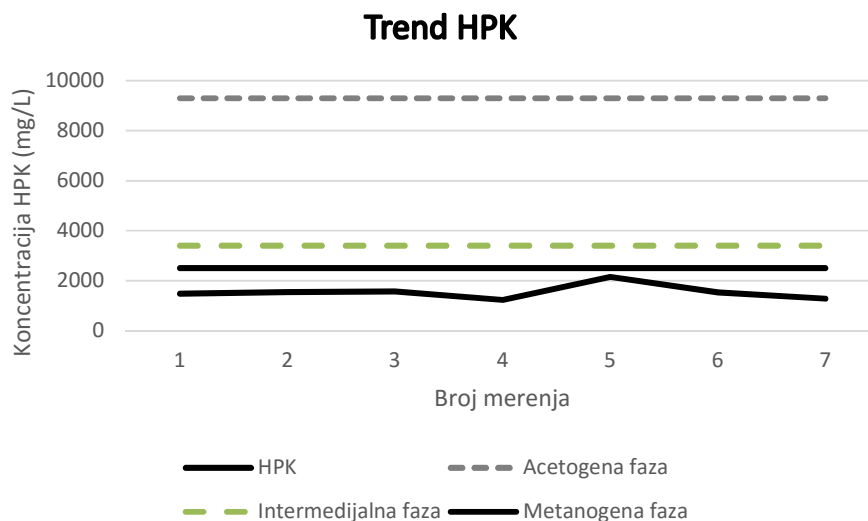
Tabela 7.9: Prikaz emisije procedne vode sa biotna B15

Biotrn B15							
	Jul 2013	Avgust 2013	Septembar 2013	Oktobar 2013	Novembar 2013	Decembar 2013	Jun 2015
Temperatura	20	21.0	22,1	18	23	20	18,3
pH	7,18	7.25	7,36	7,38	7,42	7,47	7,24
Nitrati	11,6	8.4	19,1	10,8	10,1	11	8,4
Nitriti	0,12	0.13	0,21	0,65	0,15	0,14	0,05
HPK	1480	1536	1560	1227	2150	1530	1280
BPK <sub>5</sub>	420	410	950	500	880	690	780
Gvožđe	31,75	29.68	35,62	25,85	40,42	32,85	22,5
Cink	0,10	0.31	0,21	0,08	0,14	0,06	0,04
Kalcijum	160	157.9	178,3	155,8	62,0	60,0	58
Magnezijum	164,28	197.15	153,94	226,75	236,43	212,70	130,75

Kretanje trenda BPK<sub>5</sub> i HPK izmerenih na biotnu B15 prikazani su na dijagramima 15 i 16



Dijagram 15: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotna B15



Dijagram 16: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B15

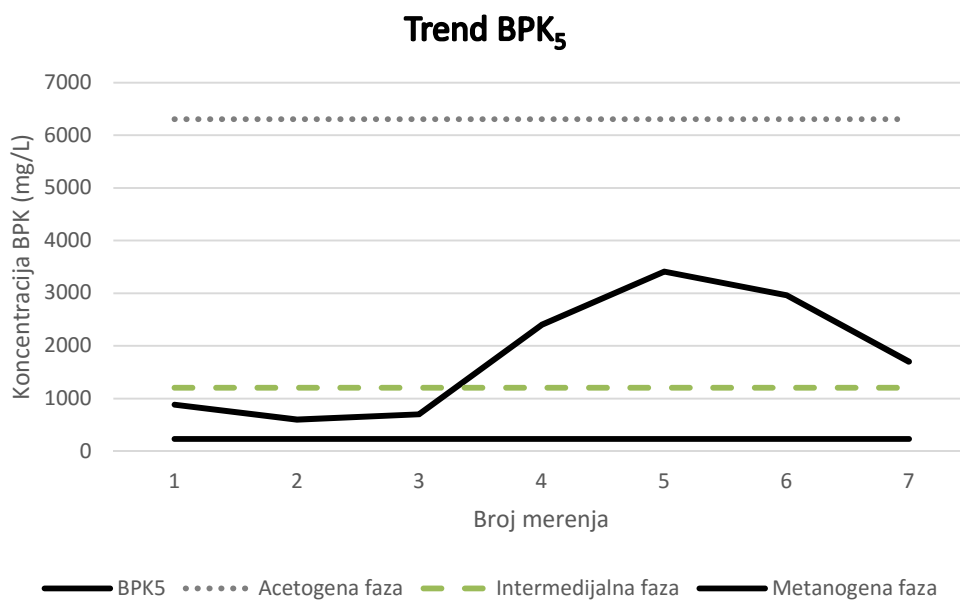
Vrednosti  $BPK_5$  zabeležene u procednoj vodi uzokovane na biotrn B15 (od 410 do 950  $mgO_2/l$ ) su neznatno više u odnosu na otpadnu vodu uzorkovanu na biotrn B4 i ukazuju na prisutnu intermedijalnu fazu. S druge strane iako su zabeležene vrednosti HPK (1280 do 2150  $mgO_2/l$ ) znatno više u odnosu na otpadnu vodu uzorkovanu na biotrn B4 i dalje se kreću u opsegu vrednosti karakterističnoj za metanogenu fazu.

U tabeli 7.10 su date fizičko hemijske karakteristike otpadne vode uzokovane na biotrn B23.

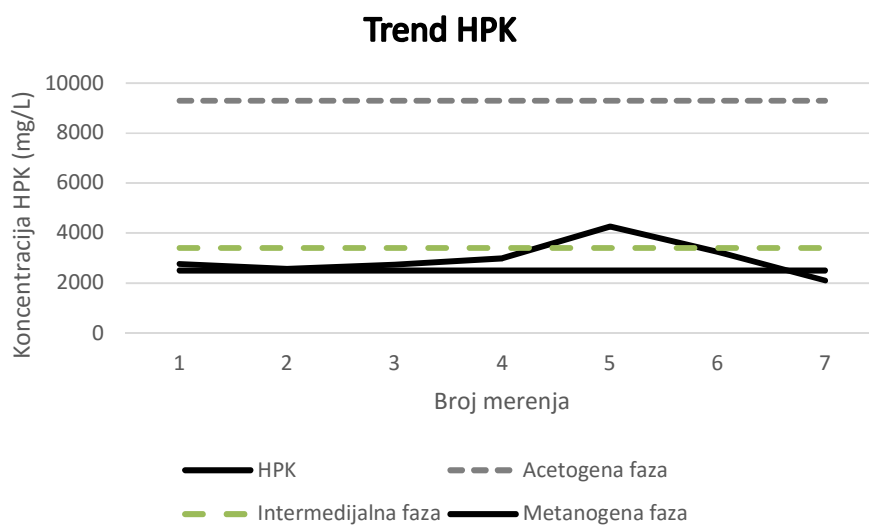
Tabela 7.10: Prikaz emisije procedne vode sa biotrna B23

Biotrn B23							
	Jul 2013	Avgust 2013	Septembar 2013	Oktobar 2013	Novembar 2013	Decembar 2013	Jun 2015
Temperatura	21,3	22,0	21,2	19	23	21	19,8
pH	7,35	7,20	7,53	7,59	7,55	7,28	7,25
Nitrati	8,4	8,2	17,1	16,1	14,3	15	<0,1
Nitriti	0,12	0,04	0,27	0,38	0,98	0,88	0,03
HPK	2770	2560	2735	2995	4260	3250	2100
$BPK_5$	880	600	700	2400	3410	2960	1700
Gvožđe	3,17	4,25	2,12	3,19	1,62	1,05	6,1
Cink	0,19	0,20	0,43	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Kalcijum	96,34	142,1	128,7	108,2	35,6	33,5	128,60
Magnezijum	155,26	142,42	114,27	230,29	126,29	206,29	123,46

Kretanje trenda  $BPK_5$  i HPK izmerenih na biotrn B10 prikazani su na dijagramima 17 i 18



Dijagram 17: Trend koncentracije BPK<sub>5</sub> na lokaciji biotrna B23



Dijagram 18: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B23



## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

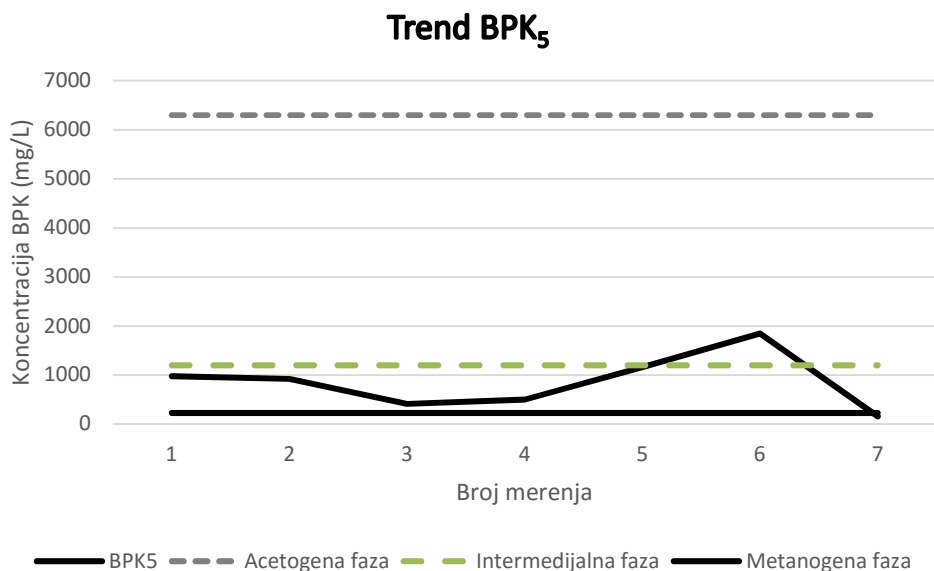
Kao i u prethodnom slučaju, na biotnu B23 su zabeležene vrednosti  $BPK_5$  (2100 do 4269  $mgO_2/L$ ) koje su karakteristične za opseg vrednosti intermedijalne faze, dok vrednosti HPK u rasponu od 600 do 3410  $mgO_2/l$  ukazuju na prisutnu metanogenu fazu.

U tabeli 7.11 su date fizičko hemijske karakteristike otpadne vode uzokovane na biotnu B28.

Tabela 7.11: Prikaz emisije procedne vode sa biotna B28

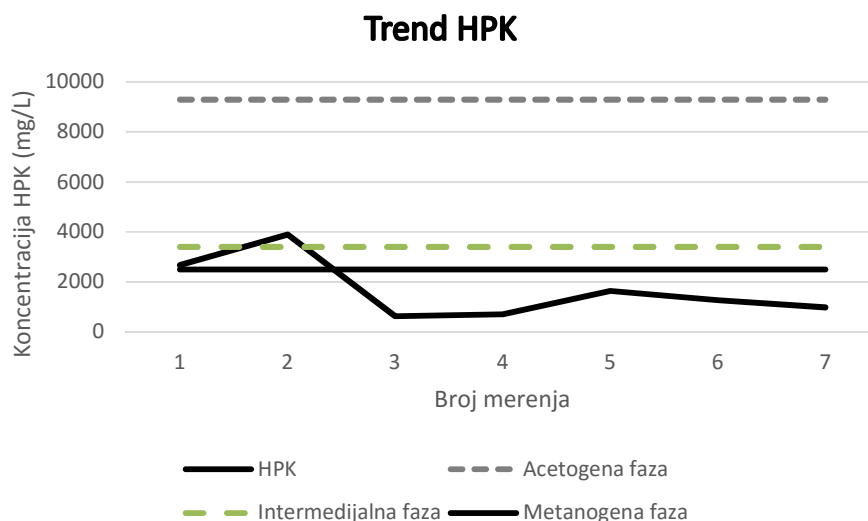
Biotrn B28							
	Jul 2013	Avgust 2013	Septembar 2013	Oktobar 2013	Novembar 2013	Decembar 2013	Jun 2015
Temperatura	21	22.0	24,0	20	21	23	15.6
pH	7,31	7.57	7,23	7,25	7,29	7,29	7,07
Nitrati	15,4	16.8	8,8	5,7	12,4	10	0,5
Nitriti	0,10	0.12	0,17	0,24	0,15	0,19	0,02
HPK	2680	3900	628	707	1640	1268	981
$BPK_5$	980	920	410	500	1160	1450	156
Gvožđe	12,6	3.15	29,72	23,95	27,21	21,85	7,9
Cink	0,42	0.23	0,85	0,12	0,12	0,18	<0,05
Kalcijum	120	80.1	205,1	142,4	79,3	75,4	122,2
Magnezijum	54,25	35.98	56,87	155,47	254,99	150,40	315,41

Kretanje trenda  $BPK_5$  i HPK izmerenih na biotnu B28 prikazani su na dijagramima 19 i 20



Dijagram 19: Trend koncentracije  $BPK_5$  na lokaciji biotna B28

Vrednosti koncentracije BPK<sub>5</sub> iz procednih voda uzorkovane iz biotrna B28 tokom perioda merenja su varirale od vrednosti 156 mgO<sub>2</sub>/l karakteristične za intermedijalnu fazu do maksimalno zabeležene vrednosti od 1450 mgO<sub>2</sub>/l karakteristične za acetogenu fazu.



Dijagram 20: Trend koncentracije HPK na lokaciji biotrna B28

Kao i u slučaju BPK<sub>5</sub>, izmerene vrednosti HPK u procednoj vodi uzorkovanoj na biotrn B28 kretale su se iz oblasti acetogene faze (HPK od 3900 mgO<sub>2</sub>/l), do vrednosti karakteristične za metanogenu fazu (HPK od 628 mgO<sub>2</sub>/l).

### 7.2 Rezime monitoringa deponijskog gasa i procedne vode

Iz prikazanih rezultata monitoringa emisije deponijskog gasa sa posmatranih biotrnova na lokaciji zatvorenog smetlišta u Zrenjaninu, uočavaju se znatne oscilacije kod svakog biotrna koji je bio predmet monitoringa u koncentraciji metana u odnosu na prosečne vrednosti od 45 – 55 % za metanogenu fazu (*Ehrig 1989, strana 52.*) za ovaj veoma kratak period monitoringa.

Analiza procednih voda pokazuje odstupanja i ne ujednačenost vrednosti pojedinih parametara, posebno sa aspekta HPK i BPK<sub>5</sub>. Ta neujednačenost nije prisutna samo kod različitih biotrnova, već i unutar jednog biotrna (B28) tokom perioda merenja. Dobijene prosečne vrednosti su karakteristične za srednje degradabilnu procednu vodu u kojoj postoji ravnoteža između teško i lako razgradljivih organskih jedinjenja. Vrednosti teških metala, nitrita i nitrata su se kretale u okviru granica definisanih za metanogenu fazu procedne vode.

Navedena odstupanja se mogu smatrati posledicom lošeg upravljanja deponijom – smetlištom, ne sprovođenja pravila koja se primenjuju prilikom odlaganja otpada i svih tehničko-tehnoloških mera definisanih propisima, kao i ne postojanje osnovne infrastrukture i mehanizacije za adekvatno upravljanje otpadom, što podrazumeva ne sprovođenje:

- merenja na kolskoj vagi (tara težina, bruto težina vozila – procene),
- rasprostiranje, ravnanje i sabijanje otpada,
- nasipanje zemljišta,
- slojevito odlaganje otpada, itd.

Takođe, na rezultate monitoringa utiče i način upravljanja odlagalištem otpada u prethodnom periodu, što podrazumeva:

- zajedničko odlaganje ne ujednačenog sastava otpada na deponiji po vrsti i starosti (na istom mestu odlaganje komunalnog otpada, opasnog otpada, otpadnih guma i akumulatora i sl.),
- ne postojanje kasete za odlaganje otpada,
- česti požari na deponiji usled samozapaljenja zbog metanskih džepova ili usled paljenja žetvenih ostataka u blizini deponije – nedostatak protivpožarnih hidranata,
- dovoženje otpada sa divljih deponija iz naseljenih mesta bez bilo kakvih evidencija,
- i drugih nedostataka.

### **7.3 Rezultati optimizacije modela monitoringa deponijskog gasa i procedne vode primenom grafičke metode linearnog programiranja**

Optimizovanim modelom monitoringa će se postići sledeći rezultati:

- Definisane minimalnog broja parametara deponijskog gasa i procedne vode koje je potrebno meriti na svakoj zatvorenoj deponiji,
- Definisane minimalnog obima monitoringa deponijskog gasa i procedne vode koji je potrebno sprovesti na svakoj zatvorenoj deponiji,
- Racionalno i ekonomično planiranje i trošenje finansijskih sredstava za sprovođenje monitoringa deponijskog gasa i procedne vode
- Obezbediti kvalitetnu osnovu za procenu stanja životne sredine (uticaja deponije na životnu sredinu)

Uslov koji treba optimizacija da obezbedi je da monitoring daje pouzdane podatke o fizičko – hemijskim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.

Ulazni parametri modela optimizacije su:

- Cena jedne analize deponijskog gasa iznosi 6000,00 dinara a ona obuhvata merenje 5 parametara (cena 1. parametra je 1200,00 dinara) na jednom biotrnju, a cena jedne analize procedne vode iznosi 7.541,70 dinara a ona obuhvata merenje 23 parametara (cena 1. parametra je 345,90 dinara),
- Pun obim monitoringa podrazumeva monitoring na svih 30 biotrnova.

Radi definisanja primenljivog modela optimizacije monitoringa u navedenim granicama uslova, neophodno je razraditi nekoliko primera modela optimizacije i odabrati najbolji, ne samo sa aspekta matematičke analize, već i sa aspekta zaštite životne sredine.

**1. Optimizacija A – Model optimizacije (5/23) – 5 parametara za gas, 23 parametara za vodu, ukupno 28 parametara x 30 biotrnova = 840 pojedinačnih merenja**

U tabeli 7.12 prikazan je model optimizacije koji se odnosi na pretpostavku merenja 5 parametara za gas i 23 parametra za vodu na svih 30 biotrnova. Za potrebe optimizacije, modifikovani su granični uslovi (ekstremumi funkcije), u cilju ispitivanja posledica promene broja merenja (povećanje ili smanjenje). Iz tih razloga, za svaki model su određena dva granična uslova, jedan koji predstavlja situaciju kada se meri više parametara i za gas i za vodu, i drugi koji predstavlja situaciju kada se meri manje parametara za gas i vodu.

Tabela 7.12: Model optimizacije 5/23

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas (x)	Parametri za vodu (y)	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Maksimum	8	25	840
Minimum	4	20	840
Troškovi merenja po jednom parametru F(x,y)	1200	345,90	

X – broj merenih parametara za gas

Y – broj merenih parametara za vodu

Funkcija troškova:

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

Granični uslovi i uslovi nenegativnosti:

$$8x + 25y \leq 840$$

$$4x + 20y \leq 840$$

$$x \geq 5, y \geq 23$$

Iz prvog uslova se dobija:

$$8x + 25y = 840$$

$$25y = -8x + 840$$

$$y = -\frac{8}{25}x + \frac{840}{25}$$

$$y = -0,32x + 33,6$$

$$x = 0$$

$$y = -0,32 \cdot 0 + 33,6$$

$$y = 33,6$$

$$y = 0$$

$$0 = -0,32x + 33,6$$

$$0,32x = 33,6$$

$$x = 33,6 \div 0,32 = 105$$

Granični uslov se zapisuje u eksplicitnom obliku jednačine prave. Budući da je svaka prava određena sa dve svoje proizvoljne tačke, uzimaju se proizvoljno vrednosti za x, x=0 i y, y=0 i izračunavaju koordinate dve tačke kroz koje će proći tražena prava.

Radi crtanja ove prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  pa izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.13).

Tabela 7.13: koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/23

X	0	105
Y	33,6	0

Da bi se odredilo kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,32x + 33,6$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 33,6$  što je u ovom slučaju tačno), a to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Iz drugog uslova se dobija:

$$\begin{aligned}4x + 20y &= 840 \\20y &= -4x + 840 \\y &= -\frac{4}{20}x + \frac{840}{20} \\y &= -0,2x + 42\end{aligned}$$

Za izražavanje prave u eksplicitnom obliku primenjuje se isti postupak kao u prethodnom slučaju ( $x=0$ ,  $y=0$ ) za određivanje koordinata dve proizvoljne tačke sa date prave (tabela 7.14).

Za crtanje ovu prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  nakon čega se izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.14).

Tabela 7.14: koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/23

X	0	210
Y	42	0

Za određivanje kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,2x + 42$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 42$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Za preostala dva uslova crta se vertikalna prava  $x=5$  i horizontalna prava  $y=23$ .

Crtaњem se dobija da je dopustivi skup vrednosti funkcije troškova trougao ošćen na slici, i da su njegove granične tačke A (5, 23) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=5$  i  $y=23$ , zatim tačka B (33.125,23) jer se ona nalazi u preseku pravih  $y=23$  i  $y=-0.32x+33.6$

$$\begin{aligned}y &= 23 \\y &= -0.32x + 33,6 \\23 &= -0.32x + 33,6 \\0.32x &= 33,6 - 23 \\0.32x &= 10,6 \\x &= \frac{10,6}{0,32} \\x &= 33,125\end{aligned}$$

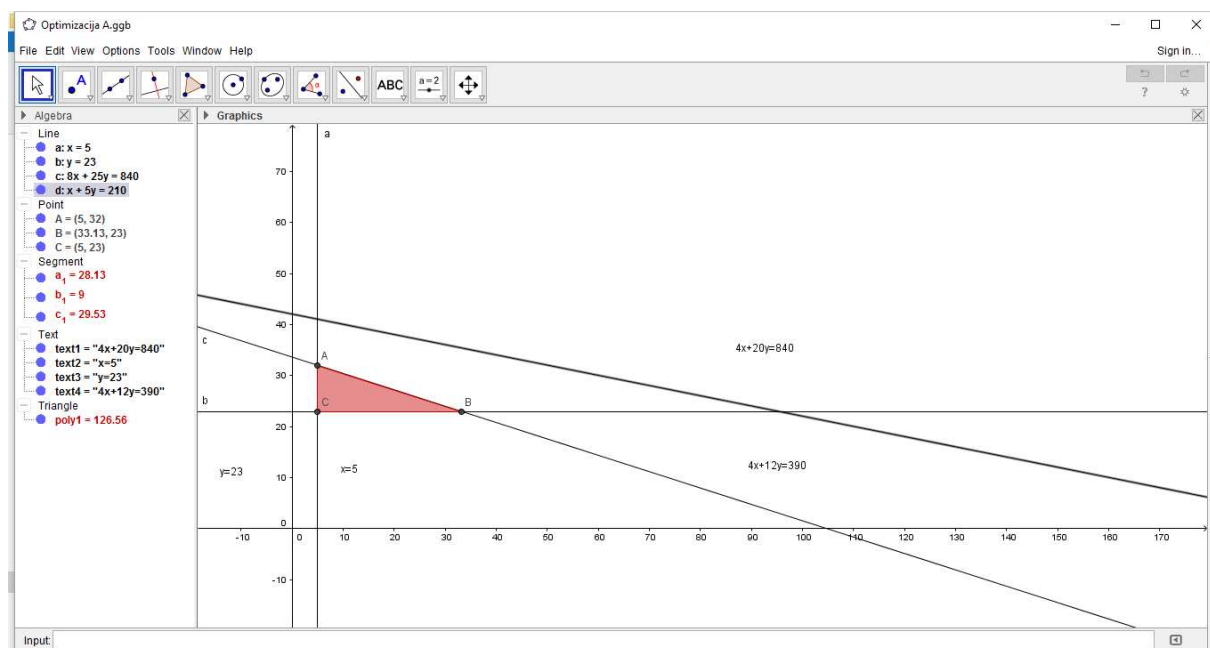
I tačka C (5,32) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=5$  i  $y=-0.32x+33.6$

$$\begin{aligned}x &= 5 \\y &= -0.32x + 33,6 \\y &= -0.32 \cdot 5 + 33,6 \\y &= -1,6 + 33,6 \\y &= 32\end{aligned}$$

Zamenom ove tri tačke u funkciju troškova se dobijaju sledeće vrednosti:

$$\begin{aligned}F(x, y) &= 1200x + 345.90y \\F(5, 23) &= 1200 \cdot 5 + 345.90 \cdot 23 = 6000 + 7955.7 = 13955.7 \\F(33.125, 23) &= 1200 \cdot 33.125 + 345.90 \cdot 23 = 39750 + 7955.70 = 37181.70 \\F(5, 32) &= 1200 \cdot 5 + 345.90 \cdot 32 = 6000 + 11068.80 = 17068.80\end{aligned}$$

Oдавде se vidi da se minimalni jedinični troškovi u iznosu od **13.955,70** dinara za monitoring zrenjaninskog smetlišta postižu pri merenju 5 parametara za gas i 23 parametra za vodu.



Dijagram 21: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/23

**2. Optimizacija B – Model optimizacije (5/10) – 5 parametara za gas, 10 parametara za vodu, ukupno 15 parametara x 5 biotrnova = 75 pojedinačnih merenja**

U tabeli 7.15 prikazan je model optimizacije koji se odnosi na pretpostavku merenja 5 parametara za gas i 10 parametara za vodu na 5 biotrnova. Za potrebe optimizacije, modifikovani su granični uslovi (ekstremumi funkcije), u cilju ispitivanja posledica promene broja merenja (povećanje ili smanjenje). Iz tih razloga, za svaki model su određena dva granična uslova, jedan koji predstavlja situaciju kada se meri više parametara i za gas i za vodu, i drugi koji predstavlja situaciju kada se meri manje parametara za gas i vodu.

Tabela 7.15: Model optimizacije 5/10

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas	Parametri za vodu	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Maksimum	7	12	75
Minimum	3	8	75
Troškovi merenja po jednom parametru	1200	345,90	

X – broj merenih parametara za gas  
 Y – broj merenih parametara za vodu

Funkcija troškova:

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

Granični uslovi i uslovi nenegativnosti:

$$7x + 12y \leq 75$$

$$3x + 8y \leq 75$$

$$x \geq 5, y \geq 10$$

Iz prvog uslova se dobija:

$$7x + 12y = 75$$

$$12y = -7x + 75$$

$$y = -\frac{7}{12}x + \frac{75}{12}$$

$$y = -0,58x + 6,25$$

$$x = 0$$

$$y = -0,58 \cdot 0 + 6,25$$

$$y = 6,25$$

$$y = 0$$

$$0 = -0,58x + 6,25$$

$$0,58x = 6,25$$

$$x = 6,25 \div 0,58 = 10,77$$

Granični uslov se zapisuje u eksplicitnom obliku jednačine prave. Budući da je svaka prava određena sa dve svoje proizvoljne tačke, uzimaju se proizvoljno vrednosti za x, x=0 i y, y=0 i izračunavaju koordinate dve tačke kroz koje će proći tražena prava.

Radi crtanja ove prave, uzimaju se vrednosti kada je x=0 pa izračunava y, a zatim uzima za y=0 i izračunava koliko je x (Tabela 7.16)

Tabela 7.16: koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/10

X	0	10,77
Y	6,25	0

Da bi se odredilo kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti x=0 i y=0 (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,58x + 6,25$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 6,25$  što je u ovom slučaju tačno), a to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Iz drugog uslova se dobija:



$$3x + 8y = 75$$

$$8y = -3x + 75$$

$$y = -\frac{3}{8}x + \frac{75}{8}$$

$$y = -0,375x + 9,375$$

Za izražavanje prave u eksplicitnom obliku primenjuje se isti postupak kao u prethodnom slučaju ( $x=0, y=0$ ) za određivanje koordinata dve proizvoljne tačke sa date prave (tabela 7.17).

Za crtanje ovu prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  nakon čega se izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.17).

Tabela 7.17: koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/10

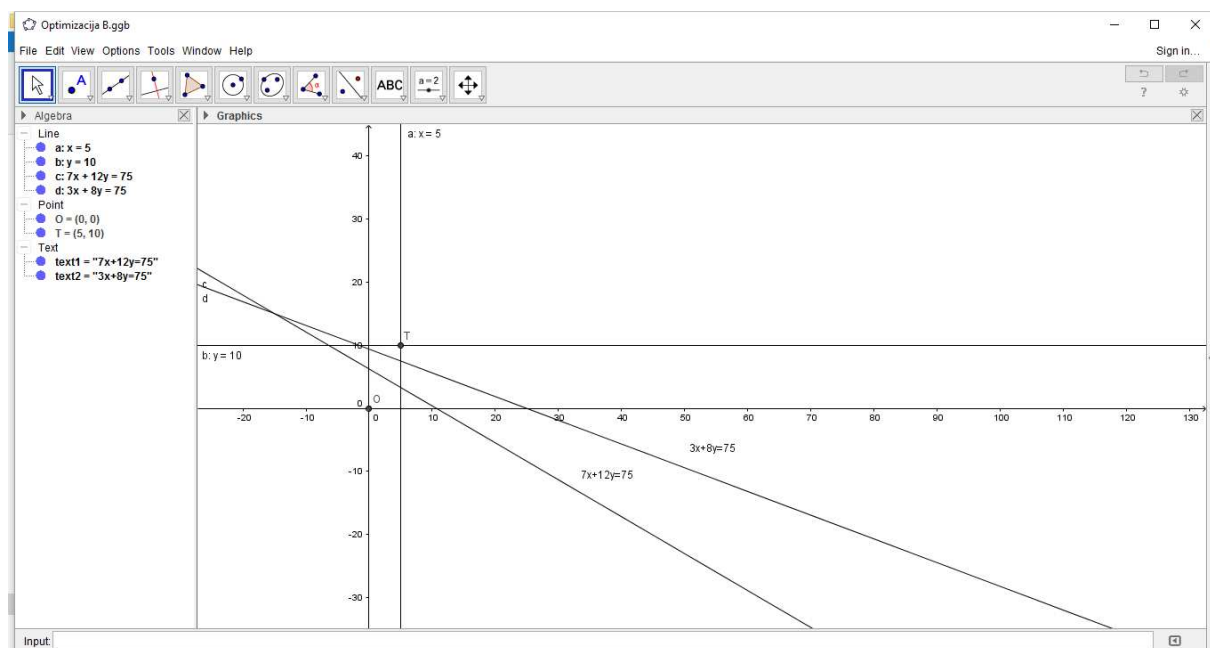
X	0	25
Y	9,375	0

Za određivanje kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,375x + 9,375$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 9,375$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Za preostala dva uslova crta se vertikalna prava  $x=5$  i horizontalna prava  $y=10$ .

Presek vertikalne prave  $x=5$  i horizontalne prave  $y=10$  je tačka T (5, 10). Zamenom tačke T u nejednakost  $y \leq -0,375x + 9,375$  dobijamo  $10 \leq 7,5$  što nije tačno. Ovakav rezultat implicira zaključak da se tačka T nalazi sa suprotne strane u odnosu na skup rešenja, odnosno da dopustiva oblast u kojoj bi se nalazila rešenja ovog linearnog problema ne postoji.

Sledeća GeoGebra ilustruje nepostojanje dopustive oblasti rešanja datog problema (Dijagram 22).



Dijagram 22: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/10

Tumačenje ovako dobijenih rezultata se ogleda u zaključku da granični uslovi nisu dobro definisani tj. da je pretpostavljeni broj uzoraka (merenja) u odnosu na pretpostavljeni broj parametara koji će se meriti u ovom modelu nizak.

### 3. Optimizacija C – Model optimizacije (5/10-II) – 5 parametara za gas, 10 parametara za vodu, ukupno 15 parametara x 30 biotrnova = 450 pojedinačnih merenja

U tabeli 7.18 prikazan je model optimizacije koji se odnosi na pretpostavku merenja 5 parametara za gas i 10 parametara za vodu na 30 biotrnova. Za potrebe optimizacije, modifikovani su granični uslovi (ekstremumi funkcije), u cilju ispitivanja posledica promene broja merenja (povećanje ili smanjenje). Iz tih razloga, za svaki model su određena dva granična uslova, jedan koji predstavlja situaciju kada se meri više parametara i za gas i za vodu, i drugi koji predstavlja situaciju kada se meri manje parametara za gas i vodu.

Tabela 7.18: Model optimizacije 5/10-II

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas	Parametri za vodu	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Maksimum	7	12	450
Minimum	3	8	450
Troškovi merenja po jednom parametru	1200	345,90	

X – broj merenih parametara za gas  
Y – broj merenih parametara za vodu

Funkcija troškova:

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

Granični uslovi i uslovi nenegativnosti:

$$7x + 12y \leq 450$$

$$3x + 8y \leq 450$$

$$x \geq 5, y \geq 10$$

Iz prvog uslova se dobija:

$$7x + 12y = 450$$

$$12y = -7x + 450$$

$$y = -\frac{7}{12}x + \frac{450}{12}$$

$$y = -0,58x + 37,5$$

$$x = 0$$

$$y = -0,58 \cdot 0 + 37,5$$

$$y = 37,5$$

Granični uslov se zapisuje u eksplicitnom obliku jednačine prave. Budući da je svaka prava određena sa dve svoje proizvoljne tačke, uzimaju se proizvoljno vrednosti za x, x=0 i y, y=0 i izračunavaju koordinate dve tačke kroz koje će proći tražena prava.

Radi crtanja ove prave, uzimaju se vrednosti kada je x=0 pa izračunava y, a zatim uzima za y=0 i izračunava koliko je x (Tabela 7.19)

Tabela 7.19: koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 5/10-II

X	0	64,65
Y	37,5	0

Da bi se odredilo kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti x=0 i y=0 (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,58x + 37,5$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 37,5$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Iz drugog uslova se dobija:

$$3x + 8y = 450$$

$$8y = -3x + 450$$

$$y = -\frac{3}{8}x + \frac{450}{8}$$

$$y = -0,375x + 56,25$$

Za izražavanje prave u eksplicitnom obliku primenjuje se isti postupak kao u prethodnom slučaju ( $x=0, y=0$ ) za određivanje koordinata dve proizvoljne tačke sa date prave (tabela 7.20).

Za crtanje ovu prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  nakon čega se izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.20).

Tabela 7.20: koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 5/10-II

X	0	150
Y	56,25	0

Za određivanje kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,375x + 56,25$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 56,25$  što je u ovom slučaju tačno), a to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Za preostala dva uslova crta se vertikalna prava  $x=5$  i horizontalna prava  $y=10$ .

Crtaњem se dobija da je dopustivi skup vrednosti funkcije troškova trougao osenčen na slici, i da su njegove granične tačke A(5,10) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=5$  i  $y=10$ , zatim tačka B(47.14,10) jer se ona nalazi u preseku pravih  $y=10$  i  $y=-0,58x+37,5$

$$y = 10$$

$$y = -0.58x + 37,5$$

$$10 = -0.58x + 37,5$$

$$0.58x = 37.5 - 10$$

$$0.58x = 27.5$$

$$x = \frac{27.5}{0.58}$$

$$x = 47.14$$

I tačka C (5, 34.58) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=5$  i  $y=-0,58x+37,5$

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

$$\begin{aligned}x &= 5 \\y &= -0,58x + 37,5 \\y &= -0,58 \cdot 5 + 37,5 \\y &= -2,9 + 37,5 \\y &= 34,58\end{aligned}$$

Zamenom ove tri tačke u funkciju troškova se dobijaju sledeće vrednosti:

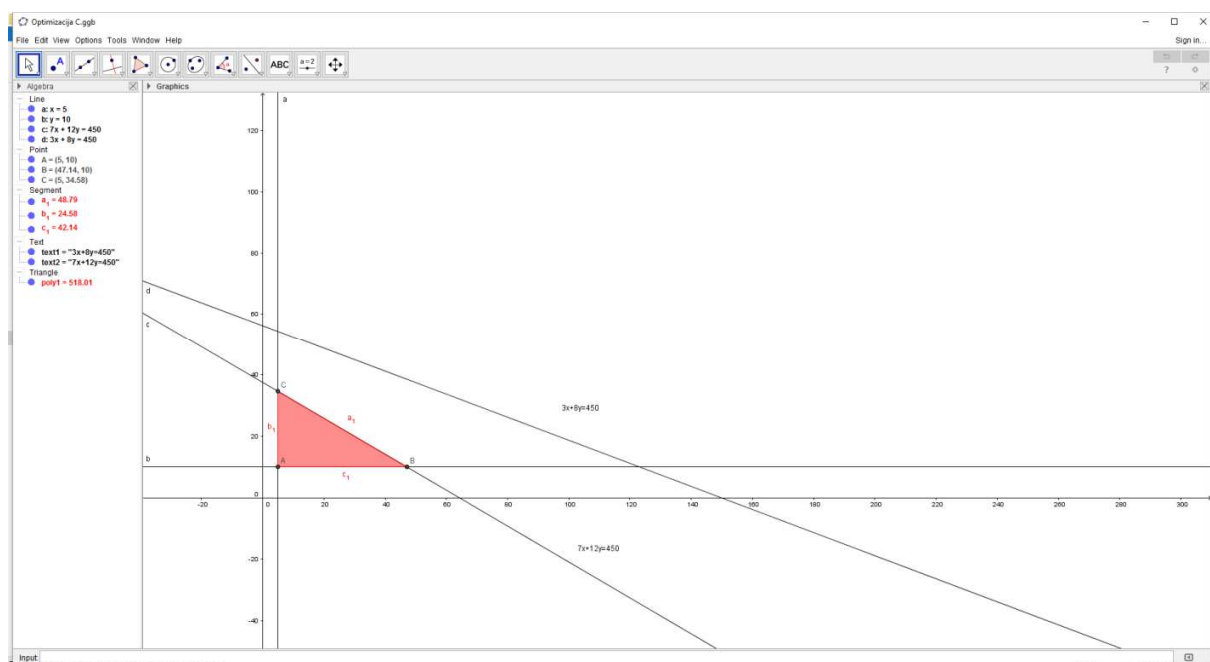
$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

$$F(5, 10) = 1200 \cdot 5 + 345,90 \cdot 10 = 6.000 + 3459 = 9.459,00$$

$$F(47,14, 10) = 1200 \cdot 47,14 + 345,90 \cdot 10 = 56.568 + 3459 = 60.027,00$$

$$F(5, 34,58) = 1200 \cdot 5 + 345,90 \cdot 34,58 = 6000 + 11.961,22 = 17.961,22$$

Odavde se vidi da se minimalni troškovi u iznosu od **9.459,00** dinara za monitoring deponije postižu pri merenju 5 parametra za gas i 10 parametra za vodu.



Dijagram 23: Dopustivi skup rešenja za monitoring 5/10-II

**4. Optimizacija D – Model optimizacije (2/10) – 2 parametara za gas, 10 parametara za vodu, ukupno 12 parametara x 30 biotrnova = 360 pojedinačnih merenja**

U tabeli 7.21 prikazan je model optimizacije koji se odnosi na pretpostavku merenja 2 parametara za gas i 10 parametara za vodu na 30 biotrnova. Za potrebe optimizacije, modifikovani su granični uslovi (ekstremumi funkcije), u cilju ispitivanja posledica promene broja merenja (povećanje ili smanjenje). Iz tih razloga, za svaki model su određena dva granična uslova, jedan koji predstavlja situaciju kada se meri više parametara i za gas i za vodu, i drugi koji predstavlja situaciju kada se meri manje parametara za gas i vodu.

Tabela 7.21: Model optimizacije 2/10

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas (x)	Parametri za vodu (y)	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Minimum	1	8	360
Maksimum	3	12	360
Troškovi merenja po jednom parametru F(x,y)	1200	345,90	

X – broj merenih parametara za gas

Y – broj merenih parametara za vodu

Funkcija troškova:

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

Granični uslovi i uslovi nenegativnosti:

$$1x + 8y \leq 360$$

$$3x + 12y \leq 360$$

$$x \geq 2, y \geq 10$$

Iz prvog uslova se dobija:

$$x + 8y = 360$$

$$8y = -x + 360$$

$$y = -\frac{1}{8}x + \frac{360}{8}$$

$$y = -0,125x + 45$$

$$x = 0$$

$$y = -0,125 \cdot 0 + 45$$

$$y = 45$$

$$y = 0$$

$$0 = -0,125x + 45$$

$$0,125x = 45$$

$$x = \frac{45}{0,125}$$

$$x = 360$$

Granični uslov se zapisuje u eksplicitnom obliku jednačine prave. Budući da je svaka prava određena sa dve svoje proizvoljne tačke, uzimaju se proizvoljno vrednosti za  $x$ ,  $x=0$  i  $y$ ,  $y=0$  i

Radi crtanja ove prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  pa izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.22)

Tabela 7.22: koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 2/10

X	0	360
y	45	0

Da bi se odredilo kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,125x + 45$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 45$  što je u ovom slučaju tačno), a to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Iz drugog uslova se dobija:

$$3x + 12y = 360$$

$$12y = -3x + 360$$

$$y = -\frac{3}{12}x + \frac{360}{12}$$

$$y = -0,25x + 30$$

$$x = 0$$

$$y = -0,25 \cdot 0 + 30$$

$$y = 30$$

$$y = 0$$

$$0 = -0,25x + 30$$

$$0,25x = 30$$

$$x = \frac{30}{0,25}$$

$$x = 120$$

Za izražavanje prave u eksplicitnom obliku primenjuje se isti postupak kao u prethodnom slučaju ( $x=0$ ,  $y=0$ ) za određivanje koordinata dve proizvoljne tačke sa date prave (tabela 7.23).

Za crtanje ovu prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  nakon čega se izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.23).

Tabela 7.23: koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 2/10

X	0	120
y	30	0

Za određivanje kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -0,25x + 30$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 30$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Za preostala dva uslova crta se vertikalna prava  $x=2$  i horizontalna prava  $y=10$

Crtanjem se dobija da je dopustivi skup vrednosti funkcije troškova trougao osenčen na slici, I da su njegove granične tačke A(2,10) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=2$  i  $y=10$ , zatim tačka B (80,10) jer se ona nalazi u preseku pravih  $y=10$  i  $y=-0.25x+30$

$$\begin{aligned}y &= 10 \\10 &= -0,25x + 30 \\0,25x &= 30 - 10 \\0,25x &= 20 \\x &= \frac{20}{0,25} \\x &= 80\end{aligned}$$

I tačka C (2, 29.5), jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=2$  i  $y=-0.25x+30$

$$\begin{aligned}x &= 2 \\y &= -0,25x + 30 \\y &= -0,25 \cdot 2 + 30 \\y &= 29,5\end{aligned}$$

Zamenom ove tri tačke u funkciju troškova se dobijaju sledeće vrednosti

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

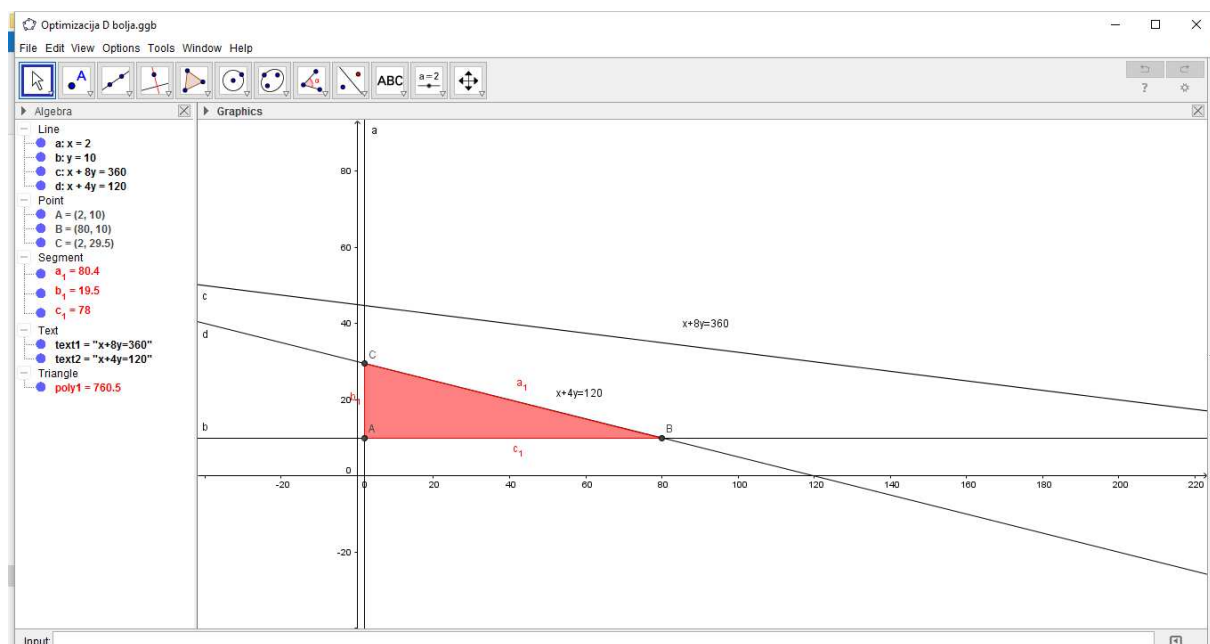
$$F(2, 10) = 1200 \cdot 2 + 345,90 \cdot 10 = 2400 + 3459 = 5.859$$

$$F(80, 10) = 1200 \cdot 80 + 345,90 \cdot 10 = 96000 + 3459 = 99.459$$

$$F(2, 29.5) = 1200 \cdot 2 + 345,90 \cdot 29.5 = 2400 + 10.204,05 = 12.604,05$$

Oдавде se vidi da se minimalni troškovi u iznosu od **5.859** dinara za monitoring deponije postižu pri merenju 2 parametra za gas i 10 parametra za vodu.





Dijagram 24: Dopustivi skup rešenja za monitoring 2/10

Međutim, iako je ovo ekonomski povoljan model, on je metodološki ne ispravan jer srpsko zakonodavstvo propisuje merenje najmanje 3 parametra deponijskog gasa ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  i  $\text{O}_2$ ). Iz tog razloga, ovaj model optimizacije se ne prihvata.

### 5. Optimizacija E – Model optimizacije (3/2) – 3 parametra za gas, 2 parametra za vodu, ukupno 5 parametara x 30 biotrnova = 150 pojedinačnih merenja

U tabeli 7.24 prikazan je model optimizacije koji se odnosi na pretpostavku merenja 3 parametara za gas i 2 parametra za vodu na 30 biotrnova. Za potrebe optimizacije, modifikovani su granični uslovi (ekstremumi funkcije), u cilju ispitivanja posledica promene broja merenja (povećanje ili smanjenje). Iz tih razloga, za svaki model su određena dva granična uslova, jedan koji predstavlja situaciju kada se meri više parametara i za gas i za vodu, i drugi koji predstavlja situaciju kada se meri manje parametara za gas i vodu.

Tabela 7.24: Model optimizacije 3/2

Ekstremumi funkcije	Parametri za gas (x)	Parametri za vodu (y)	Ukupan broj merenja na biotrnovima
Minimum	2	1	150
Maksimum	4	3	150
Troškovi merenja po jednom parametru $F(x,y)$	1200	345,90	

X – broj merenih parametara za gas

Y – broj merenih parametara za vodu

Funkcija troškova:

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

Granični uslovi i uslovi nenegativnosti:

$$2x + 1y \leq 150$$

$$4x + 3y \leq 150$$

$$x \geq 3, y \geq 2$$

Iz prvog uslova se dobija:

$$2x + 1y = 150$$

$$1y = -2x + 150$$

$$y = -\frac{2}{1}x + \frac{150}{1}$$

$$y = -2x + 150$$

$$x = 0$$

$$y = -2 \cdot 0 + 150$$

$$y = 150$$

Granični uslov se zapisuje u eksplicitnom obliku jednačine prave. Budući da je svaka prava određena sa dve svoje proizvoljne tačke, uzimaju se proizvoljno vrednosti za  $x$ ,  $x=0$  i  $y$ ,  $y=0$  i izračunavaju koordinate dve tačke kroz koje će proći tražena prava.

Radi crtanja ove prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  pa izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.25)

Tabela 7.25: koordinate prave dobijene iz prvog uslova modela 3/2

X	0	75
Y	150	0

Da bi se odredilo kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -2x + 150$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 150$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Iz drugog uslova se dobija:

$$4x + 3y = 150$$

$$3y = -4x + 150$$

$$y = -\frac{4}{3}x + \frac{150}{3}$$

$$y = -1,33x + 50$$

$$x = 0$$

$$y = -1,33 \cdot 0 + 50$$

$$y = 50$$

$$y = 0$$

$$0 = -1,33x + 50$$

$$1,33x = 50$$

$$x = \frac{50}{1,33}$$

$$x = 37,60$$

Za izražavanje prave u eksplicitnom obliku primenjuje se isti postupak kao u prethodnom slučaju ( $x=0$ ,  $y=0$ ) za određivanje koordinata dve proizvoljne tačke sa date prave (tabela 7.26).

Za crtanje ovu prave, uzimaju se vrednosti kada je  $x=0$  nakon čega se izračunava  $y$ , a zatim uzima za  $y=0$  i izračunava koliko je  $x$  (Tabela 7.26).

Tabela 7.26: koordinate prave dobijene iz drugog uslova modela 3/2

X	0	37,60
Y	50	0

Za određivanje kojoj od dve poluravni koje određuje ova prava pripada skup rešenja, zamenjuju se vrednosti  $x=0$  i  $y=0$  (koordinatni početak) u nejednakost  $y \leq -1,33x + 50$  i ukoliko navedene vrednosti zadovoljavaju nejednakost ( $0 \leq 50$  što je u ovom slučaju tačno), to znači da se skup rešenja nalazi u istoj poluravni kojoj pripada i koordinatni početak, odnosno tačka (0,0).

Za preostala dva uslova crta se vertikalna prava  $x=3$  i horizontalna prava  $y=2$

Crtaњem se dobija da je dopustivi skup vrednosti funkcije troškova trougao ošćen na slici, i da su njegove granične tačke A (3,2) jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=3$  i  $y=2$ , zatim tačka B (36,2) jer se ona nalazi u preseku pravih  $y=2$  i  $y=-1,33x + 50$

$$y = 2$$

$$2 = -1,33x + 50$$

$$1,33x = 50 - 2$$

$$1,33x = 48$$

$$x = \frac{48}{1,33}$$

$$x = 36$$

I tačka C (3, 46), jer se ona nalazi u preseku pravih  $x=3$  i  $y=-1,33x+50$

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

$$\begin{aligned}x &= 3 \\y &= -1,33x + 50 \\y &= -1,33 \cdot 3 + 50 \\y &= 46\end{aligned}$$

Zamenom ove tri tačke u funkciju troškova se dobijaju sledeće vrednosti

$$F(x, y) = 1200x + 345,90y$$

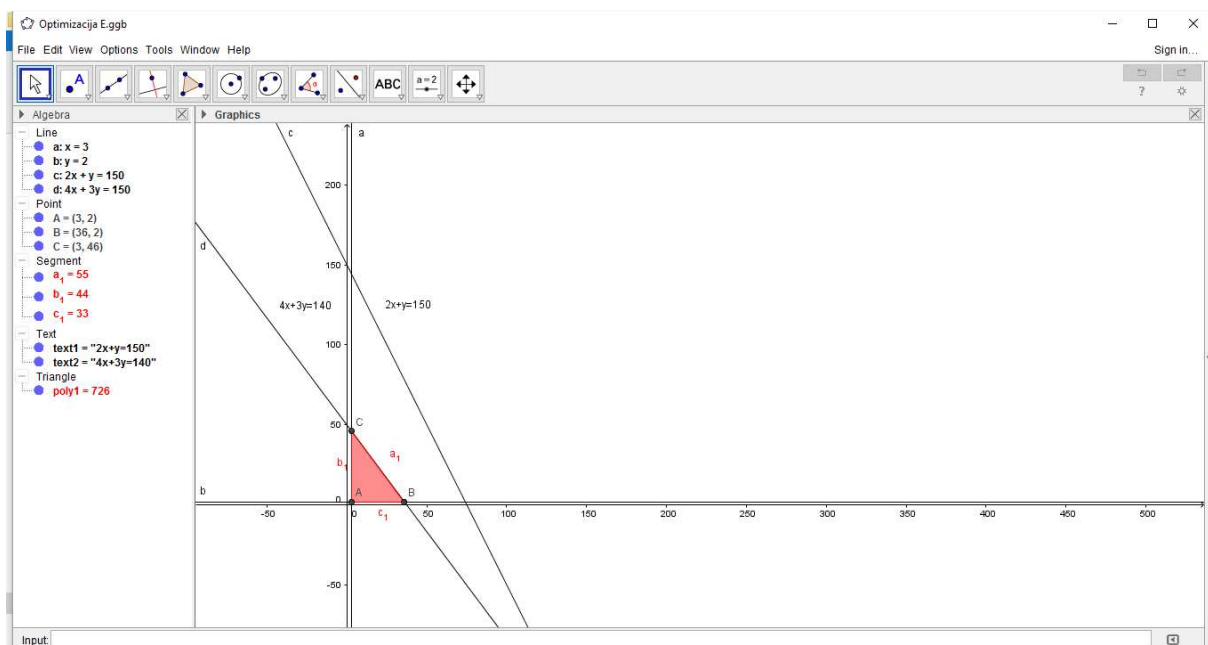
$$F(3, 2) = 1200 \cdot 3 + 345,90 \cdot 2 = 3600 + 691,8 = 4.291,8$$

$$F(36, 2) = 1200 \cdot 36 + 345,90 \cdot 2 = 43.200 + 691,8 = 43.891,8$$

$$F(3, 46) = 1200 \cdot 3 + 345,90 \cdot 46 = 3600 + 15.911,4 = 19.511,4$$

Odavde se vidi da se minimalni troškovi u iznosu od **4.291,8** dinara za monitoring deponije postižu pri merenju 3 parametra za gas i 2 parametra za vodu.

Međutim, iako je ovo ekonomski najpovoljniji model, on nije prihvatljiv sa aspekta uslova a to je da monitoring procedne vode i u budućnosti daje što preciznije podatke o fizičko – hemijskim, mehaničkim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.



Dijagram 25: Dopustivi skup rešenja za monitoring 3/2

#### 7.4 Rezime optimizacije monitoringa

Optimizacija je sprovedena upotrebom matematičkog alata, grafičke metode linearnog programiranja, uz upotrebu softverskog alata *GeoGebra* kojom je prikazana optimalna varijanta monitoringa deponijskog gasa i procedne vode. Rezultati svakog modela pojedinačno su prikazani u tabeli 7.27

Tabela 7.27: Rezultati optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode

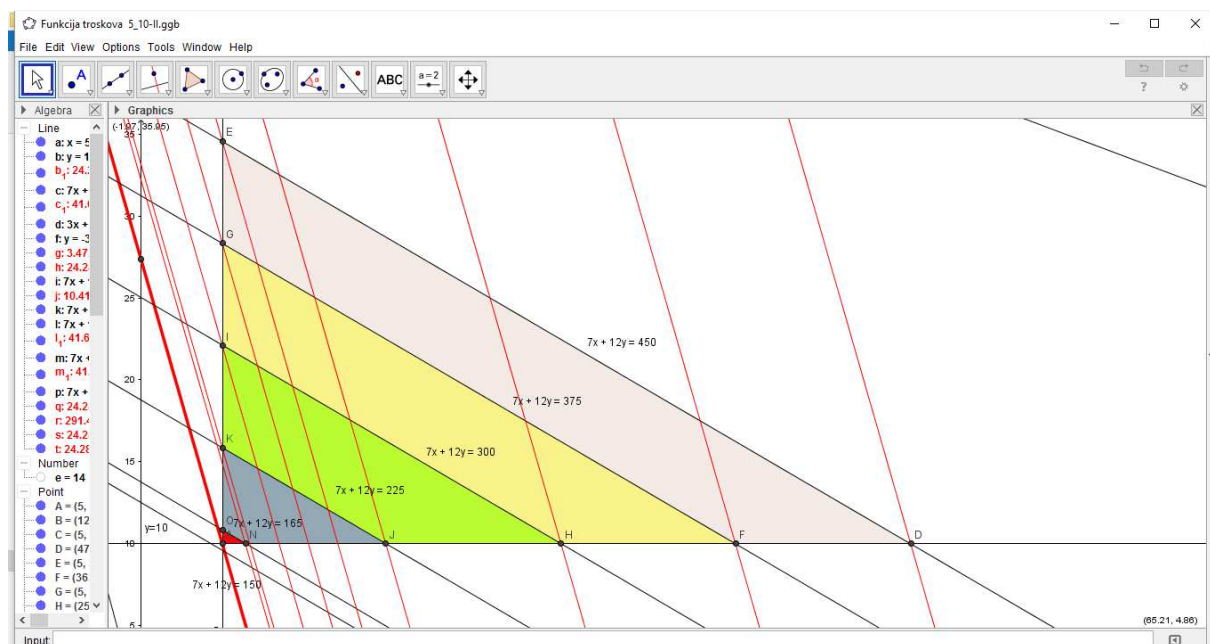
R.br.	Model optimizacije	Broj parametara deponijskog gasa	Broj parametara procedne vode	Ukupan broj merenja	Cena merenja (din)	Ocena prihvatljivosti
1.	A	5	23	<sup>(30)</sup> 840	13.955,70	Da
2.	B	5	10	<sup>(5)</sup> 75	-	Ne
<b>3.</b>	<b>C</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<sup>(30)</sup> <b>450</b>	<b>9.459,00</b>	<b>Da</b>
4.	D	2	10	<sup>(30)</sup> 360	5.859,00	Ne
5.	E	3	2	<sup>(30)</sup> 150	4.291,80	Ne

Analizom prethodno dobijenih rezultata, utvrđeno je da je najoptimalniji broj parametara koji treba da se mere, uzimajući u obzir i realne uslove iz prakse i normativna ograničenja, 5 parametara za gas i 10 parametara za procednu vodu. Međutim, za potrebe disertacije je sprovedeno još jedno istraživanje koje se odnosilo na ispitivanje optimalnosti broja merenja za model C. Model C je razložen na 6 submodela ( $C_0 - C_5$ ) u kojima je broj merenja varirao (od 450 do 150) i posmatrane su dopustive oblasti rešenja i pripadajuće minimalne vrednosti funkcije troškova. Rezultati ovog dela istraživanja su prikazani u tabeli 7.28:

Tabela 7.28: Prikaz submodela modela 5/10

R.br	Submodel Modela C	Broj parametara deponijskog gasa	Broj parametara procedne vode	Broj biotrnova	Broj merenja	Cena
1.	$C_0$	5	10	10	150	-
<b>2.</b>	<b><math>C_1</math></b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>165</b>	<b>9.459,00</b>
3.	$C_2$	5	10	15	225	<b>9.459,00</b>
4.	$C_3$	5	10	20	300	<b>9.459,00</b>
5.	$C_4$	5	10	25	375	<b>9.459,00</b>
6.	$C_5$	5	10	30	450	<b>9.459,00</b>

Analizom rezultata iz tabele, primećeno je da se minimalna vrednost funkcije troškova ne menja, bez obzira na broj merenja, što ne može biti slučaj u realnoj praksi. Da bi objasnili ovakve rezultate, svi slučajevi su zbirno obrađeni u *GeoGebra*-i i posmatrane su dopustive oblasti i minimumi funkcije troškova, što je prikazano na Dijagramu 26.



Dijagram 26: Funkcije troškova i dopustive oblasti modela 5/10

Na dijagramu 26, crvenom bojom je označena funkcija troškova, a dopustive oblasti su označene različitim bojama, za svaki broj merenja posebno. Sa slike je jasno uočljivo da se površina dopustive oblasti smanjuje, proporcionalno sa smanjenjem broja merenja. **Najmanja površina dopustive oblasti koja postoji je za slučaj gde je broj merenja jednak 165 (submodel C<sub>1</sub>) i označena je crvenom bojom.** Posmatrajući vrednosti funkcije troškova, sa slike se vidi da je njen minimum u tački A (5,10) koja je zajednička za sve dopustive oblasti. Dopustive oblasti su pozicionirane tako, da se poklapaju u tački A (5,10) i da je svaka sledeća podskup prethodne. To je upravo i razlog zbog čega svaki od testiranih slučajeva ima isto rešenje (minimalna cena merenja je 9.459,00 dinara).

Ovakav rezultat ovog dela istraživanja predstavlja još jedan doprinos ove disertacije. Naime, ovo je pokazalo da iako broj merenja zadovoljava uslove iz modela i ima minimalnu funkciju troškova, to ne mora da znači da je to i najmanji broj merenja. Ovo istraživanje potvrđuje postojanje **graničnog broja merenja** (u ovom slučaju 165, odnosno merenje 15 parametara na 11 biotrnova) za koje postoji dopustiva oblast rešenja i minimalna funkcija troškova.

Posmatrajući iz ugla realne prakse na terenu, ovaj zaključak je od izuzetnog značaja, jer ukazuje na **potrebu pronalaženja graničnog broja merenja** a ne samo broja merenja koji će zadovoljavati uslove postavljenog modela. Na ovaj način, broj merenja, a samim tim i troškovi merenja i uloženi rad se dodatno optimizuju i prilagođavaju uslovima iz realne prakse.

## 8. Identifikacija parametara monitoringa procedne vode i deponijskog gasa

Monitoring deponijskog gasa je u nacionalnom zakonodavstvu delimično tačno definisan – obavezno je merenje najmanje 3 parametra (metan CH<sub>4</sub>, ugljen-dioksid CO<sub>2</sub> i kiseonik O<sub>2</sub>), a ostali parametri se mere po iskazanoj potrebi (ugljen monoksid CO, vodonik H<sub>2</sub> i drugi), što se definiše dozvolom za odlaganje otpada, koju izdaje nadležni državni organ.

Monitoring procedne vode vrši se na reprezentativnom broju uzoraka na svakoj tački na kojoj se tečnost kontrolisano odvodi sa lokacije. Merenje zapremine i sastava tj. kvalitativnih i kvantitativnih parametara procedne vode vrši se jednom mesečno u toku eksploatacije deponije. Navedena merenja vrše se i po prestanku eksploatacije deponije svakih šest meseci prvih pet godina, a zatim jednom godišnje do odumiranja deponije.

Međutim, kvalitativno određivanje parametara za sprovođenje monitoringa je potpuno posebno pitanje, naročito kod parametara procedne vode jer GeoGebra ne raspoznaje parametre (pH, BPK, HPK, itd.), već nepoznate veličine x i y, funkciju troškova, granične uslove, dopustiv i ne dopustiv skup rešenja. Zakonodavac je propisao da se monitoring procedne vode vrši samo na onim lokacijama zatvorenih deponija na kojima postoji sistem za sakupljanje procedne vode, što implicira da se na lokacijama zatvorenih deponija – smetlišta ne sprovodi monitoring, jer sistema za evakuaciju i sakupljanju procednih voda nema, bar ne na lokaciji koja je bila predmet ovog istraživanja. Takođe, zakonodavac ni u jednom ni u drugom slučaju nije definisao parametre procedne vode koji se trebaju meriti, već je navedeno da će se broj i vrsta parametara definisati dozvolom u odnosu na sastav odloženog otpada, tako da mogu varirati.

Drugim rečima, postavlja se pitanje koje parametre procedne vode treba meriti na način opisan optimizovanim modelom uz zadovoljenje uslova optimizacije, a to je da monitoring procedne vode i u budućnosti daje što preciznije podatke o fizičko – hemijskim, mehaničkim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji, kao i zakonskih propisa.

Na osnovu dosadašnjih istraživanja iz oblasti analize fizičko-hemijskih karakteristika procedne vode sa deponije, kao i na osnovu optimalnog obima parametara dobijenog istraživanjem sprovedenom u ovom radu, preporučuje se obavezno merenje 10 parametara i to (Tabela 8.1):

Tabela 8.1: Parametri procedne vode koji se predlažu za obavezno merenje

Red.br	Naziv parametra	Jedinica mere
1	Količina procedne vode	m <sup>3</sup>
2	Elektroprovodljivost	μS/cm
3	pH	

4	BPK	mg/l
5	HPK	mg/l
6	TOC (ukupni organski ugljenik)	mg/l
7	Fosfati	mg/l
8	Ukupni azot ( $N_{tot}$ )	mg/l
9	Nitrati ( $NO_3^-$ )	mg/l
10	Amonijak (preko amonijum jona $NH_4^+$ )	mg/l

- 1. Količina procedne vode** (u  $m^3$ ) u zatvorenoj deponiji se polako smanjuje tokom vremena jer se troši u fizičko-hemijskim reakcijama koje se odigravaju u deponiji. Međutim, ukoliko monitoring pokaže povećanje količine procedne vode u deponiji, to znači da je došlo do fizičkog oštećenja višeslojne pokrivke otpada i prodora atmosferalija u unutrašnjost zatvorene deponije. Tada se mora izvršiti detaljna inspekcija i monitoring zaštitnih slojeva kao i monitoring stabilnosti tela deponije (*Yildiz i Rowe, 2004*).
- 2. Provodljivost** (u  $\mu S/cm$ ) je električno svojstvo vode. Provodljivost zavisi od vrste jona prisutnih u vodi, od njihove koncentracije, pokretljivosti i naelektrisanja, kao i od temperature na kojoj se određuje provodljivost. Poznato je da elektroprovodljivost raste za 2% sa povećanjem temperature za 1 stepen Celzijusa. Takođe, veća koncentracija suspendovanih materija u procednoj vodi smanjuje zavisnost provodljivosti od temperature (*Grellier i dr., 2006*).
- 3. pH vrednost** procedne vode se kreće u granicama 4,5 – 9 (*Christensen i dr., 2001*). pH vrednost mlađe procedne vode je manja od 6,5, dok je vrednost pH starije procedne vode veća od 7,5 (*Abbas i dr., 2009*). Inicijalna, odnosno početna niska vrednost pH je praćena visokim koncentracijama isprarljivih masnih kiselina (*Bohdziewitz i Kwarciak, 2008*). Stabilizovana vrednost pH je uglavnom konstantna u kasnijim fazama razgradnje otpada i ona se kreće u opsegu od 7,5 – 9.
- 4.  $BPK_5$  i  $HPK$**  (u  $mg/L$ ). Na samom početku acidogene biodegradacije, vrednosti  $BPK_5$  i  $HPK$  su visoke (*Jones i dr., 2006*). Vrednosti za mlađu procednu vodu se kreću u opsegu  $BPK_5$  (4000 – 13000  $mg/L$ ) i  $HPK$  (30000 – 60000  $mg/L$ ) (*Foo i Hameed, 2009*). Opadanje vrednosti  $BPK_5$  i  $HPK$  je povezano sa povećanjem starosti otpada. Tokom metanogene faze, organsko opterećenje procedne vode se smanjuje radom metanogenih bakterija, pre svega *methanogenic archaea* i u tom slučaju koncentracija ispravljivih masnih kiselina takođe opada, što za posledicu ima uspostavljanje odnosa  $BPK_5/HPK$  ispod 0,1 (*Kurniawan i dr., 2004*).
- 5. Ukupni organski ugljenik** (*Total organic carbon – TOC*, u  $mg/L$ ). Monitoring opasnog otpada, procedne vode na deponiji, kontaminacije površinske i podzemne vode je neophodna aktivnost kada se radi sa opasnim otpadom ili otpadom koji ima karakteristike opasnog otpada (*Levin i Kroemer, 1989*). Monitoring ukupnog organskog ugljenika (TOC – total organic carbon) je bitan, jer povećane vrednosti TOC ukazuju na mogućnost kontaminacija podzemnih voda od strane procednih voda sa deponije sintetičkim organskim jedinjenjima (*Barcelona, 1984*).
- 6. Nutrijenti** (Amonijum jon  $NH_3$ , nitrati  $NO_3$ , fosfor P, u  $mg/L$ ) imaju važnu ulogu u biohemijskim procesima, pri čemu su i neka organska jedinjenja azota u vodi od izuzetnog značaja (*Kukučka M i Kukučka N, 2013*). U poređenju sa rastvorljivim



organskim materijama i jedinjenjima, emisija rastvorljivog azota iz otpada koji se raspada u procednu vodu traje duži vremenski period (*Kulikowska i Klimiuk, 2008*). Kao rezultat toga, koncentracija amonijačnog azota pokazuje tendenciju rasta tokom povećanja starosti otpada, usled hidrolize i fermentacije azotnih frakcija biodegradabilnog otpada (*Abbas i dr., 2009, op.cit.*). Amonijačni jon se smatra dugoročnim zagađivačem zbog njegove izražene stabilnosti u anaerobnim uslovima (*Umar i dr., 2010, op.cit.*). Srednja vrednost amonijačnog jona se kreće u opsegu 500 – 1500 mg/L tokom perioda od 3 – 8 godina nakon odlaganja otpada i ostaje da bude u tom opsegu narednih 50 godina (*Kulikowska i Klimiuk, 2008, op.cit.*). Prema drugim podacima (*Lee i Zhao, 2002*), amonijačni azot u stabilizovanoj metanogenoj procednoj vodi se može kretati u opsegu vrednosti od 3000 – 5000 mg/L. Amonijačni azot je veoma zagađujuć i toksičan za žive organizme (*Kurniawan i dr., 2006, op.cit.*). Visoke koncentracije amonijačnog jona podstiču rast algi i pojavu eutrofizacije usled smanjenja rastvorenog kiseonika u vodi (*Kurniawan i dr., 2006, op.cit.*). Takođe, usled svoje toksičnosti i karakteristika, može biti smetnja u sprovođenju tretmana procedne vode na deponiji (*Deng i Englehardt, 2007*). Fosfor je kontrolni nutrijent u procednoj vodi. Prisustvo fosfora i njegovih jedinjenja u anaerobnim uslovima stimuliše rast bakterija neophodnih za razgradnju otpada, pospešuje slabljenje i smanjenje prisustva zagađujućih materija u procednoj vodi i ubrzava stabilizaciju odnosno krajnju razgradnju otpada (*Dong i dr., 2013*).

Broj i vrsta parametara definisani kroz istraživanje sprovedeno u disertaciji najpribližnije oslikava stanje u kojem se nalazi zatvorena deponija i pruža precizne podatke o fizičko – hemijskim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji. Navedeni parametri bi u dozvoli za odlaganje otpada bili navedeni kao parametri koji se moraju obavezno meriti nakon zatvaranja deponije u vremenskom periodu koji je predvideo zakonodavac.

Sprovođenje monitoringa prisustva metala i teških metala (arsen As, barijum Ba, aluminijum Al, gvožđe Fe, hrom Cr, nikl Ni, kadmijum Cd, olovo Pb, živa Hg, vanadijum V, molibden Mo i drugi), kao i ostalih specifičnih jedinjenja (hloridi Cl, sulfati SO<sub>4</sub>, karbonati CO<sub>3</sub>, fenoli i drugi) u procednoj vodi može da predloži operater na osnovu opravdane sumnje na njihovo prisustvo ili saznanja kojim raspolaže u vezi sastava otpada, starosti otpada i načinu njegovog odlaganja i tretiranja.

## 9. Ekonomski efekti predloženog modela optimizacije

Optimizovani model monitoringa koji definiše minimalni broj merenja na svim bitrnovima, pored toga što pruža pouzdanu informaciju o stanju deponije i njenim potencijalnim rizicima po životnu sredinu, obezbeđuje i monitoring koji je dugoročno ekonomski prihvatljiv za operatera. S obzirom na to obim monitoringa otpadnih voda nije precizno zakonski definisan, kao i na to da je u ovom radu predložen optimizovan model monitoringa, u daljem tekstu je prikazan i uporedni prikaz dugoročnog ekonomskog doprinosa obima definisanog optimizovanog modela sa obimom monitoringa koji je do sada bio primenjivan u praksi (Tabela 9.1).

Tabela 9.1: Uporedni prikaz troškova monitoringa procedne vode i deponijskog gasa

Parametar		Procedna voda*	Deponijski gas**
Cena 1 parametra		345,90 dinara	1200 dinara
Broj merenja po bitrnu tokom perioda od 30 godina	I faza	10 (svakih 6 meseci tokom 5 godina)	20 (svakih 6 meseci tokom 10 godina)
	II faza	25 (godišnje tokom 25 godina)	10 (svake druge godine tokom 20 godina)
Ukupan broj merenja/biotrn tokom 30 godina		35	30
<b>Neoptimizovani model (A)</b>			
Cena analize/biotrn za jedno merenje		7.955,70 dinara (23 parametra)	6000 dinara (5 parametara)
Cena analize za merenje na 30 biotrnova		7.955,70 x 30 = 238.671,00 dinara	6000,00 x 30 = 180.000,00
Ukupna cena za monitoring za 30 biotrnova tokom 30 godina		238.671,00 x 35 = <b>8.353.485,00 dinara</b>	180.000,00 x 30 = <b>5.400.000,00 dinara</b>
<b>Ukupna cena monitoringa deponijskog gasa i procedne vode (30 biotrnova u toku 30 godina)</b>		<b>13.753.485 dinara</b>	
<b>Optimizovani model (C)</b>			
Cena analize/biotrn za jedno merenje		3459,00 dinara (10 parametara)	6000 dinara (5 parametara)
Cena analize za merenje na 11 biotrnova (C model)		3459,00 x 11 = 38.049,00	6.000,00 x 11 66.000,00
Ukupna cena za monitoring za 30 biotrnova tokom 30 godina		<b>38.049,00 x 35 = 1.331.175,00 dinara</b>	<b>66.000,00 x 30 1.980.000,00</b>
<b>Ukupna cena monitoringa deponijskog gasa i procedne vode (30 biotrnova u toku 30 godina)</b>		<b>3.311.175,00 dinara</b>	
*Tabela 8.1			
** CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> S			

Polazeći od cenovnika akreditovane laboratorije Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, cena merenja deponijskog gasa jednog parametra deponijskog gasa iznosi 1200 dinara, što za 5 parametara (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S) dovodi do cene od 6000,00 dinara po jednom biotrnju. S druge strane cena pojedinačnog parametra procedne vode iznosi 345,90 dinara, što za 23 parametra procedne vode iznosi 7.955,70 dinara. Ovaj broj parametara se u stručnim krugovima naziva „velika analiza“ (Tabela 3.7).

Ukoliko bi se monitoring procedne vode i deponijskog gasa sprovodio neoptimizovanim modelom tj. **modelom A**, pri čemu se vrši merenje 5 parametara deponijskog gasa i 23 parametara procedne vode na lokaciji zatvorene deponije u Zrenjaninu na svih 30 biotrnova, ukupni troškovi za monitoring procedne vode u periodu od 30 godina bi iznosili oko 8.353.485,00 dinara a troškovi monitoringa deponijskog gasa 5.400.000,00 dinara, što ukupno iznosi 13.753.485, 00 dinara.

S druge strane, ukoliko bi se monitoring procedne vode i deponijskog gasa sprovodio optimizovanim modelom tj. **modelom C**, pri čemu se vrši merenje 5 parametara deponijskog gasa i 10 parametara procedne vode na lokaciji zatvorene deponije u Zrenjaninu na svih 11 biotrnova, ukupni troškovi za monitoring procedne vode u periodu od 30 godina bi iznosili oko 1.331.175,00 dinara, a troškovi monitoringa deponijskog gasa 1.980.000,00 dinara, što ukupno iznosi 3.311.175, 00 dinara. Obzirom da je **optimizovani model C granični model**, ove troškove treba prihvatiti kao **minimalno potrebne troškove za sprovođenje monitoringa**.

Poredeći ova dva modela i dva finansijska efekta, vidi se da su troškovi neuporedivo manji ako se primeni optimizovani model C. Međutim, ovde nisu računati oni troškovi koji proizilaze iz namere operatera na deponiji da ispita sadržaj metala i teških metala u procednoj vodi, kao i hlorida, sulfata, nitrita, fenola i drugih jedinjenja. Merenje tih parametara će povećati cenu monitoringa procedne vode.

## 10. Legislativni efekti optimizovanog modela

### 10.1 Opšti sadržaj dozvole za upravljanje otpadom

U skladu sa članom 64. Zakona o upravljanju otpadom, dozvola za upravljanje otpadom se izdaje za aktivnosti :

1. sakupljanja otpada,
2. transporta otpada i
3. tretman otpada, u okviru kojeg se izdaje:
  - dozvola za skladištenje otpada,
  - dozvola za ponovno iskorištenje otpada i
  - dozvola za odlaganje otpada.

Dozvola sadrži:

- 1) podatke o lokaciji;
- 2) tehničke i tehnološke uslove za rad postrojenja;
- 3) metode koje se koriste za svaku pojedinačnu operaciju;
- 4) podatke o poreklu, odredištu i tretmanu otpada;
- 5) podatke o vrsti i količini otpada koji se ponovno iskorišćava ili odlaže;
- 6) procedure za kontrolu rada postrojenja i monitoring životne sredine;
- 7) mere zaštite od udesa, uključujući uslove za sprečavanje udesa i smanjenje posledica udesa, mere zaštite od požara, kao i procedure za zatvaranje postrojenja;
- 8) visinu finansijske garancije ili drugog instrumenta za pokriće troškova rada postrojenja;
- 9) obavezu dostavljanja najmanje jednom godišnje podataka o vrsti i količinama tretiranog, odnosno ponovno iskorišćenog i odloženog otpada, kao i o rezultatima monitoringa.

Ako se dozvola izdaje za odlaganje otpada na deponiju, dozvola sadrži i podatke o:

- 1) klasi deponije (za inertni, opasni ili neopasni otpad);
- 2) proceduri za prijem otpada;
- 3) drugim postrojenjima na lokaciji i ukupnom kapacitetu deponije;
- 4) tehničkoj dokumentaciji za izgradnju deponije i o postrojenju i opremi koja će se koristiti;

- 5) operativnom planu sa rasporedom i dinamikom punjenja deponije;
- 6) zahtevima za pripremu deponije za odlaganje, operacije odlaganja i monitoring rada deponije, kontrolne procedure, uključujući i interventne planove;
- 7) zahtevima za zatvaranje deponije i operacijama naknadnog održavanja deponije posle zatvaranja;
- 8) visini finansijske garancije ili drugog instrumenta za pokriće troškova rada deponije i naknadnog održavanja lokacije posle zatvaranja.

Bliži sadržaj dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada definisan je Pravilnikom o sadržini i izgledu dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada („Službeni glasnik RS“, broj 96/2009).

U *Prilogu 3* je prikazano rešenje nadležnog državnog organa o izdavanju dozvole za odlaganje otpada na deponiju neopasnog otpada na lokaciji operatera.

U skladu sa navedenim Zakonom i Pravilnikom, rešenje nadležnog državnog organa sadrži sledeće:

- 1) **OPŠTI PODACI**, koji sadrži opšte podatke o lokaciji, opšte podatke o postrojenju i napomene o poverljivosti podataka i informacija
- 2) **DELATNOST ZA KOJU JE ZAHTEV PODNET I OCENA ZAHTEVA**, koji sadrži kratak opis delatnosti za koju je zahtev podnet, opis lokacije na kojoj se delatnost obavlja, postojeće dozvole, odobrenja i saglasnosti i glavne uticaji na životnu sredinu (vazduh, buka, voda, zemljište, otpadne vode, komunalni otpad, zračenje) i komentare sa mišljenjima
- 3) **USLOVI ZA RAD**, koji sadrži podatke o važnosti dozvole i roku za podnošenje zahteva za obnavljanje i/ili reviziju uslova u dozvoli, radu i upravljanju otpadom u postrojenju, lokaciji postrojenja i infrastrukturi, upravljanju otpadom, merama zaštite životne sredine i kontrola zagađivanja, sprečavanju udesa i odgovor na udes, definitivni prestanak rada postrojenja ili njegovih delova, izveštavanje, netehnički prikaz podataka na kojima se zahtev zasniva.

U tački 5.4, navodi se da je “operater dužan da:

- sprovodi i ažurira radni plan postrojenja za upravljanje otpadom,
- vodi preciznu evidenciju preuzetog otpada,
- vodi preciznu evidenciju odloženog otpada,
- vrši kontrolno merenje moguće emisije zagađujućih materija u skladu sa posebnim propisima,
- vrši kontrolu buke na granici sa najbližim objektima u skladu sa posebnim propisima,

- vrši uzorkovanje i merenje u deponijskoj laboratoriji za određena svakodnevna ispitivanja, odnosno da uzorkovanje i merenje vrši u akreditovanoj laboratoriji u određenim vremenskim razmacima ili učestalije, ako podaci iz deponijske laboratorije pokažu da je došlo do bilo kakve akcidentne situacije ili odstupanja od nultog stanja određenih parametara,
- sprovodi postupak smanjenja količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponiju i pridržava se propisanih stopa smanjenja odlaganja u skladu sa posebnim propisima,
- sprovodi monitoring rada deponije u toku aktivne faze deponije i to meteoroloških parametara, površinskih, podzemnih i procednih voda, emisije gasova, količine padavinskih voda, stabilnosti tela deponije, zaštitnih slojeva, pedoloških i geoloških karakteristika, u skladu sa uredbom,
- po zatvaranju deponije obezbedi održavanje i zaštitu zatvorene deponije, kao i kontrolu i monitoring zatvorene deponije (pasivna faza deponije), u skladu sa uredbom,
- pri zatvaranju deponije obezbedi nesmetano funkcionisanje sistema za otplinjavanje (biotrnova), sve dok za tim postoji potreba, u skladu sa uredbom,
- obezbedi rekultivaciju deponije posle njenog zatvaranja i vrši stručni nadzor nad deponijom, odnosno lokacijom u periodu od najmanje 30 godina, sa ciljem smanjenja rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu,
- omogućiti kontrolu nadležnog inspektora za zaštitu životne sredine nad lokacijama, objektima, sprovedenim procedurama i navedenom dokumentacijom“.

Iz navedenog citata i iz *Priloga 3* se vidi da u rešenju o dozvoli koju izdaje nadležni državni organ nisu navedeni parametri monitoringa procednih voda a ni obim monitoringa nije preciziran.

## **10.2 Predloženi sadržaj dozvole za odlaganje otpada primenom optimizovanog modela**

Na osnovu optimizovanog modela monitoringa zatvorene deponije, predlaže se dopuna tačke 5.4 u alineji 11 dozvole za odlaganje otpada, na sledeći način:

„Operater na deponiji je dužan da:

- po zatvaranju deponije obezbedi monitoring parametara procednih voda na deponiji i to obavezno sledećih parametara: količina procedne vode, elektroprovodljivost, pH vrednost, BPK<sub>5</sub>, HPK, ukupni organski ugljenik, fosfati, ukupni azot, nitrati, amonijak,
- po zatvaranju deponije, obezbedi monitoring deponijskog gasa i to metana, ugljen dioksida, vodonik sulfida, ugljen monoksida i kiseonika, u skladu uredbom,
- obezbedi monitoring parametara deponijskog gasa na minimalno 11 biotrnova, ako je ukupan broj biotrnova instalisanih na zatvorenoj deponiji manji ili jednak od 30,
- obezbedi monitoring navedenih parametara procedne vode ukoliko je na zatvorenoj deponiji instalisan sistem za prikupljanje procednih voda, na svakoj tački na kojoj se tečnost kontrolisano odvodi sa lokacije, u skladu sa uredbom,
- obezbedi monitoring navedenih parametara procedne vode, ukoliko iz bilo kog razloga nije u mogućnosti da iz postojećeg sistema za kontrolisano odvođenje procedne vode,

na minimalno 11 biotrnova, ako je ukupan broj biotrnova instalisanih na zatvorenoj deponiji manji ili jednak od 30,

Sprovođenje monitoringa prisustva metala i teških metala (arsen, barijum, aluminijum, gvožđe, hrom, nikl, kadmijum, olovo, živa, vanadijum, molibden i drugi) i ostalih specifičnih jedinjenja (hloridi, sulfati, karbonati, fenoli i drugi) u procednoj vodi može da predloži operater na osnovu opravdane sumnje na njihovo prisustvo ili saznanja kojim raspolaže u vezi sastava otpada, starosti otpada i načinu njegovog odlaganja i tretiranja.

Ukoliko je broj instalisanih biotrnova na zatvorenoj deponiji veći od 30, operater srazmerno tome uvećava broj biotrnova na kojima sprovodi monitoring kako bi dobio reprezentativni uzorak“.

Navedeni dodatak u tački 5.4 bi pojasnio i precizirao monitoring procedne vode i definisao optimalni (u ovom slučaju minimalni, odnosno granični) obim monitoringa procedne vode i deponijskog gasa na zatvorenim metanogenim deponijama.

Da bi bilo zakonskog osnova za dodavanje ovih odredbi u Rešenja o izdavanju dozvole za odlaganje otpada na deponiju neopasnog otpada na lokaciji operatera, neophodno je izmeniti važeću **Uredbu o odlaganju otpada na deponije** u Prilogu 6 (pod 3 – Monitoring procedne vode), gde će se precizirati parametri procedne vode koji se obavezno moraju meriti i parametri koji se mogu meriti na zahtev operatera. Izmenama navedene Uredbe je neophodno preciznije pojasniti obim monitoringa koji se zahteva od operatera na lokaciji zatvorene deponije. U ovoj disertaciji je prikazan samo jedan od mogućih načina za definisanje kako parametara monitoringa deponijskog gasa i procedne vode, tako i obima monitoringa.

### **10.3 Predloženi način monitoringa zatvorene nesanitarne deponije – smetlišta primenom optimizovanog modela**

Monitoring zatvorenih nesanitarnih deponija komunalnog otpada – smetlišta je takođe veoma važan segment upravljanja otpadom i njegovog uticaja na životnu sredinu, imajući u obzir da se na njima uglavnom nije odlagao samo komunalni otpad, već i opasan otpad, medicinski otpad, otpad iz posebnih tokova otpada, sa mnogo negativnijim uticajem na životnu sredinu nego komunalni otpad.

Na osnovu optimizovanog modela monitoringa zatvorene deponije, predlaže se dopuna tačke II. **Pravilnika o metodologiji za izradu projekata sanacije i remedijacije** u delu – Sanacija i remedijacija postojećih nesanitarnih deponija komunalnog otpada – smetlišta u delu A. Za nesanitarne deponije – smetlišta koja se konačno zatvaraju, gde tačka 10. treba da glasi:

„predvideti monitoring stabilnosti, emisije gasova, kapaciteta obodnih kanala i procedne vode. Monitoring stabilnosti i kapaciteta obodnih kanala vršiti u skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponije. Monitoring deponijskog gasa i procedne vode vršiti na sledeći način:

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

- po zatvaranju deponije, obezbedi monitoring deponijskog gasa i to metana, ugljen dioksida, vodonik sulfida, ugljen monoksida i kiseonika,
- obezbediti monitoring parametara deponijskog gasa na minimalno 11 biotrnova, ako je ukupan broj biotrnova instalisanih na zatvorenoj deponiji manji ili jednak od 30,
- po zatvaranju deponije obezbediti monitoring parametara procednih voda na deponiji i to obavezno sledećih parametara: količina procedne vode, elektroprovodljivost, pH vrednost, BPK<sub>5</sub>, HPK, ukupni organski ugljenik, fosfati, ukupni azot, nitrati, amonijak,
- obezbedi monitoring navedenih parametara procedne vode na minimalno 11 biotrnova, ako je ukupan broj biotrnova instalisanih na zatvorenoj deponiji manji ili jednak od 30.

Sprovođenje monitoringa prisustva metala i teških metala (arsen, barijum, aluminijum, gvožđe, hrom, nikel, kadmijum, olovo, živa, vanadijum, molibden i drugi) i ostalih specifičnih jedinjenja (hloridi, sulfati, karbonati, fenoli i drugi) u procednoj vodi može da predloži operater na osnovu opravdane sumnje na njihovo prisustvo ili saznanja kojim raspolaže u vezi sastava otpada, starosti otpada i načinu njegovog odlaganja i tretiranja“.



## 11. Zaključak

Emisije deponijskog gasa i procedne vode predstavljaju jedne od najznačajnijih negativnih uticaja na životnu sredinu sa odlagališta otpada. Taj uticaj pogotovo dobija na intenzitetu kada se radi o bivšim smetlištima (tzv. „divljim deponijama“) na kojima je u dugom vremenskom periodu zajednički i nekontrolisano odlagan otpad različitog porekla i sastava. Takva mešavina otpada tokom procesa aerobnog i anaerobnog raspadanja snažno utiče na životnu sredinu i predstavlja veliki rizik za sve biotske i abiotske aspekte na lokalnom i globalnom nivou.

Monitoring emisije deponijskog gasa i procedne vode nakon zatvaranja deponija predstavlja jednu od najvažnijih, najobimnijih i najskupljih aktivnosti u okviru monitoringa zatvorenih deponija koji traje najmanje 30 godina po zatvaranju deponije. Procenjeno je da samo za monitoring deponijskog gasa i procedne vode u skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponije, u narednih 30 godina potrebno izdvojiti oko 14 miliona dinara, ne uključujući ostale aktivnosti koje su sastavni deo integralnog monitoringa zatvorene deponije.

Srpsko zakonodavstvo u oblasti upravljanja otpadom, koje je u procesu usaglašavanja sa evropskim zakonodavstvom, u oblasti monitoringa deponijskog gasa u aktivnoj fazi deponije predviđa obavezno merenje najmanje 3 parametra sa najnegativnijim uticajem na životnu sredinu (metan, ugljen-dioksid i kiseonik) dok se ostali parametri (vodonik-sulfid i drugi) mere po potrebi, u skladu sa dozvolom za odlaganje otpada koju izdaje nadležni državni organ. U pasivnoj fazi deponije, meri se svih 5 parametara deponijskog gasa. Kod monitoringa procedne vode situacija je delimično drugačija. Parametri koji obavezno moraju biti predmet monitoringa kod zatvorene deponije nisu tačno definisani, već se odgovornost za njihovo praćenje usmerava na nadležni državni organ koji će parametre definisati dozvolom za odlaganje otpada, na osnovu dostupnih podataka o sastavu otpada kojima raspolaže operater na deponiji. Takođe, važno je istaći da normativna rešenja ne propisuju sprovođenje monitoringa procedne vode kod zatvorene deponije kod koje ne postoji sistem za sakupljanje procedne vode.

Praksa u oblasti sprovođenja monitoringa uočava i ukazuje na neke nedefinisanosti i nepreciznosti. Naime, u Uredbi o odlaganju otpada na deponije, navedeno je da parametri za merenje sastava procedne vode koji se analiziraju mogu varirati u zavisnosti od sastava deponovanog otpad i oni se određuju dozvolom koju izdaje nadležni državni organ. Međutim, u praksi, u dozvolama za odlaganje otpada na deponije koju izdaju nadležni državni organi se navodi da operater na deponiji „po zatvaranju deponije obezbeđuje održavanje i zaštitu zatvorene deponije, kao i kontrolu i monitoring zatvorene deponije (pasivna faza deponije), u skladu sa Uredbom“. Uočena kontradiktornost može dovesti do metodološki netačnog monitoringa, dobijanja podataka koja ne prikazuju realno stanje u kojem se deponija nalazi i negativne ekonomske efekte po onoga ko sprovodi monitoring.

Predmet istraživanja ove disertacije odnosio se na identifikaciju ekonomičnog i pravilno dimenzionisanog modela monitoringa deponijskog gasa i procedne vode koji će obezbeđivati

pouzdanе podatke o fizičko – hemijskim, mehaničkim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.

Cilj i zadatak istraživanja bio je da se definiše model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode sa zatvorene deponije koji će smanjiti broj parametara koji se mere tj. identifikovati minimalni broj parametara koji se moraju meriti, smanjiti obim monitoringa tako što će identifikovati minimalni (granični) broj merenja koje treba sprovesti i smanjiti troškove procesa monitoringa tako što će identifikovati ekonomski prihvatljivu opciju monitoringa u zavisnosti od prethodna dva kriterijuma.

U okviru disertacije, analizirana je lokacija nekadašnje neuređene deponije a sada zatvorene deponije u Zrenjaninu na kojoj su vršena merenja koncentracije komponenta deponijskog gasa i procedne vode standardizovanim metodama. Nakon sprovedenog eksperimentalnog dela, podaci su sistematizovani i izvršena je komparativna analiza dobijenih rezultata. Nakon toga, razvijeno je nekoliko modela optimizacije pomoću grafičke metode linearnog programiranja uz korišćenja softvera Geogebra.

Linearno programiranje primenjeno u ovoj disertaciji je prikazivalo funkciju cilja (troškova) koja se mora optimizovati – u ovom slučaju minimizirati uz jasno definisane granične uslove tj. ograničenja i nenegativne varijable odlučivanja. Sofver Geogebra je pokazao svoju primenljivost u rešavanju dvodimenzionalnog problema odlučivanja i identifikovao oblasti dopustivih rešenja i granična rešenja za modele koju su bili predmet ispitivanja.

Takođe, u disertaciji su identifikovani su parametri procedne vode čijim bi merenjem i kontinualnim monitoringom mogli dobiti vrlo precizne podatke o fizičko – hemijskim, mehaničkim i biološkim procesima koji se odvijaju u zatvorenoj metanogenoj deponiji.

Rezultati modela optimizacije ukazuju na postojanje granične vrednosti funkcije, odnosno graničnog broja merenja, za svaki predloženi model optimizacije izradom submodela, ispod kojeg nema dopustivih rešenja odnosno da dopustiva oblast u kojoj bi se nalazila rešenja ovog linearnog problema ne postoji.

U disertaciji je prikazan optimalni model monitoringa baziran na merenjima sprovedenim u Zrenjaninu koji je usklađen sa normativnim aktima srpskog zakonodavstva, iskustvima iz prakse i teorije iz proučavanih i citiranih radova. Navedeni optimizovani model ostvaruje uštedu za operatera, kako u finansijskim sredstvima, tako i u angažovanom vremenu za sprovođenje monitoringa.

U disertaciji je prikazan ekonomski efekat modela optimizacije iz kojeg se vidi ostvarivanje značajne uštede graničnog rešenja u odnosu na rešenje koje podrazumeva puni monitoring na 30 biotrnova.

Oblast primenljivosti ovog modela je dosta velika, ali ima i svoja ograničenja. Može se koristiti u procesu optimizacije kod sprovođenja optimizacije monitoringa zatvorene sanitarne

deponije ali i na zatvorenim nesanitarnim deponijama – nekadašnjim smetlištima, naročito u slučajevima kada se raspolaže sa nedovoljno finansijskih sredstava, ili kada se želi meriti najmanje dozvoljeni – granični broj parametara. Međutim, ukoliko bi u model uneli treću nepoznatu veličinu, učinili bi model trodimenzionalnim, što smanjuje efikasnost i preciznost Geogebre.

Ovakva istraživanja su po prvi put sprovedena na ovim prostorima i čine poseban doprinos multidisciplinarnoj oblasti inženjerstva zaštite životne sredine koja se ogleda u mogućoj aplikativnosti optimizovanog modela za rešavanje ne samo realno praktičnih i prisutnih problema, već i ekonomskih aspekata, kao i aspekata zaštite životne sredine koji se odnose na obezbeđivanje kvalitetne osnove za proučavanje kompleksnih i nepredvidivih degradacionih procesa unutar tela zatvorene deponije kojoj tokom aktivne faze nije obezbeđeno adekvatno upravljanje.

## 12. Literatura

- **Abbas A.A., Jingsong G., Ping L.Z., Ya P.Y., Al-Rekabi W.S. (2009);** *Rewiev on landfill leachate treatments*, Journal of Applied Sciences Research, 5, 5344 – 545.
- **Abu-Daabes M., Qdais H., Alsyouri H. (2013);** *Assessment of Heavy Metals and Organics in Municipal Solid Waste Leachates from Landfills with Different Ages in Jordan*, Journal of Environmental Protection, 4, 344-352.
- **Abushamala M., Basri N., Kadhun A. (2009);** *Review on Landfill Gas Emission to the Atmosphere*, European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X, 427-436.
- **Abushamala M., Basri N., Irwan D., Younes M. (2014);** *Methane Oxidation in Landfill Cover Soils: A Review*, Asian Journal of Atmospheric Environment, 8, 1 – 14.
- **Abushamala M., Basri N., Elfithri R. (2013);** *Assesment of methane emission and oxidation at Air Hitam Landfill site cover soil in vet tropical climate*, Environmental Monitoring and Assessment, 185, 9967 – 9978.
- **Adekunle K.F., Okolie J.A. (2015);** *A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion*, Advances in Bioscience and Biotechnology, 6, 205 – 201.
- **Allen M., Braithwaite A., Hills C. (1997);** *Trace Organic Compounds in Landfill Gas at Seven U.K. Waste Disposal Sites*, *Environmental Science and Technology*, 31,1054–1061.
- **Al-Muzaini S. M. (2009);** *A comparative study of the characterization of landfill leachate at the dumping sites in Kuwait*, Journal of Food, Agriculture & Environment, 7, 679- 683
- **Al Seadi T., Ruiz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwaldes T., Volke S., Janssers R. (2008);** *Handbook of Biogas*, University of Southern Denmark, ISBN 978-87-992962-0-0.
- **Andreottola G. i Cannas P. (1992);** *Chemical and biological characteristics of landfill leachate*. [In:] *Landfilling of waste: leachate*, Elsevier Applied Science,65-88
- **Aslanzadeh S. (2014);** *Pretreatment of Cellulosic waste and High Rate Biogas production*, Doctoral Thesis on Resource Recovery, University of Boras, Boras, 1 – 50.
- **Augenstein D., Pacey J. (1996);** *Landfill Gas Energy Utilization: Technology Options and Case Studies*, US EPA, Office of Air and Radiation, EPA – 600/R – 92 – 116, 1 – 4.
- **Baedecker M.J., Black W. (1979);** *Hidrogeological Processes and Chemical Reactions at a Landfill*, US Geological Survey, 17, 429 – 437.
- **Baccini P. (1988);** *“The Landfill - Reactor and Final Storage*, Swiss Workshop on Land Disposal of Solid Wastes Gerzensee, Springer – Verlag.
- **Barcelona M.J. (1984);** *TOC Determinations in Ground Water*, Ground Water, 22, 18 – 24.
- **Baras J, Veljković V., Popov S., Povrenović D., Lazić M., Zlatković B. (2009);** *Osnovi bioprocenog inženjerstva*, Univerzitet u Nišu, Tehnološki fakultet Leskovac, ISBN 978-86-82367-68-0.
- **Barlaz M. A., Ham R. K., Schaefer D., Isaacson R. (1990);** *Methane production from municipal refuse: A review of enhancement techniques and microbial dynamics*, Critical Reviews in Environmental Control,19, 557-584.
- **Barlaz M. A., Ham R. K. (1990);** *Leachate and gas generation*, Geotechnical Practice for Waste Disposal, David E. Daniel, ISBN 0-412-35170-6, 113 – 134.

- **Barlaz M. A., Kjeldsen P., Gabr M.A. (2002);** *A Critical Evaluation of Factors Required to terminate the Post-Closure Monitoring Period at Solid Waste Landfills*, *Environmental Science and Technology*, 36, 3457 – 3464.
- **Blackall L., Silvey P. (1994);** *Microbiology of a Landfill*, *Chemical Engineering in Australia*, 19, 11 – 17.
- **Bohdziewicz J., I Kwarciak A. (2008);** *The application of hybrid system UASB reactor – RO in landfill leachate treatment*, *Desalination*, 222, 128 – 134.
- **Brown K., Maunder D. (1994);** *Using landfill gas: A UK perspective*, *Renewable Energy*, 5, 774–781.
- **Brummeler E., Huslhoff P.L., Dolfig J., Lettinga G., Zehnder A. (1985);** *Methanogenesis in an upflow anaerobic sludge blanket reactor at pH 6 on an acetate – propionate mixture*, *Applied and Environmental Microbiology*, 49, 1472 – 1477.
- **Bhalla B., Saini M.S., Jha M.K. (2012);** *Characterization of Leachate from Municipal Solid Waste (MSW) Landfilling Sites of Lidhiana, India: A Comparative Study*, *International Journal of Engineering Research and Applications*, ISSN: 2248-9622, 2, 732 – 745.
- **Bhambulkar A.V. (2011);** *Effects of Leachate Recirculation on a Landfill*, *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, 11, 286 – 291.
- **Chan A.S.K., Parkin T.B. (2000);** *Evaluation of potential inhibitors of methanogenesis and methane oxidation in a landfill cover soil*, *Soil Biology & Chemistry*, 32, 1581 – 1590.
- **Chan G., Chu L., Wong M. (2002);** *Effects of leachate recirculation on biogas production from landfill co-disposal of municipal solid waste, sewage sludge and marine sediment*, *Journal of Environmental Pollution*. 118, 393-399.
- **Chugh S., Chynoweth D.P., Clarke W., Pullammanappallil P., Rudolph V.(1999);** *Degradation of unsorted municipal solid waste by a leach-bed process*, *Bioresource Technology*, 69,103–115.
- **Christensen T. H., Kjeldsen P. (1989);** *Basic biochemical processes in landfills. IN: Sanitary Landfilling: Process, Technology, and Environmental Impact. Academic Press, New York, 29-49.*
- **Christensen T. H., Kjeldsen, P. (1995);** *Landfill Emissions and Environmental Impact: An Introduction.*, *Proceedings of Sardinia 95 - Fifth International Landfill Symposium*, 3, 3 – 12.
- **Christensen T.H., Kjeldsen P., Lindhardt B. (1996);** *Gas-Generating Processes in Landfills*, *Landfilling of Waste: Biogas*, ISBN 0 419 19400 2, 25-50.
- **Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L., Christensen J.B., Baun A., Albrechtsen H.J., Heron G. (2001);** *Biogeochemistry of landfill leachate plumes*, *Applied Geochemistry*, 16, 659 – 718,
- **Christensen T.H. (2010);** *Solid Waste Technology & Management*, Volume 2, ISBN 978-1-4051-7517-3, 843,
- **Christensen, T. H., Kjeldsen, P. (1995);** *Landfill Emissions and Environmental Impact: An Introduction.*, *Proceedings of Sardinia 95 - Fifth International Landfill Symposium*, 3, 3 – 12.
- **Cunha M. C., Nunes L. M. (2011);** *Groundwater Characterization, Management and Monitoring*, ISBN 978-1-84564-134-4

- **Daud Z., Aziz H. A., Adlan M. N., Hung Y.-T. (2009);** *Application of combined filtration and coagulation for semi-aerobic leachate treatment*, International Journal of Environment and Waste Management, 4, 457–469.
- **Deng Y., Englehardt J.D. (2007);** *Electrochemical oxidation for Landfill Leachate Treatment*, Waste Management, 27, 1 – 12.
- **Dong J., Sheng H., Wen C., Hong M., Jiang H. (2013);** *Effects of phosphorous on the stabilization of solid waste in anaerobic landfill*, Process Safety and Environmental Protection, 91, 483 – 488.
- **Dugošija Đ. (2011);** *Linearno programiranje*, ISBN 978-86-17-17051-4
- **Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council (2004);** on the landfill of waste, Official Journal of the European Communities
- **Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council (2008);** on waste and repealing certain Directives, Official Journal of the European Communities
- **Diković Lj. (2009);** *Applications Geogebra into Teaching Some Topics of Mathematics at the College Level*, Computer Science and Information Systems, 6, 191 – 203.
- **Dragojlović N., Mišćević T. (2010);** *Vodič kroz EU politike – životna sredina*, ISBN 978-86-82391-61-6.
- **Ehrig H.J., (1984);** *Treatment of sanitary landfill leachate: Biological treatment*, Waste Management Research, 2, 131 – 152.
- **Ehrig H.J., (1989);** *Water and Element Balances of Landfills, The Landfill As A Reactor Biological And Chemical Processes*, Lecture Notes in Earth Sciences, 83 – 115.
- **Erses S., Onay T.T., (2003);** *In situ heavy metal attenuation in landfills under methanogenic conditions*, Journal of Hazardous Materials, 99, 159–175.
- **Farquhar G.J., Rovers F.A. (1973);** *Gas production during refuse decomposition*, Air, Water and Soil Pollution, 2, 483-495.
- **Farquhar G.J. (1988);** *Leachate: Production and Characterisation*, Canadian Journal of Civil Engineering, 16, 317 – 325.
- **Filipović D., Obradović-Arsić D. (2012);** *Strateški pristup planiranju upravljanja otpadom u Republici Srbiji – stanje I perspective*, Glasnik srpskog geografskog društva, 92, 143-156.
- **Foo K.Y., Hameed B.H. (2009);** *An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process*, Journal of Hazardous Materials, 171, 54 – 60.
- **Foul A. A., Aziz H. A., Isa M. H., Hung Y.-T. (2009);** *Primary treatment of anaerobic landfill leachate using activated carbon and limestone: batch and column studies*, International Journal of Environment and Waste Management, 4, 282–298.
- **FTN – Fakultet tehničkih nauka (2016);** *Cenovnik akreditovane Laboratorije za monitoring deponija, otpadnih voda i vazduha.*
- **Gerardi M.H. (2003);** *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, ISBN 0-471-20693-8.
- **Giusti L. (2009),** *A review of waste management practices and their impact on human health*, Waste Management 29, 2227–2239.
- **Grellier S., Robain H., Bellier G., Skhiri N. (2006);** *Influence of temperature on the electrical conductivity of leachate from municipal solid waste*, Journal of Hazardous Materials B137, 612 – 617.

- **Gurijala J., Sa P., Robinson J.A. (1997);** *Statistical Modeling of Methane Production from Landfill Samples*, Applied and Environmental Microbiology, 63, 3797 – 3803.
- **Ham R. K., Barlaz M. A. (1989);** *Measurement and prediction of landfill gas quality and quantity.* Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. Academic Press, 155-166.
- **He R., Shen D.S. (2006);** *Nitrogen removal in the bioreactor landfill system with intermittent aeration at the top of landfilled waste*, Journal of Hazardous Materials, 136, 784–790.
- **Hilger H., Humer M. (2003);** *Biotic landfill cover treatment for mitigating methane emissions*, Environmental Monitoring and Assessment, 84, 71 – 84.
- **Hodson E. L., Martin D., Prinn R. G. (2010);** *The Municipal Solid Waste Landfill as a Source of ozone-depleting Substances in the United States and United Kingdom*, Atmospheric Chemistry and Physics Journal, 10, 1899–1910.
- **Huang G., Baetz B. W., Patry G.G (1992);** *A Grey Linear Programming Approach for Municipal Solid Waste Management Planning Under Uncertainty*, Civil Engineering Systems, 9, 319 – 335.
- **Huber-Humer M., Gebert J., Hilger H. (2008);** *Biotic systems to mitigate landfill methane emissions*, Waste Management and Research 26, 33 – 46.
- **Huber-Humer M. (2004);** *International research into landfill gas emissions and mitigation strategies – IWWG working group “CLEAR”*, Waste Management, 24, 425 – 427.
- **Humer M., Lechner P. (1999);** *Alternative approach to elimination of greenhouse gases from old landfills*, Waste Management and Research, 17, 443 – 452.
- **Isci A., Demirel G.N. (2007);** *Biogas production potential from cotton wastes*, Renewable Energy, 32, 750 – 757.
- **Jones D.L., Williamson K.L., Owen A.G. (2006);** *Phytoremediation of landfill leachate*, Waste Management, 26, 825 – 837,
- **Kaiser H. M., Messer K. D. (2011);** *Mathematical Programming for Agricultural, Environmental and Resource Economics*, ISBN: 978-0-470-59936-5.
- **Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A., Baun A., Ledin A., Christensen T, (2002);** *Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review*, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32(4), 297-336.
- **Kolomejceva – Jovanović L. (2010);** *Hemija i zaštita životne sredine*, ISBN 978-86-80067-25-4, 219 – 220, Beograd (Srbija).
- **Kondo Y., Nakamura S. (2005);** *Waste Input – Output Linear Programming Model with its Application to Eco-Efficiency Analysis*, Economic Systems Research, 17, 393 – 408
- **Kukučka M., Kukučka N. (2013);** *Fizičko-hemijski sastav svetskih prirodnih voda*, ISBN: 86-7401-254-X, 192 – 204, Beograd (Srbija).
- **Kulikowska D., Klimiuk E. (2008);** *The effect of landfill age on municipal leachate composition*, Bioresource Technology, 99, 5981 – 5985.
- **Kurniawan T.A., Lo W.H., Chan G.Y.S. (2006);** *Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate*, Journal of Hazardous Materials B, 129, 80 – 100
-

- **Lee G.F., Jones – Lee A. (1996);** *Dry Tomb Landfills*, Waste Management, 6, 82,89.
- **Lee A.H., Nikraz H., Hung Y.T (2010);** *Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality*, International Journal of Environmental Science and Development,1, 347 – 350.
- **Lee H.Z., Zhao Q.L. (2002);** *Map precipitation from landfill leachate and seawater bittern waste*, Environmental Technology, 23, 989 – 1000.
- **Levine A.D., Kroemer L.R. (1989);** *TOC and TOX as Indicator Parameters for Organic Contaminants in Landfill Leachate*, Waste Management & Research, 7, 337 – 349.
- **Letić D. (2011);** *Operaciona istraživanja*, ISBN 978-86-7672-147-4, 32 – 33, Zrenjanin (Srbija).
- **Lord M. S., Bazardeh S. M., Khoshnood S., Mahmoodi N., Rasht-Abadi F. Q., Mohammadi M.O (2013);** *Linear Programming*, Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business, 4, 701 – 705.
- **Lou X.F., Nair J. (2009);** *The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A Review*, Bioresource Technology, 100, 3792 – 3798.
- **Marjanović, N. (2012);** *Matematička optimizacija tehničkih sistema*, 530577-Tempus-1-2012-1-RS-Tempus-JPCR, Improvement of Product Development Studies in Serbia and Bosnia and Herzegovina, web: <http://iprod.masfak.ni.ac.rs>.
- **Marriott N., Gravani R. (2006);** *Principles of Food Sanitation*, ISBN 978-0-387-25085-4, 25 – 69.
- **Ministry of Environment (2001);** *A Guide for the Management of Closing and Closed Landfills in New Zealand*, ISBN 0-478-24021-X.
- **Mohajeri S., Aziz H. A., Isa M. H., Zahed M. A., Adlan M. N., (2010);** *Statistical optimization of process parameters for landfill leachate treatment using electro-Fenton technique*, Journal of Hazardous Materials, 176, 749–758.
- **Musemić R., Maretić – Tiro M. (2013);** *GIS and Linear programming in Waste Management System Planning*, Journal of Trends in the Development of Machinery, 17, ISSN 2303 – 4009 (online), 129 – 132.
- **Naranjo N.M., Meima J.A., Haarstrick A., Hempel D.C. (2004);** *Modelling and experimental investigation of environmental influences on the acetate and methane formation in solid waste*, Waste Management, 24, 763 – 773.
- **Nikolić M. (2015);** *Uporedna analiza izabranih pokretača integrisanog sistema upravljanja otpadom na bazi pokazatelja u opštinama u Srbiji*, doktorska disertacija, Univerzitet „Union- Nikola Tesla“ Beograd, Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine
- **Opricović S. (1998);** *Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu*, Građevinski fakutet Univerziteta u Beogradu, ISBN: 86-80049-82-4.
- **Palaniandy P., Adlan M. N., Aziz H. A., Murshed M. F., (2010);** *Application of dissolved air flotation (DAF) in semi-aerobic leachate treatment*, Chemical Engineering Journal, 157, 316–322.
- **Perez J., Munoz – Dorado J., Martinez J. (2002);** *Biodegradation and biological treatment of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview*, International Microbiology, 5, 53 – 63.
- **Price G.A., Barlaz M.A., Hater G.R. (2003);** *Nitrogen management in bioreactor landfills*, Waste Management, 23, 675–688.



- **Regulation 166/2006 of the European Parliament and of the Council UN (2006);** *Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers*, Official Journal of the European Union.
- **Reeb J., Leavengood S. (1998);** Using the Graphical Method to Solve Linear Programs, Performance Excellence in the Wood product Industry, EM8719-E
- **Reinhart D.R., McCreanor P.T., Townsend T.G. (2002);** *The bioreactor: its status and future*, Waste Management Research, 20, 172–186.
- **Rivas F.J., Beltran F., Carvalho F., Acedo B., Gimeno A. (2004);** *Stabilized leachate: sequential coagulation-flocculation + chemical oxidation process*, Journal of Hazardous Materials, 116, 80 – 100.
- **Robinson H. (2007);** *The Composition of Leachates from Very Large Landfills: An International Review*, CWRM, 8, 19-32.
- **Saquin J.M., Chanton J.P., Yazdani R., Barlaz M.A., Scheutz C., Blake D.R., Imhoff P.T. (2014);** *Assessing methods to estimate emissions of non-methane organic compounds from landfills*, Waste Management, 34(11) 2260-2270.
- **Saha R. A., Ayub A. M., Tarmizi R. A. (2010);** *The Effects of GeoGebra on Mathematics Achievement: Enlightening Coordinate Geometry Learning*, International Conference on Mathematics Education Research.
- **Seadi A., Ruiz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwaldes T., Volke S., Janssens R (2008);** *Handbook of Biogas*, Univerity of Southern Denmark, ISBN 978-87-992962-0-0.
- **Sizirici Y. B. (2009);** *Risk Based Post Closure Care Analysis for Florida Landfills*, Doctoral Dissertation, Florida International University.
- **Sormunen K., Ettala M., Rintala J. (2008);** *Internal leachate quality in a municipal solid waste landfill: Vertical, horizontal and temporal variation and impacts of leachate recirculation*, Journals of Hazardous Materials, 160, 601 – 607.
- **Sormunen K., Ettala M., Rintala J. (2008);** *Detailed internal characterization of two Finnish landfills by waste sampling*, Waste Management, 28, 151 – 163.
- **Stern J.C., Chanton J., Abichou T., Powelson D., Yuan L., Escoriza S., Bogner J. (2007);** *Use o biologically active cover to reduce landfill methane emissions and enhance methane oxidation*, Waste Management, 27, 1248 – 1258.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/2009;** Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 36/2009, 88/2010 i 14/2016;** Zakon o upravljanju otpadom.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 92/10;** Uredba o odlaganju otpada na deponije.
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 96/2009;** *Pravilnik o sadržini i izgledu dozvole za skladištenje, tretman i odlaganje otpada.*
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 135/04, 36/09, 36/09 – dr. zakon, 72/09 – dr. zakon i 43/2011 – odluka US, 14/2016;** Zakon o zaštiti životne sredine
- **Službeni glasnik RS“ broj 29/2010;** *Strategija upravljanja otpadom Republike Srbije*
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 33/2016;** *Pravilnik o načinu i uslovima za merenje količine i ispitivanje kvaliteta otpadnih voda i sadržini izveštaja o izvršenim merenjima.*

- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 67/11 i 48/12;** *Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje.*
- **Službeni glasnik Republike Srbije, broj 74/2015;** Pravilnik o metodologiji za izradu projekata sanacije I remedijacije
- **Stanimirović, P.S., Milovanović, G.V., (2002);** *Simbolička implementacija nelinearne optimizacije,* Elektronski fakultet u Nišu, ISBN 86-80135-67-4
- **Stegmann R., Heyer K., Cossu R. (2005);** *Leachate Treatment,* Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.
- **Stevanović-Čarapina H., Mihajlov A. (2011);** *Uticao otpada na urbano stanovništvo – doprinos uspostavljanju uzročno – posledičnih veza,* Reciklaža i održivi razvoj, 4, 20-28.
- **Sun W., Barlaz M.A (2015);** *Measurement of chemical leaching potential of sulfate from landfill disposed sulfate containing wastes,* Waste Management, 36, 191 – 196.
- **Sun Y., Sun X., Zhao Y.(2011);** *Comparison of semi-aerobic and anaerobic degradation of refuse with recirculation after leachate treatment by aged refuse bioreactor,* Waste Management 31, 1202–1209.
- **Tascione V., Mosca R., Raggi A. (2014);** *LCA and Linear Programming for the Environmental Optimization of Waste Management Systems: A Simulation,* Pathways to Environmental Sustainability, Methodologies and Experiences, ISBN 978-3-319-03825-4.
- **Triassi M., Alfano R., Illario M., Nardone A., Caporale O., P. Montuori (2015);** *Environmental Pollution from Illegal Waste Disposal and Health Effects: A Review on the “Triangle of Death”,* International Journal of Environmental Research and Public Health, ISSN 1660-4601, 12, 1216-1236.
- **Umar M., Aziz H.A., Yusoff M.H. (2010);** *Variability of Parameters Involved in Leachate Pollution Index and Determination of LPI from Four Landfills in Malaysia,* International Journal of Chemical Engineering, 2010.
- **USEPA – United States Environmental Protection Agency (1988);** *Project Summary, Municipal Landfill Gas Condensate,* EPA/600/S2 87/090.
- **USEPA – United States Environmental Protection Agency (2005);** *Guidance for Evaluating Landfill Gas Emissions from Closed or Abandoned Facilities,* EPA-600/R.
- **USEPA – United States Environmental Protection Agency (2005);** *Road Map for Long-Term Monitoring Optimization,* EPA 542-R-05-003.
- **UNEP – United Nations Environmental Programme (2010);** *Waste and Climate Change, Global trends and strategy Framework.*
- **UN ECE – United Nation Economic Commission for Europe (2008);** *Guidance on Implementation of the Protocol on Pollutant Release and Transfer Registers.*
- **Vujić G. (2009);** *Glavni projekat sanacije, rekultivacije i zatvaranja deponije u Zrenjaninu,* Fakultet tehničkih nauka, Univerziteta u Novom Sadu.
- **Vujić G., Brünner P. (2009);** *Održivo upravljanje otpadom,* ISBN 978-86-7892-187-2, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, strana 124.
- **Vujić G., Batinić B., Stanisavljević N., Ubavin D., Živančev M. (2010);** *A Fast Method for the Analysis of Municipal Solid Waste in Developing Countries – Case Study of Serbia,* Environmental Engineering and Management Journal, 9, 1021-1029.

- **Vujić G., Jovičić N., Petrović-Đurović M., Ubavin D., Nakomčić B., Jovičić G., Gordić D. (2010);** *Influence of Ambience Temperature and Operational-Constructive Parameters on Landfill Gas Generation – Case Study Novi Sad*, Thermal Science, 14, 555-564.
- **Vujić G., Ubavin D., Stanisavljević N., Batinić B. (2012);** *Upravljanje čvrstim otpadom u zemljama u razvoju*, ISBN 978-86-7892-411-8.
- **Xu L., Lin X., Amen J., Welding K., McDermitt D. (2014);** *Impact of changes in barometric pressure on landfill methane emission*, Global Biogeochemical Cycles, 28, 679 – 695.
- **Yang L., Chen Z., Yang J., Gao X. (2014);** *Removal of volatile fatty acid in landfill leachate by the microwave-hydrothermal method*, Desalination and water treatment 52(22-24).
- **Yildiz E.D., Rowe R.K. (2004);** *Modeling leachate quality and quantity in municipal solid waste landfill*, Waste Management and Research, ISSN 0734 – 242X.
- **Wall D., Zeiss C. (1995);** *Municipal Landfill Biodegradation and Settlement*, Journal of Environmental Engineering, 121 (3), 214 – 224.
- **Williams P.T. (2005);** *Waste Treatment and Disposal*, England, ISBN 0-470-84912-6, 171 – 244.
- **White J.K., Beaven R.P., Powrie W., Knox K. (2011);** *Leachate recirculation in a landfill: some insights obtained from the development of a sample 1-D model*, Waste Management, 31, 1210–1221.
- **Šan I., Onay T. (2001);** *Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation*, Journal of Hazardous Materials B87, 259–271.

# ***PRILOZI***

## Prilog 1

### REZULTATI MONITORINGA PROCEDNE VODE I DEPONIJSKOG GASA

JUL 2013.

Rezultati merenja deponijskog gasa iz jula 2013. godine

Tabela P.1a: Rezultati merenja deponijskog gasa iz jula 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1.	B4	57,7	32,2	0	2	9
2.	B10	53,9	28,2	1,6	0	3
3.	B15	59,6	33,1	0	0	2
4.	B23	55,6	36,4	0	4	9
5.	B28	55,6	34,5	0	3	39

Rezultati merenja procedne vode iz jula 2013. godine

Tabela P.1b: Rezultati merenja procedne vode iz jula 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	21,8	21,1	21,3	21,7	22,9
2	pH	EPA 150.1	-	7,87	7,26	7,38	7,58	7,68
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	28,5	10,7	18,1	17,50	35,5
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,60	0,09	0,26	0,28	0,60
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	4010	720	1480	2770	2680
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	1480	210	420	880	980
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	6.15	12.86	26.50	12.0	7.15
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	0.28	0.11	0.38	0.25	0.26
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	89.1	154.1	160	145.57	85.7
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	110.90	126.50	190.15	142.42	35.98
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.37	0.29	0.28	0.33	0.36

**AVGUST 2013.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz avgusta 2013**

Tabela P.1c: Rezultati merenja deponijskog gasa iz avgusta 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1.	B4	45,5	30,2	0,5	0	1
2.	B10	49,7	31,5	1,8	0	11
3.	B15	55,7	34	0	2	16
4.	B23	42	32,4	2,3	7	68
5.	B25	54,3	34,6	0	3	22
6.	B28	48,9	32,5	0,3	0	46

**Rezultati merenja procedne vode iz avgusta 2013**

Tabela P.1d: Rezultati merenja procedne vode iz avgusta 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	22.0	18.5	21.0	22.0	22.0
2	pH	EPA 150.1	-	7.57	7.15	7.25	7.20	7.57
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	16.8	3.8	8.4	8.2	16.8
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0.12	0.09	0.13	0.04	0.12
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	3900	670	1536	2560	3900
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	920	120	410	600	920
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	3.15	11.72	29.68	4.25	3.15
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	0.23	0.15	0.31	0.20	0.23
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	80.1	160.1	157.9	142.1	80.1
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	35.98	78.54	197.15	142.42	35.98
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.23	0.18	0.26	0.23	0.23

**SEPTEMBAR 2013.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz septembra 2013**

Tabela P.1e: Rezultati merenja deponijskog gasa iz septembra 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1.	B4	51	30	0,6	5	23
2.	B10	47,1	25,5	4,1	3	7
3.	B15	57,6	32,3	0,1	7	14
4.	B23	56,4	34	0	7	14
5.	B28	54,5	33,2	0,4	5	27

**Rezultati merenja procedne vode iz septembra 2013**

Tabela P.1f: Rezultati merenja procedne vode iz septembra 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	23,9	20,1	22,1	21,2	24,0
2	pH	EPA 150.1	-	7,61	7,24	7,36	7,53	7,23
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	44,5	9,5	19,1	17,1	8,8
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,58	0,08	0,21	0,27	0,17
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	3744	702	1560	2735	628
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	2300	300	950	700	410
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	4,21	9,22	35,62	2,12	29,72
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	0,53	0,08	0,21	0,43	0,85
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	68,6	114,7	178,3	128,7	205,1
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	31,42	98,11	153,94	114,27	56,87
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.61	0.42	0.61	0.25	0.65

**OKTOBAR 2013.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz oktobra 2013**

Tabela P.1g: Rezultati merenja deponijskog gasa iz oktobra 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1.	B4	36,6	25,5	2	4	0
2.	B10	39,9	22,1	4,3	0	0
3.	B15	51,5	29,5	1,1	1	1
4.	B23	52,7	33,1	0	3	55
5.	B28	38,7	27,5	1,9	2	6

**Rezultati merenja procedne vode iz oktobra 2013**

Tabela P.1h: Rezultati merenja procedne vode iz oktobra 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	20	19,5	18	19	20
2	pH	EPA 150.1	-	7,69	7,31	7,38	7,59	7,25
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	38	3,3	10,8	16,1	5,7
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,94	0,04	0,65	0,38	0,24
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	3910	666	1227	2995	707
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	1800	360	500	2400	500
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	2,6	1,95	25,85	3,19	23,95
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	0,12
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	51,3	131,6	155,8	108,2	142,4
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	186,38	226,85	226,75	230,29	155,47
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.46	0.54	0.41	0.80	0.71



**NOVEMBAR 2013.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz novembra 2013**

Tabela P.1i: Rezultati merenja deponijskog gasa iz novembra 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1	B4	54,8	30,8	0	0	13
2	B10	46,8	23,5	3	0	5
3	B15	55	30,4	0,2	0	4
4	B23	52,9	32,9	0	0	58
5	B28	46	32	0,2	2	0

**Rezultati merenja procedne vode iz novembra 2013**

Tabela P.1j: Rezultati merenja procedne vode iz novembra 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	20	21	23	23	21
2	pH	EPA 150.1	-	7,62	7,36	7,42	7,55	7,29
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	37,0	6,3	10,1	14,3	12,4
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,38	0,06	0,15	0,98	0,15
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	5320	1130	2150	4260	1640
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	2450	610	880	3410	1160
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	3,09	16,92	40,42	1,62	27,21
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	0,10	<0,05	0,14	<0,05	0,12
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	27,5	93,0	62,0	35,6	79,3
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	170,00	251,51	236,43	126,29	254,99
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.46	0.54	0.41	0.80	0.70

**DECEMBAR 2013.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz decembra 2013**

Tabela P.1k: Rezultati merenja deponijskog gasa iz decembra 2013

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1	B4	52,6	30,6	0	0	10
2	B10	44,3	22,8	3,1	1	4
3	B15	54	31,7	0,8	0	3
4	B23	50,7	33	0	0	46
5	B28	43	32	1	1	8

**Rezultati merenja procedne vode iz decembra 2013**

Tabela P.1l: Rezultati merenja procedne vode iz decembra 2013

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	19	21	20	21	23
2	pH	EPA 150.1	-	7,67	7,38	7,47	7,28	7,29
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	36	7	11	15	10
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,37	0,05	0,14	0,88	0,19
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	5270	1030	1530	3250	1268
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	2080	570	690	2960	1120
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	2,4	15,80	32,85	1,05	21,85
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	0,18
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	26,5	88,0	60,0	33,5	75,4
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	120,50	230,00	212,70	206,29	150,40
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.39	0.55	0.45	0.91	0.88

**JUN 2015.**

**Rezultati merenja deponijskog gasa iz juna 2015**

Tabela P.1m: Rezultati merenja deponijskog gasa iz juna 2015

Redni broj	Broj biotrna	Ispitivani parametar				
		Oznaka metode: Uputstvo proizvođača GEM™ 2000 PLUS PORTABLE GAS ANALYZER				
		Metan CH <sub>4</sub> [%vol.]	Ugljen- dioksid CO <sub>2</sub> [%vol.]	Kiseonik O <sub>2</sub> [%vol.]	Ugljen- monoksid CO [ppm]	Vodonik- sulfid H <sub>2</sub> S [ppm]
1.	B4	48,5	27,4	1	0	0
2.	B10	33,2	16,1	8,8	0	1
3.	B15	50,3	28,1	3,2	0	11
4.	B23	58,5	33,7	0,6	0	6
5.	B28	40,8	26,9	2,7	0	0

**Rezultati merenja procedne vode iz juna 2015**

Tabela P.1n: Rezultati merenja procedne vode iz juna 2015

R. br	Ispitivani parametar	Oznaka metode	Jed.	Lokacija biotrnova				
				B4	B10	B15	B23	B28
1	Temperatura	EPA 170.1	°C	20	21	23	23	21
2	pH	EPA 150.1	-	7,62	7,36	7,42	7,55	7,29
3	Nitrati	EPA 352.1	mg/l	37,0	6,3	10,1	14,3	12,4
4	Nitriti	EPA 354.1	mg/l	0,38	0,06	0,15	0,98	0,15
5	HPK	HACH LCK 114 HACH LCI 500	mg/l	5320	1130	2150	4260	1640
6	BPK <sub>5</sub>	Uputstvo proizvođača BODTrak™ HACH	mg/l	2450	610	880	3410	1160
7	Gvožđe	EPA 236.1	mg/l	3,09	16,92	40,42	1,62	27,21
8	Cink	EPA 289.1	mg/l	0,10	<0,05	0,14	<0,05	0,12
9	Kalcijum	EPA 215.1	mg/l	27,5	93,0	62,0	35,6	79,3
10	Magnezijum	EPA 242.1	mg/l	170,00	251,51	236,43	126,29	254,99
11	BPK <sub>5</sub> /HPK	-	-	0.46	0.54	0.41	0.80	0.71

## Prilog 2

### I Metode uzorkovanja vode

1. SRPS EN ISO 5667-1:2008 (Kvalitet vode – Uzimanje uzoraka – Deo 1: Uputstvo za izradu programa uzimanja uzoraka i postupke uzimanja uzoraka)
2. SRPS EN ISO 5667-11:2005 (Kvalitet vode – Uzimanje uzoraka – Deo 11: Smernice za uzimanje uzoraka podzemnih voda)

### II Metode analize procedne vode

Analiza osnovnih fizičko hemijskih parametara: temperature, pH vrednosti, elektroprovodljivosti, rastvorenog kiseonika, BPK<sub>5</sub>, HPK, ukupnog fosfora, ukupnog azota i suspendovanih materija vrše se primenom standardnih EPA metoda. Temperatura, pH vrednost, elektroprovodljivost i koncentracija rastvorenog kiseonika određivane su pomoću multiparametarskog uređaja, Multi 340i. HPK, sadržaj ukupnog fosfora i ukupnog azota, nakon standardnih metoda prireme uzoraka, je određivan na UV/VIS spektrofotometru, HACH DR 5000. Sadržaj suspendovanih materija je određivan prema metodi EPA 160.2, pomoću uređaja za vakum filtraciju, dok su vrednosti BPK<sub>5</sub> dobijene pripremom uzorka i korišćenjem BPK inkubatora.

Tabela P.2a: Metode analize procedne vode\*

Parametar	Opseg merenja	Metod određivanja
Temperatura	0 - 100°C	EPA 170.1 Termometrijska metoda za određivanje temperature pijaće, površinske, komunalne otpadne i industrije otpadne vode
pH	2 - 12	EPA 150.1 Elektrohemijska metoda za merenje pH vrednosti pijaće, površinske, komunalne otpadne i industrije otpadne vode, atmosferskih padavina
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,1 - 2 mg/l	EPA 352.1 Spektrofotometrijska metoda za određivanje nitrata u pijaćoj, površinskoj, komunalnoj i industrijskoj otpadnoj vodi
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,01 - 1 mg/l	EPA 354.1 Spektrofotometrijska metoda za određivanje nitrata u pijaćoj, površinskoj, komunalnoj i industrijskoj otpadnoj vodi
Kalcijum (Ca)	0,2 – 7 mg/l	EPA 215.1- Metoda Atomske apsorpcije, direktna aspiracija EPA 3015A Mikrotalasna kisela digestija vodenih rastvora i ekstrakata

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

Magnezijum (Mg)	0,02 – 0,5 mg/l	EPA 242.1 Metoda Atomske apsorpcije, direktna aspiracija EPA 3015A Mikrotalasna kisela digestija vodenih rastvora i ekstrakata
Cink (Zn)	0,05 - 1 mg/l	EPA 289.1 Metoda Atomske apsorpcije, direktna aspiracija EPA 3015A Mikrotalasna kisela digestija vodenih rastvora i ekstrakata
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	150 – 1000 mg/l	HACH LCK 114 Spektrometrijska metoda EPA 410.4 Metoda semi-automatska kolorimetrija
Biološka potrošnja kiseonika (BPK5)	0 - 700 mg/l	Manometrijska metoda

\* Izvod iz Detaljnog obima akreditacije za Laboratorija za monitoring deponija, otpadnih voda i vazduha, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu (2010). Akreditaciono telo Srbije, <http://www.ats.rs/sites/default/files/download/01-324.pdf> (Pristup: 5. juna 2016.)

### ***III Metode analize deponijskog gasa***

Aparat za gasnu analizu GEM 2000Plus, za potrebe gasne analize deponijskog gasa koristi interne senzore i to:

- Za merenje koncentracije metana i ugljen dioksida koristi se infracrvena ćelija
- Za merenje koncentracije kiseonika, ugljen monoksida i vodonik sulfida koriste se elektrohemijske ćelije (za svaki tip gasa posebna ćelija)

Tabela P.2b: Metode analize deponijskog gasa\*\*

Parametar	Opseg merenja	Metod određivanja
Metan (CH <sub>4</sub> )	0 – 100%vol.	Pomoću infracrvene ćelije sa referentnim kanalom (sa dve talasne dužine)
Vodonik-sulfid (H <sub>2</sub> S)	0 – 500 ppm	Pomoću infracrvene ćelije sa referentnim kanalom (sa dve talasne dužine)
Ugljen-dioksid (CO <sub>2</sub> )	0 – 100 %vol.	Pomoću unutrašnje elektrohemijske ćelije
Ugljen-monoksid (CO)	0 – 2000 ppm	Pomoću unutrašnje elektrohemijske ćelije
Kiseonik (O <sub>2</sub> )	0 – 25%vol.	Pomoću unutrašnje elektrohemijske ćelije

\* \*UPUTSTVO ZA KORIŠĆENJE I IZVOĐENJE METODE ZA ANALIZU DEPONIJSKIH GASOVA, ANALIZATOR DEPONIJSKOG GASA, Laboratorija za monitoring deponija, otpadnih voda i vazduha, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu

## Model optimizacije monitoringa deponijskog gasa i procedne vode na zatvorenim deponijama

Merenje koncentracije metana i ugljen dioksida se zasniva na apsorpciji određenih talasnih dužina infracrvenog zračenja. Kako se deponijski gas kreće kroz komoru ćelije, svetlosni snop se emituje sa dva izvora infracrvenog zračenja. Razlika u količini emitovane i detektovane količine svetlosnog zračenja predstavlja količinu zračenja apsorbovanog od strane specifičnih gasnih jedinjenja, u ovom slučaju, metana i ugljen dioksida. Ova dva gasa se razlikuju po talasnoj dužini apsorbovanog zračenja.

Merenje koncentracije kiseonika, ugljen monoksida i vodonik sulfida se zasniva na radu elektrohemijskih ćelija. Ove ćelije reaguju sa gasom sa kojim se nalaze u kontaktu i na osnovu ovih reakcija se generiše izlazni signal koji se potom očitava.

- Za merenje koncentracije CO i H<sub>2</sub>S koriste se elektrohemijske ćelije koje kao rezultat reakcije gasa sa površinom ćelije na izlazu generišu elektricitet određenog napona i na osnovu jačine signala se određuje koncentracija ovih gasova. Što je signal jači to je veća koncentracija pomenutih gasova.
- Za merenje koncentracije kiseonika koristi se elektrohemijska ćelija koja u reakciji sa gasom proizvodi električnu struju određene jačine. Veća koncentracija ovog gasa izaziva generisanje električne struje jačeg signala.

Bitno je napomenuti da se kod elektrohemijskih ćelija za merenje koncentracije CO i H<sub>2</sub>S na izlazu očitava vrednost potencijala, odnosno, napon, a kod elektrohemijske ćelije za merenje koncentracije kiseonika na izlazu očitava jačina generisane električne struje.

1. Merenje koncentracije ugljen dioksida se vrši na talasnim dužinama karakterističnim samo za ugljen dioksid tako da na vrednost merenja ne utiče niti jedan gas koji se, uobičajeno, može naći u sastavu deponijskog gasa.
2. Elektrohemijski senzor za kiseonik je galvanskog tipa, te nije podložan uticaju ostalih gasova (CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>S, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, ili H<sub>2</sub>)



Slika P.2.1 Aparat za gasnu analizu GEM 2000Plus

## ***Prilog 3***

Rešenje o izdavanju dozvole za odlaganje otpada na deponiju neopasnog otpada na lokaciji operatera – JKP „Regionalna deponija Pirot“.



Република Србија  
МИНИСТАРСТВО ПОЉОПРИВРЕДЕ  
И ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Број: 19-00-00658/2013-05

Датум: 08.09.2014. године

Немањина 22-26

Београд

ЈКП "Регионална депонија Пирот"  
Број 206  
Датум 15.09. 2014. год.  
ПИРОТ

Д.Љ.

Министарство пољопривреде и заштите животне средине, државни секретар, по решењу о овлашћењу министра, број 119-01-5/17/2014-09 од 03.06.2014. године, на основу члана 60. Закона о управљању отпадом («Службени гласник РС», бр. 36/09 и 88/10), члана 23. став 2. Закона о државној управи («Службени гласник РС», бр. 79/05, 101/07 и 95/10), чл. 5., 35. и 37. Закона о министарствима («Службени гласник РС», број 44/14) и члана 192. став 1. Закона о општем управном поступку («Службени лист СРЈ», бр. 33/97, 31/01 и «Службени гласник РС», бр. 30/10), решавајући по захтеву Јавно комуналног предузећа за депоновање отпада са територија општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка „Регионална депонија Пирот“ из Пирота (у даљем тексту: ЈКП „Регионална депонија Пирот“), ул. Мунтина падина бб, Пирот, за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада на локацији оператера, број предмета 19-00-00658/2013-05 од 14.10.2014. године, доноси

**РЕШЕЊЕ**  
**О ИЗДАВАЊУ ДОЗВОЛЕ ЗА ОДЛАГАЊЕ ОТПАДА**  
**НА ДЕПОНИЈУ НЕОПАСНОГ ОТПАДА**  
**НА ЛОКАЦИЈИ ОПЕРАТЕРА**

1. Издаје се дозвола за одлагање неопасног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.), регистарског броја **1504**, оператеру ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота за рад постројења за управљање отпадом - регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, са адресом ул. Мунтина Падина бб, општина Пирот, на к.п. бр. 260, 264, 265, 266, 267, 268, 269/1, 269/2, 270/1, 270/2, 271/1, 271/2, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 281, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 1265, 1268, 1269, 1270, 1271, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1461, 1462, 1463, 1464, 1466, део 1467, 1468, 1469, 1470, 1471/2, 1472, 1499 и 1500 К.О. Пирот, општина Пирот и утврђује се следеће:

**А. ОПШТИ ПОДАЦИ**

**1) Општи подаци о дозволи**

Издаје се дозвола оператеру ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота за одлагање неопасног – комуналног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, у складу



са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 56/10) и Правилником о садржини и изгледу дозволе за складиштење, третман и одлагање отпада („Службени гласник РС”, број 96/09).

## 2) Општи подаци о постројењу

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота обавља делатност одлагања неопасног отпада (наведен у тачки 4.3.1.) са територија локалних самоуправа потписница споразума о регионалном управљању отпадом и то општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је комплетно опремљен за одлагање неопасног – комуналног отпада (наведен у тачки 4.3.1.) на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот. Одлагање предметног неопасног отпада врши се у складу са документованим и организованим управљањем отпадом који настаје у оквиру обављања наведене делатности оператера са територија локалних самоуправа.

За организовано и контролисано одлагање неопасног – комуналног отпада, насталог у наведеним јединицама локалне самоуправе оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота користи комплекс регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот.

Комплекс депоније састоји се из осам целина (површина) и то:

- тело депоније које представља санитарно уређени простор за свакодневно одлагање отпада у пројектованом периоду од 20 година;
- насип (земљани) који је постављен на најнижој коти тела депоније, са циљем повећања стабилности отпада одложеног по пројектованој технологији;
- манипулативно-опслужни плато на којем се налазе пратећи објекти неопходни за нормалан рад комплекса;
- плато са постројењем за пречишћавање отпадних вода;
- саобраћајне површине које омогућавају нормалну комуникацију возила и људи између свих инфраструктурних елемената;
- заштитно зеленило;
- плато за секундарне сировине;
- систем канала који чине ободни канали (ОК) и армирано-бетонски колектор којим се све чисте падавинске воде одводе ван тела депоније (ОК).

На манипулативно-опслужном платоу налазе се следећи садржаји:

- објекат за особље;
- колска вага носивости 30 t;
- резервоар за воду;
- објекат за прање и дезинфекцију возила;
- навоз за прање возила у летњем периоду;
- паркинг за прљава возила;
- паркинг за чиста возила;
- систем за пречишћавање отпадних вода, са пратећим елементима;
- стубна трафо станица.

За рад на регионалној депонији оператер користи следећу опрему:

- булдожер, оперативне тежине 25,7 t („Shantui SD22RK“),
- санитарни компактор, оперативне тежине 26 t („Bomag BC 472 RB“)

- уређај за прање возила („Karcher, HDS 8/18-4C“).

Метода изолације тела депоније и заштита земљишта од негативних утицаја депонованог отпада укључује следеће слојеве тела депоније:

- слој сабијене глине дебљине 0,5 m,
- слој геотекстила 1.200 g/m<sup>2</sup>,
- водонепропусна фолија од полиетилена високе густине (HDPE) дебљине 2,0 mm,
- слој геотекстила 1.200 g/m<sup>2</sup>,
- дренажни слој шљунка 0,5 m,
- слој отпада висине 2,30 m,
- слој прекривног материјала висине 0,20 m,
- ћелија димензија 8,5 m x 8,5 m x 2,5 m,
- радно чело,
- слој шљунка за дренажу гаса дебљине 0,3 m,
- слој геотекстила 800 g/m<sup>2</sup>,
- слој глине у прекривном водоизолационом слоју дебљине 0,3 m,
- водонепропусна фолија од полиетилена високе густине (HDPE) дебљине 2,0 mm,
- заштитни слој геотекстил у прекривном водоизолационом слоју 800 g/m<sup>2</sup>,
- дренажни слој шљунка у прекривном водоизолационом слоју 0,4 m,
- слој за техничку рекултивацију дебљине 0,5 m.

За потребе орошавања чврстог комуналног отпада на депонији користи се вода пореклом из система за пречишћавање отпадних вода (из таложне лагуне).

Радним планом управљања отпадом и Упутством о критеријумима и процедурама за прихватање или неприхватање отпада на депонију оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот утврђено је функционисање регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот.

Максимална укупна површина која може да се користи за депоновање отпада износи 84.160 m<sup>2</sup>, где ће се отпад одлагати у три фазе и то: за прву фазу експлоатације депоније уређена је површина од 33.430 m<sup>2</sup>, за другу фазу експлоатације депоније предвиђено је уређење површине од 30.388 m<sup>2</sup> и за трећу фазу експлоатације депоније предвиђено је уређење површине од 20.340 m<sup>2</sup>.

Запремина прве фазе износи 408.620 m<sup>3</sup> што представља 33 % од расположиве запремине депоније.

Запремина друге фазе износи 471.744 m<sup>3</sup> што представља 38 % од расположиве запремине депоније.

Запремина треће фазе износи 362.346 m<sup>3</sup> што представља 29 % од расположиве запремине депоније.

Пројектовани капацитет (запремина) регионалне санитарне депоније неопасног отпада „Регионална депонија Пирот“ Пирот износи 1.242.710 m<sup>3</sup>.

Планирана годишња количина неопасног отпада који ће да се одлаже на регионалну депонију износи 26.000 t.

Период експлоатације регионалне санитарне депоније за општине Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка износи најмање 20 година.

### **3) Напомене о поверљивости података и информација**

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота нема поверљиве податке и информације.

## **Б. ДЕЛАТНОСТ ЗА КОЈУ ЈЕ ЗАХТЕВ ПОДНЕТ И ОЦЕНА ЗАХТЕВА**

### **1) Кратак опис делатности за коју је захтев поднет**

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота обавља делатност одлагања неопасног – комуналног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот који је настао у различитим фазама обављања претежне делатности одстрањивања отпадака и смећа, затим санитарних и сличних активности од грађана и привредних субјеката са територија локалних самоуправа и то општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка и то на начин, по процедури и режиму рада депоније у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10) и Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10).

Јавна комунална предузећа са територија општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка сакупљају комунални отпад са својих територија и допремају на локацију регионалне депоније Пирот камионима-аутосмећарима.

Процес санитарног депоновања се спроводи уз употребу машинске опреме која је неопходна за исправно формирање и сабијање ћелије, а у сврху контролисања анаеробне ферментације отпада. На регионалној санитарној депонији на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот врши се истовар делимично сабијеног комуналног отпада из камиона-смећара, као и отпада из већих контејнера (кабасти и други отпад) у само тело депоније по одговарајућем правилу (плану) одлагања, да би се спречило нагомилавање и стварање „мртвог простора“. Разастирање отпада на депонији се врши булдожером на начин да се обезбеди максимално искоришћење простора у касети и безбедан прилаз камионима приликом истовара, док се компактором врши сабијање приспелог отпада.

#### **1.1. Одлагање отпада – опис технолошког процеса**

На регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот одлаже се неопасан – комунални отпад са територија општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка. Предметни отпад са територија наведених општина сакупљају јавна комунална предузећа и допремају на локацију регионалне депоније Пирот камионима – аутосмећарима.

Одлагање отпада спроводи се по пројектованом плану одлагања отпада. Формирање ћелија, односно процес одлагања отпада, одвија се по прописаној технологији одлагања отпада. Свакодневно прекривање ћелија (слојева отпада) прекривним материјалом спроводи се до најситнијих детаља.

На регионалној депонији ће да се врши фазно депоновање отпада (F1, F2 и F3). Попуњавање фазе F1 вршиће се попуњавањем до 10 слојева ћелија дуж две каскаде дна тела депоније, односно до коте 430,99 m. Попуњавање фазе F2 се надовезује на отпад попуњен у фази F1 и вршиће се попуњавањем ћелија дуж једне каскаде дна тела депоније, односно до коте 443,96 m. Попуњавање фазе F3 се надовезује на отпад попуњен у фази F2 и вршиће се попуњавањем до 10 слојева ћелија дуж последње две каскаде дна тела депоније, односно до коте 452,53 m.

По површини припремљеног терена, односно површинским начином одлагања врши се диспозиција отпада на депонији. Возило које довози чврст отпад, пројектованом саобраћајницом, долази до одређене радне зоне или радне површине на телу депоније и истоварује отпад. За разастирање и равнање нагомиланог отпада, као и за свакодневно прекривање отпада слојем инертног материјала (земљом, расположивим шутом), користе се компактор и булдожер. Димензије ћелија у једном слоју су дефинисане на основу дневне количине отпада у нултој години. Ћелија се формира тако што се отпад систематски распростире на предвиђеној површини и равна у слојевима дебљине 0,10 – 0,20 m и сабија компактором до одређене густине. На сваки сабијени слој компактор распростире следећи танак слој отпада преко равне површине и тај слој се поново сабија. Ова операција се понавља док се не постигне укупна висина радног слоја отпада, преко којег се распростире слој прекривног материјала од 0,20 m на горњој површини ћелије, односно 0,60 m са отворених бочних стана ћелије. До краја радног дана постиже се висина од 2,3 m компактираног отпада. Свака ћелија ће да буде формирана од дневног отпада, а димензије ће да јој износе 7,90 m x 7,90 m x 2,30 m (ако се узме у обзир само отпад). Отпад се слаже под нагибом 1:3 и прекрива се инертним прекривним материјалом дебљине 20 cm, који у ћелији заузима 28,8 % у односу на запремину отпада, тако да коначна димензија ћелије износи 8,50 m x 8,50 m x 2,50 m. У овако димензионисаној ћелији чврсти отпад заузима 79,5 %, а прекривка 20,5 % њене запремине.

Следећа ћелија која се формира у току дана, уколико остане недовршена, мора на крају радног дана бити прекривена прекривним материјалом, а наредног дана се наставља са попуњавањем исте ћелије до предвиђених димензија, а затим се почиње са формирањем следеће ћелије. Ћелије се формирају у једном реду, једна поред друге, и оног момента када се попуни први ред, започиње се попуњавање другог реда са оног дела где је почео да се формира први ред. Број слојева, распоред и димензије су унапред дефинисане Главним технолошким пројектом.

Три до четири пута годишње на депонију долази возило - цистерна ради преузимања муља из таложне лагуне. Муљ се меша са отпадом у односу 9:1 и инертним материјалом и одлаже се.

Уколико возило носи грађевински отпад, кабасти кућни отпад или други отпад намењен продаји као секундарну сировину, оно се упућује на платое намењене за привремено одлагање ових врста отпада.

## **1.2. Затварање и рекултивација депоније**

У случају престанка рада регионалне депоније, престанак процеса и враћање земљишта у првобитно стање, одвијаће се у две фазе.

Прва фаза обухватиће престанак доношења свежег неопасог (комуналног) отпада након попуњавања пројектованих финалних висина и сабијања отпада. Уколико је висина депоније неколико метара изнад коте околног земљишта, ова фаза може да обухвати и ископ вишка смећа на депонији са утоваром и/или гурањем на места насипа смећа, тј. грубо нивелисање површине. Ова фаза обухвата и допремање потребних количина одговарајућих материјала за постављање покривног слоја на депонији. За формирање горњег покривног слоја, користиће се слој за дренажу депонијског гаса дебљине од 0,3 m, непропусни минерални слој дебљине од 0,5 m и слој за рекултивацију дебљине од 0,5 m.

Друга фаза представљаће финалну фазу затварања депоније, која обухвата враћање предметне површине у стање у ком се она може користити за раст биљака, односно рекултивацију депоније. Финално уређење депоније ће обухватити израду

четворслојног покривача састављеног од слоја инертног материјала, слоја компактиране глине, слоја хумусне земље и на крају биљног покривача.

## 2) Опис локације на којој се делатност обавља

Пиротски управни округ се налази у југоисточном делу Републике Србије и обухвата општине Пирот, Бабушницу, Димитровград и Белу Паланку. Пирот је градско насеље у општини Пирот и седиште је општине. Према попису из 2011. на територији општине живи 92.277 становника, док у самом насељу Пирот живи 57.911 становника. Пиротска општина има површину 1.235 km<sup>2</sup>, обухвата преко седамдесет насеља, међу којима је и град Пирот.

Општина Пирот се граничи са четири српске општине Димитровград, Књажевац, Бела Паланка и Бабушница, као и са Бугарском на дужини од 65 km. У општини Пирот се налазе многе планине као што су Стара планина, Влашка планина, Белава, Сува планина и друге. На северу и североистоку од општине Пирот пружа се Стара планина, највећа у Србији, са врхом Миџором и представља државну границу између Србије и Бугарске. Растојање општине Пирот до подножја Миџора износи око 30 km. Кроз општину Пирот протичу реке Нишава, Јерма, Расничка река, Темштица, Височица. Ова општина има и три језера и то Завојско, Крупачко и Суковско језеро. Од водних ресурса најзначајнија је река Нишава.

Регион је повезан са својим ужим и ширим окружењем копненим саобраћајем, од чега је значајан магистрални пут М-9 Лесковац – Пирот, који повезује аутопут Е-75 (југ Европе) и аутопут Е-80 (исток Европе). Саобраћајна повезаност представља један од предуслова за даљи развој региона.

Удаљеност регионалне санитарне депоније од града Ниша је око 70 km, где се налази и најближи аеродром. Од града Београда депонија је удаљена око 306 km.

Локација „Мунтина падина“ на којој је смештена регионална санитарна депонија, налази се северозападно од града Пирота на удаљености ваздушном линијом око 4,5 km у подручју краће долине, развијене између гребена Дебели дел и Мунтина падина. Удаљеност од аутопута Е-80 (пут Ниш – Пирот) износи око 500 m ваздушном линијом. Удаљеност од насеља и посебних насељских садржаја и локације „Мунтина падина“ је већа од 1,5 km. Прве појединачне куће ван насеља налазе се на већој удаљености од 500 m.

Предметна депонија чврстог комуналног отпада за општине Пирот, Бабушницу, Димитровград и Белу Паланку налази се на парцелама број 260, 264, 265, 266, 267, 268, 269/1, 269/2, 270/1, 270/2, 271/1, 271/2, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 281, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 1265, 1268, 1269, 1270, 1271, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1461, 1462, 1463, 1464, 1466, део 1467, 1468, 1469, 1470, 1471/2, 1472, 1499 и 1500 К.О. Пирот, општина Пирот. Ове парцеле заузимају површину од 159.897,67 m<sup>2</sup>.

Комплекс регионалне депоније Пирот налази се на 43°11'45" северне географске ширине и 22°33'26" источне географске дужине. Комплексу се прилази са аутопута Е-80 бетонираним приступним путем, релативно добро квалитета. Максимални уздужни нагиб на траси је 12%. Сама локација „Мунтина падина“ је од реке Нишаве удаљена 500 m.

Предметна локација налази се на надморској висини између 420 m и 480 m. Генерални нагиб долине има правац према истоку, са отицањем према алувиону равни реке Нишаве. Локација је заклоњена од сагледавања гребеном Будин дел. Виши делови локације су ограничено сагледиви из правца Шариве ливаде и Маљиног трапа и даљих виших делова терена преко Нишаве.

На локацији су изграђени следећи објекти: управна зграда са портирницом (књиговодство, канцеларија управника депоније, просторија за боравак радника, мушки и женски санитарни блок, лабораторија, просторија за електро котао), колска вага са вагарском кућицом, резервоар за воду, објекат за прање и дезинфекцију возила (прање и дезинфекција возила, магацин за дезинфекциона средства и уља и мазива, приручна радоница, одељење за боравак особља, спремиште прибора и опреме за прање, санитарни чвор са предпростором), навоз за прање возила на отвореном, паркинг за прљава возила, паркинг за чиста возила, стубна трафо станица, систем за пречишћавање отпадних вода (аерациона и таложна лагуна), детектор јонизујућег зрачења.

Управна зграда са портирницом и надземни хидрант су прикључени на резервоар за воду одговарајућег капацитета.

На депонији постоји систем за управљање депонијским гасом који се састоји од 69 вертикалних биотрнова.

Око целог комплекса постављена је жичана ограда и засађене су дрвенасте биљке (зелени ветробрански појас). На улазу је покретна капија са портирницом. Испред капије се налази паркинг за путничка возила, односно за особље запослено на депонији. У кругу је манипулативни плато за возила унутрашњег и спољашњег транспорта.

### 3) Постојеће дозволе, одобрења и сагласности

- Решење о регистрацији привредног субјекта Јавно комунално предузеће за депоновање отпада са територија општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка „Регионална депонија Пирот“ Пирот, матични број 20811889, претежна делатност 3821 – Третман и одлагање отпада који није опасан, решење БД 31071/2012 од 23.03.2012. године, издато од стране Агенције за привредне регистре, Београд;
- Извод о регистрацији привредног субјекта Јавно комунално предузеће за депоновање отпада са територија општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка „Регионална депонија Пирот“ Пирот, матични број 20811889, претежна делатност 3821 – Третман и одлагање отпада који није опасан, издат дана 18.10.2013. године од стране Агенције за привредне регистре, Београд;
- Решење о одобрењу за изградњу Регионалне санитарне депоније комуналног чврстог отпада за радну зону која обухвата тело депоније и ужи заштитни појас на локацији „Мунтина падина“, решење број 03-У-351-119/2008 од 19.03.2008. године, издато од стране Општине Пирот, Одељење за урбанизам, комунално-стамбену делатност и грађевинарство;
- Решење о употребној дозволи за коришћење изграђене Регионалне санитарне депоније комуналног чврстог отпада за радну зону која обухвата тело депоније и ужи заштитни појас на локацији „Мунтина падина“, решење број 03-У-351-4278/2010 од 21.11.2011. године, издато од стране Општинске управе Пирот, Одељење за урбанизам, комунално-стамбене послове и грађевинарство и инспекцијске послове;
- Хидрометеоролошки услови за израду Програма за израду плана детаљне регулације регионалне санитарне депоније у Пироту, издати од стране Републичког хидрометеоролошког завода Београд, број 92-III-9/2005 од дана 15.04.2005. године;
- Решење о давању сагласности на Студију о процени утицаја на животну средину за пројекат регионалне санитарне депоније чврстог комуналног отпада

на локацији „Мунтина падина“ у Пироту, број 03-У-501/84-2006 од 07.11.2006. године, издато од стране Општине Пирот, Одељење за урбанизам, стамбено-комуналне делатности и грађевинарство;

- Решење о разврставању објеката власника Општине Пирот односно корисника ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот (објекат за особље – управна зграда, колска вага, резервоар за воду, објекат за прање и дезинфекцију возила, систем за пречишћавање отпадних вода, плато за секундарне сировине и тело депоније од профила 1 до профила 3а (три а) са прилазном саобраћајницом) у категорију III угрожености од пожара, решење 07/25 број 217-6-28/13 од 27.02.2014. године, издато од стране Министарства унутрашњих послова Републике Србије, Сектор за ванредне ситуације, Одељење за ванредне ситуације у Пироту;
- Сагласност надлежне ЈП Електромреже Србије за DV 110 kV на коришћење санитарне депоније испод DV 110 kV број 1154 Пирот – Сврљиг, број 6582/1 од дана 20.06.2006. године;
- Мишљење Општинске управе Пирот, Одељење за урбанизам, стамбено-комуналне послове, грађевинарство и инспекцијске послове, број 03-501/63-2014 од дана 31.07.2014. године, о поднетом захтеву за одлагање отпада на депонију неопасног отпада на регионалној санитарној депонији у Пироту, поднетог од стране оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот;
- Изјава о методама одлагања отпада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот, број 189 од дана 14.10.2013. године;
- Полиса осигурања одговорности – законска грађанска одговорност осигураника из обављања делатности депоновање комуналног отпада, одговорност за штете услед смрти, повреде тела или здравља неког лица и штете услед уништења или оштећења ствари које су последица загађивања тла и воде, полиса број 00009993 4 од 24.04.2014. године, са премијом обрачунатом за период до 29.04.2015. године, издата од стране осигуравајућег друштва Компанија „Дунав осигурање“ а.д.о. Главна филијала осигурања Пирот;
- Подаци о квалификованом лицу (Зоран Станковић) одговорном за стручни рад за управљање неопасним отпадом са приложеном радном књижицом, дипломом о стеченом високом образовању на технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду и уверењима да се против лица не води кривични и истражни поступак код Основног суда у Пироту и да лице није осуђивано;
- Копија плана, препис листа непокретности бр. 6042 и 6092 и извод из листа непокретности број 1174, све К.О. Пирот – Ван Варош, издато од стране Републичког геодетског завода, Служба за катастар непокретности Пирот;
- Записник републичког инспектора о извршеном инспекцијском прегледу код оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот и утврђивању да оператер испуњава услове у погледу заштите животне средине за издавање дозволе за одлагање комуналног отпада на регионалну депонију неопасног отпада по захтеву надлежног органа министарства у предмету број 19-00-00658/2013-05 од 14.10.2013. године; записник број 275-501-117/2014-18 од дана 01.09.2014. године, Министарство пољопривреде и заштите животне средине.

#### 4) Главни утицаји на животну средину

Утицај на животну средину услед рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, којом управља оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота, је могућ услед неадекватног поступања у току обављања делатности одлагања неопасног отпада и у случају акцидента.

## **Загађење ваздуха**

Приликом одлагања отпада на регионалну санитарну депонију наопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот може доћи до појаве прашине (разношење лаких материјала), развијања гаса (емисија депонијског гаса) и развијања непријатних мириса.

Потенцијални извор загађења ваздуха на депонији су транспортна средства којима се отпад допрема на депонију.

Могућност појаве непријатног мириса је релативно мала услед свакодневног прекривања сабијеног отпада инертним материјалом (у летњим месецима и више пута дневно), уз претходно орошавање отпада. Обзиром да постоји могућност ширења непријатног мириса амонијака, који настаје у процесу труљења отпада, засађен је зелени појас око комплекса депоније.

Мониторинг емисије гасова врши се на репрезентативном броју узорака. Мерење емисије и концентрације гасова  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  врши се једном месечно у току експлоатације депоније. По престанку експлоатације депоније мерења се врше првих десет година сваких шест месеци, а затим сваке друге године до одумирања депоније. Мерења осталих депонијских гасова ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$  и других) врше се у зависности од састава одложеног отпада. За одређивање састава произведеног депонијског гаса оператер ангажује акредитоване лабораторије.

## **Бука**

За време рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот долази до стварања буке. Извори буке су транспортна средства којима се отпад допрема на депонију, затим рад булдожера на телу депоније приликом распрострањања отпада и компактора за сабијање отпада. Ниво буке нема значајан утицај на животну средину, с обзиром да је депонија лоцирана ван насељеног подручја.

## **Загађење воде и земљишта**

У току рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот генеришу се отпадне воде и то процедурне отпадне воде из тела депоније, атмосферске отпадне воде, санитарне отпадне воде и техничке отпадне воде (од чишћења и прања возила пре напуштања круга депоније).

Депонија поседује заштитни изолациони материјал ради спречавања продирања загађујућих материја у подземне воде и земљиште.

Утицај на земљиште огледа се у његовом загађивању штетним материјама и заузимању површина земљишта. На основу величине саобраћајног тока, као и података о површини слива и просечним годишњим падавинама, као и на основу удаљености првих објеката, тј. насеља од локације депоније, може се закључити да околни објекти не могу у великој мери да утичу на земљиште на депонији. Загађење земљишта може бити површинско и дубинско. До површинског загађења земљишта долази услед разношења отпада ветром, уколико отпад није сабијен и прекривен слојем инертног материјала. Дубинско загађење земљишта настаје услед узајамног дејства процедурног филтрата и гасова насталих при анаеробној разградњи чврстог отпада. Тло испод и око самог тела депоније највише је угрожено процедурним филтратом. Услед овог загађења може да дође и до деградације околног пољопривредног земљишта. Метан који се креће кроз тело депоније може да изузме кисеоник из зоне корена биљака у околини



депоније, чиме се изазивају знатна оштећења, па чак и уништења околне вегетације. Постављањем трослојне водоизолационе облоге (геотекстил-фолија-геотекстил) спречава се дубинско загађење земљишта филтратом, а системом биотрнова гас се ослобађа у атмосферу уместо да се шири по дубљим слојевима земљишта.

Мониторинг педолошких карактеристика земљишта и геолошких карактеристика тла у непосредној зони депоније за „нулто стање“ врши се узимањем узорака из плитких и дубоких сондажних јама, као и бушотина, периодично извођених са циљем узимања узорака геолошке средине из дубљих слојева у непосредној зони депоније. Узорковање се врши једном годишње у току експлоатације депоније, а по престанку рада депоније једном у пет година све до одумирања депоније. Испитивање узорака врше акредитоване лабораторије. Оператер није одредио „нулто стање“ квалитета земљишта.

### **Површинске и подземне воде**

Оператер врши мониторинг површинских вода и то: пре пуштања депоније у експлоатацију узимањем узорака површинских вода, односно одређивањем „нултог стања“, у процесу експлоатације депоније у циљу упоређивања са „нултим стањем“ (у почетку експлоатације првих годину дана сваких месец дана и касније свака три месеца и по престанку експлоатације депоније првих пет година на сваких шест месеци, а касније једном годишње до одумирања депоније, уколико резултати мониторинга покажу да није дошло до акцидентне ситуације. Узорковање се врши на најмање две тачке, узводно и низводно од депоније. Узорковање и испитивање површинских вода у приписаним временским интервалима обављају акредитоване лабораторије за ту врсту испитивања. Мониторинг површинских вода се врши визуелно и лабораторијски.

У непосредној близини депоније нема већих површинских водотокова, само поток са малом количином воде.

Мониторинг подземних вода врши се у три етапе: узорковање, надзор и одређивање критичних вредности. Систем за праћење мониторинга подземних вода састоји се из мреже од три пиезометра који су распоређени по комплексу депоније. Узорци подземних вода узимају се у следећим временским интервалима: за ниво подземне воде сваких шест месеци у активној и пасивној фази депоније и за састав подземне воде и у активној и пасивној фази депоније учесталост узорковања зависи од специфичности терена.

### **Процедне отпадне воде**

Мембрана на дну депоније спречава продор процедурних отпадних вода у подземне воде и земљиште. За дренажање процедурних вода постављен је дренажни слој. На дно дренажног слоја постављене су HDPE дренажне цеви које сакупљају процедурну воду. Свака дренажна цев је повезана са збирном перфорираном цеву постављеном управно на дренажне цеви и ка доњој страни депоније. Збирном цеву се процедурне воде одводе у сабирни шахт, а из њега до система за третман отпадних вода. Пречишћавање процедурних отпадних вода врши се прво у аерационој лагуни, помоћу два аератора и двостепено је, а након аерације процедурне отпадне воде се преко пумпне станице допремају у таложну лагуну. У таложној лагуни постоји аератор – мешалица ејекторског типа која додатно прочишћава отпадне воде. Пречишћене процедурне отпадне воде се из таложне лагуне аутоцистернама отпремају у градску канализациону мрежу. Капацитет аерационе лагуне износи  $600 \text{ m}^3$ , а капацитет таложне лагуне је око  $100 \text{ m}^3$ . Обе лагуне су бетонске и њихови капацитети одговарају капацитету депоније.

У циљу спречавања препуњавања лагуна, у сабирном шахту је уграђен вентил који омогућава управљање количином процедурне отпадне воде из тела депоније до система за пречишћавање. У случају акцидента вентил се може затворити и на тај начин спречити довод нових количина процедурних отпадних вода.

Опасност од загађења подземних вода и земљишта може да се јави у случају блокирања система за одвођење процедурних вода или оштећења водонепропусне облоге. Мониторинг процедурних вода врши се на репрезентативном броју узорака на свакој тачки на којој се течност контролисано одводи са локације. Мерење запремине и састава тј. квалитативних и квантитативних параметара процедурне воде врши се једном месечно у току експлоатације депоније. Мерења се врше и по престанку експлоатације депоније сваких шест месеци првих пет година, а затим једном годишње до одумирања депоније. Ради праћења и правилног управљања процесом пречишћавања отпадних вода, потребно је вршити свакодневну или повремену контролу основних параметара процеса.

### **Атмосферске отпадне воде**

Дренажним системом процедурне воде од атмосферских падавина, које се сливају до дна касете, прикупљају се и одводе до сабирног шахта СШ2 и одатле се преко потисног цевовода транспортују у аерациону лагуну, из ње у таложну лагуну, а затим се аутоцистернама ЈП „Комуналац“ из Пирота одвозе и испуштају у градску канализациону мрежу.

Условно чисте атмосферске воде се гравитационо одводе преко ободних канала у околни терен. Атмосферске воде са дела манипулативног платоа се одводе атмосферском канализацијом до сепаратора лаких течности, а затим преко ободних канала у околни терен.

### **Санитарне отпадне вода**

Санитарне отпадне воде се из управне зграде допремају до сабирног шахта СШ1, а затим се уз помоћ пумпног агрегата преко потисног цевовода допремају до сабирног шахта СШ2, где се мешају са процедурним водама и даље, преко гравитационог цевовода, одлазе у систем за пречишћавање отпадних вода. Овако пречишћене отпадне воде одводе се аутоцистернама и испуштају у градску канализациону мрежу.

### **Техничке отпадне воде**

Техничке отпадне воде, које представљају воде од прања и дезинфекције возила и опреме и од прања приступног пута, се системом канала и цеви, тј. техничком канализацијом одводе до сепаратора уља и масти где се врши издвајање нафтних деривата, а затим до таложника где се врши механички третман издвајања песка. Таква вода, без чврстих остатака и уља и масти, се уз помоћ пумпног агрегата преко потисног цевовода каналише до сабирног шахта СШ2, меша са дренажном процедурном водом, и даље одлази у постројење за пречишћавање отпадних вода (аерациона и таложна лагуна). Пречишћене техничке отпадне воде се испуштају у градску канализациону мрежу.

## Комунални отпад

У току обављања делатности одлагања отпада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, настаје мања количина комуналног отпада (у канцеларијама и то: отпадни папир, ПЕТ амбалажа, органски отпад и др.). који се сакупља у кантама и касније одлаже на самој депонији.

Отпад који се може поново употребити враћа се добављачима на рециклажу и поновну употребу.

## Јонизујуће и нејонизујуће зрачење

За време процеса рада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, није предвиђено коришћење никаквих уређаја који производе или емитују јонизујуће или нејонизујуће зрачење.

## 5) Коментари/мишљења

### 5.1. Органи локалне самоуправе (општина/град)

Министарство пољопривреде и заштите животне средине је у складу са чланом 63. став 3. Закона о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), доставило Општинској управи Пирот, Одељењу за урбанизам, стамбено-комуналне послове, грађевинарство и инспекцијске послове, Захтев за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота, заједно са документацијом ради прибављања мишљења.

На основу спроведене процедуре о поднетом захтеву за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада (наведен у тачки 4.3.1.) оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота, достављена су следећа позитивна мишљења:

- мишљење Општинске управе Пирот, Одељење за урбанизам, стамбено-комуналне послове, грађевинарство и инспекцијске послове, број 03-501/63-2014 од дана 31.07.2014. године,
- мишљење Завода за јавно здравље Пирот, Центар за хигијену и хуману екологију, број 1948 од дана 24.07.2014. године,
- мишљење ЈП Дирекција за изградњу општине Пирот са П.О., број 01-527-1/14 од дана 16.07.2014. године,
- мишљење „СЛОБОДНА ЗОНА“ а.д. Пирот, број 1222 од дана 17.07.2014. године,
- мишљење Министарства унутрашњих послова Републике Србије, Сектор за ванредне ситуације, Одељење за ванредне ситуације, Одсек за превентивну заштиту у Пироту, под 07/25 број 217-7307/2014-1 од дана 17.07.2014. године.

На основу наведених мишљења Општинска управа Пирот, Одељење за урбанизам, стамбено-комуналне послове, грађевинарство и инспекцијске послове, а поступајући у складу са одредбама члана 63. став 4. и став 5. Закона о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), предложила је надлежном органу прихватање предметног захтева за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот.

## **5.2. Представника заинтересоване јавности**

Министарство пољопривреде и заштите животне средине је у складу са чланом 69. Закона о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10) обавестило јавност о пријему Захтева за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота, на својој интернет страници [www.eko.minpolj.gov.rs](http://www.eko.minpolj.gov.rs). У датом року до 13. јула 2014. године није достављено ниједно мишљење представника заинтересоване јавности.

## **В. УСЛОВИ ЗА РАД**

### **1) Важност дозволе и рок за подношење захтева за обнављање и/или ревизију услова у дозволи**

#### **1.1. Важност дозволе за одлагање отпада**

Од 08. септембра 2014. године до 08. септембра 2024. године.

##### **1.1.1. Рок за подношење захтева за обнављање и/или ревизију услова у дозволи**

120 дана пре истека важности ове дозволе.

### **2) Рад и управљање отпадом у постројењу**

#### **2.1. Рад и управљање**

Управљачка структура је дефинисана организационом шемом и описом послова оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота.

#### **2.2. Радно време**

Радно време на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот одвија се радним данима у једној смени, у времену од 07 - 15 h.

Према потреби пријем отпада на депонију може да се обавља 24 h дневно, радним данима и викендом.

#### **2.3. Квалификовано лице одговорно за стручни рад у постројењу**

Зоран Станковић, директор – дипломирани инжењер технологије.

#### **2.4. Услови за управљање заштитом животне средине**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот да у току рада регионалне санитарне депоније на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот на којој се врши одлагање неопасног – комуналног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.), прати и контролише емисије загађујућих материја у ваздух, подземне и површинске воде и земљиште, да контролише стварање буке, као и да континуирано спроводи мере у циљу њиховог смањења и спречавања, нарочито контролисано управљање процедурним водама и издвојеним гасовима, а све у складу са законском регулативом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на депонију неопасног отпада, одлаже само претходно третиран отпад у складу са законом и другим прописима. Без претходног третмана може се одложити инертни отпад чији третман није физички изводљив, као и други отпади ако његов третман не доприноси циљевима за смањење количина отпада или опасности по људско здравље и животну средину, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10).

### **3) Локација постројења и инфраструктура**

#### **3.1. Табла са подацима о оператеру постројења**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на улазу у регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, постави таблу од трајног материјала са јасно видљивим подацима о оператеру на депонији, класи депоније, контактима власника односно лица одговорног за стручни рад за управљање неопасним отпадом, радно време депоније, врстама отпада чије је одлагање дозвољено односно врстама отпада чије одлагање није дозвољено, као и друге значајне информације.

#### **3.2. Обезбеђење локације**

Регионална санитарна депонија неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, којом управља оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота, мора да има систем за заштиту од пожара у складу са посебним прописима. Укупан простор депоније мора да буде ограђен фиксном жичаном оградом, висине најмање два метра како би се спречио неконтролисан приступ људи и животиња. На улазу у депонију мора се поставити објекат за контролу у циљу спречавања неконтролисаног приступа, односно неконтролисаног одлагања отпада на депонију, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10).

Дуж регулационе линије депоније мора да постоји вегетациони заштитни појас у циљу спречавања подизања и разношења лаких фракција отпада и прашине са депоније на веће растојање у складу са уредбом и важећим прописима.

#### **3.3. Приступ локацији, саобраћајна инфраструктура (путеви до постројења и на локацији)**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да одржава саобраћајну инфраструктуру, како на прилазу регионалној санитарној депонији неопасног отпада (наведен у тачки 4.3.1.), тако и саобраћајнице на локацији постројења за управљање отпадом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да лицима и транспортним средствима којима је дозвољен улаз на регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот обезбеди несметан приступ локацији у свим временским условима.

### **3.4. Простор за чување документације о локацијама и месту где се води евиденција о управљању отпадом**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот обезбеди адекватан простор у коме се чува документација о постројењу и документација о вођењу евиденције о управљању отпадом.

Простор мора бити јасно обележен и документација мора бити сортирана, обележена и приступачна.

#### **4) Управљање отпадом**

На регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота може да одлаже само претходно третиран отпад, у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) и другим прописима. Без претходног третмана може се одобрити одлагање ако његов третман не доприноси циљевима за смањење количине отпада или опасности по људско здравље и животну средину.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније, не врши одлагање следећих врста отпада:

- течног отпада,
- отпада који у депонијским условима може да експлодира, оксидира, који је запаљив и који има остале карактеристике које га чине опасним у складу са посебним прописом којим се уређују категорије, испитивање и класификација отпада,
- опасног медицинског и ветеринарског отпада који настаје у медицинским или ветеринарским установама, а који има својства инфективног у складу са посебним прописом,
- отпадних батерија и акумулатора,
- отпадних уља,
- отпадних гума,
- отпада од електричних и електронских производа,
- отпадних флуоресцентних цеви које садрже живу,
- отпада који садржи РСВ,
- отпадних возила,
- термички необрађених отпадака који настају у установама у којима се обавља здравствена заштита,
- боца под притиском,
- одвојено сакупљених фракција отпада - секундарних сировина,
- као и сваког другог отпада чије одлагање није дозвољено у складу са посебним прописом и који не задовољава критеријуме за прихватање отпада прописане уредбом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот не врши разблаживање мешавина отпада у циљу испуњавања захтева за одлагање отпада, у складу са уредбом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да се у току процеса рада на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот придржава Радног плана постројења за управљање отпадом и да га ажурира редовно сваке три године у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10).

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да при одлагању отпада на депонију неопасног отпада поштује процедуре и режим рада депоније који се односе на:

- режим кретања и процедуре рада за сва возила која улазе у комплекс депоније,
- правила која се примењују приликом одлагања отпада,
- контролу технолошког процеса рада депоније,
- контролу настајања и квалитета процедурне и пречишћене течности на депонији,
- контролу издавајња гаса, у складу са уредбом.

Управљање отпадом на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот врши се у складу са Регионалним планом управљања отпадом и Локалним плановима управљања отпадом за јединице локалних самоуправа, потписница споразума и то општина Пирот, Бабушница, Димитровград и Бела Паланка, у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10) и Упутством о критеријумима и процедурама за прихватање или неприхватање отпада на депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, којом управља ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота.

#### **4.1. Пријем отпада на локацију и истовар**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, прихвата отпад који испуњава критеријуме за прихватање отпада на депонију неопасног отпада. Оператер може да прими отпад намењен одлагању за који је извршено испитивање за одлагање и који испуњава граничне вредности параметара према листама параметара за испитивање отпада за одлагање (граничне вредности параметара за одлагање отпада), у складу са Правилником о категоријама, испитивању и класификацији отпада („Службени гласник РС”, број 56/10). Испитивање отпада намењеног одлагању врше овлашћене стручне организације за испитивање отпада у складу са законом. Подаци добијени испитивањем отпада саставни су део извештаја о испитивању отпада за одлагање, у складу са посебним прописом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да прихватање неопасног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.), ради одлагања на регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот врши по процедури која обухвата следеће поступке: испитивање отпада за одлагање за сваку врсту отпада, периодичну проверу усаглашености отпада који се редовно допрема на одлагање и проверу на терену – на лицу места, односно визуелни преглед сваке шарже отпада пре и после истовара, као и провере пратеће документације, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) и Упутством о критеријумима и процедурама за прихватање или неприхватање отпада на депонију.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот врши посебна испитивања отпада, у складу са уредбом и то:

- испитивање при првој испоруци, а затим периодичну проверу усклађености, уколико резултати мерења показују мала одступања у

односу на граничне вредности параметара за одлагање, за отпад који се редовно производи у истом поступку и у истом постројењу,

- испитивање при првој испоруци, а затим периодичну проверу усклађености, осим ако је дошло до значајне промене у поступцима производње отпада, за отпад који се редовно производи у истом поступку али у различитим постројењима,
- испитивање отпада за сваку шаржу отпада за који се не врши провера усклађености, за отпад који се не производи редовно у истом поступку и у истом постројењу, као и за отпад чије су карактеристике променљиве.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота може на регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот да прихвати неопасан – комунални отпад (наведен у тачки 4.3.1.) без претходног испитивања, који је означен као неопасан у складу са посебним прописом којим се уређују категорије, испитивање и класификација отпада. Комунални отпад који је већ измешан са опасним отпадом, сматра се опасним отпадом и не може се одлагати на депонији неопасног отпада, у складу са законом, односно не прихвата се на депонију неопасног отпада ако је контаминиран у количини која оправдава његово одлагање на другу класу депоније, у складу са уредбом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да испитује токсичне карактеристике отпада намењеног одлагању ради утврђивања ризика по здравље људи и животну средину услед могућег загађења подземних вода из одложеног отпада.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота дужан је да приликом преузимања отпада попуњава и доставља Документ о кретању отпада, у складу са Правилником о обрасцу документа о кретању отпада и упутству за његово попуњавање („Службени гласник РС“, број 114/13) и исти чува најмање две године.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота дужан је да о неприхватању отпада на депонију неопасног отпада обавештава орган надлежан за издавање дозволе, у складу са законом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да води дневну евиденцију и доставља годишњи извештај у току обављања делатности одлагања отпада на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, који ће посебно садржати и податке о преузетим количинама отпада за који није вршено испитивање отпада и податке о привремено складиштену отпаду који није прихваћен на депонију, у складу са уредбом.

Место предвиђено за одлагање неопасног – комуналног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) мора се одржавати чистим.

#### **4.2. Разношење и одвожење отпада**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да све количине неопасног отпада, који није наведен у тачки 4.3.1., предаје оператерима који имају дозволу за сакупљање и транспорт отпада и/или дозволу за складиштење и третман отпада, издату од стране надлежног органа за издавање дозвола за управљање отпадом.

#### **4.3. Идентификација отпада према врсти и својствима**

Предметни отпад је разврстан у складу са Правилником о категоријама, испитивању и класификацији отпада („Службени гласник РС”, број 56/10) и то:



#### 4.3.1. Неопасан отпад:

- мешани комунални отпад (20 03 01).

#### 4.4. Сировине, помоћни материјали, вода, енергија и друго

##### 4.4.1. Потрошња енергије и енергената

За потребе потрошача електричне енергије у комплексу регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот (објекат за особље, сервис за прање и дезинфекцију, колска вага, резервоар, осветљење) постављена је стубна трансформаторска станица преносног односа 10/0,4 kV, снаге трансформатора 160 kVA. Једновремена снага свих потрошача на депонији износи 76,84 kVA, тако да трансформаторска станица задовољава потребе депоније уз неопходну резерву за будућа проширења.

##### 4.4.2. Потрошња воде

ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота се снабдева водом (техничка вода и вода за пиће) преко спољних снабдевача. Техничка вода се допрема аутоцистернама ЈП „Комуналац“ из Пирота и складишти у резервоару техничке воде, одакле се пумпама разводи до објеката. Вода за пиће се према уговору набавља од реномираног снабдевача пијаће воде „La Fantana“.

На депонији вода се користи и за санитарне потребе и противпожарну заштиту.

#### 4.5. Одлагање отпада

##### 4.5.1. Класа депоније (за неопасан отпад)

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да одлаже неопасан – комунални отпад (наведен у тачки 4.3.1.) искључиво на простору за одлагање отпада на локацији регионалне санитарне депоније неопасног отпада „Мунтина падина“, општина Пирот, а уз поштовање Закона о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), Уредбе о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) и осталих важећих прописа.

##### 4.5.2. Процедура за пријем отпада

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у току обављања делатности одлагања отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) спроводи процедуре и режим рада на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10), а које обухватају следеће активности:

- режим кретања и процедуре рада за сва возила која улазе у комплекс депоније: контрола отпада на улазу, мерење отпада преко колске ваге, кретање сервисним саобраћајницама до активног дела депоније, истовар отпада на плански предвиђено место – сегмент депоније, прање и дезинфекција празног возила након истовара у објекту за прање и дезинфекцију, одлазак чистог возила са депоније или привремено паркирање на предвиђено место, с тим да возила за

распростирање и компактирање отпада, која се налазе у радној зони депоније не напуштају комплекс депоније;

- правила која се примењују приликом одлагања отпада и то да се: одлагање отпада започиње на најнижој коти депоније, обезбеди да дневна, радна површина буде што мања, свака довежена шаржа отпада одмах распростире и компактира; „ћелије (касете)“ депоније и „слојеви“ отпада формирају до пројектоване висине, обезбеде пројектовани нагиби радних површина, обезбеде свакодневно покривање радних површина инертним материјалом, обезбеде и дефинишу појединачни сегменти на телу депоније за све врсте отпада који се прихватају на депонији и да се слој сабијеног отпада прска дезинфекционим средством једном дневно у току летњег периода;
- контрола технолошког процеса рада депоније и то: контрола врсте и количине истовареног отпада, контрола спровођења пројектованог технолошког процеса експлоатације депоније, контрола одржавања тела депоније и саобраћајница, контрола квалитета прања и дезинфекције транспортних возила, контрола узрочника заразе, контрола количине и квалитета процедурне течности, контрола састава и количине издвојеног гаса и контрола заштите радника;
- свакодневне контроле настајања и квалитета процедурне и пречишћене течности на депонији на основу следећих параметара: температуре на улазу у пројектовани објекат и температуре околног ваздуха; рН вредности процедурне течности на улазу и пречишћене течности на излазу из пројектованог објекта; потрошње перманганата; биолошке потрошње кисеоника (ВРК);
- контрола издвајања гаса праћењем његовог састава и количине, посебно метана ( $\text{CH}_4$ ), угљен-диоксида ( $\text{CO}_2$ ) и кисеоника ( $\text{O}_2$ ), као и садржаја водоник-сулфида ( $\text{H}_2\text{S}$ ), уколико су присутни у депонијском гасу, а уз обавезу да се у објектима на депонији постави систем за детекцију присуства експлозивне количине метана.

#### 4.5.3. Укупан капацитет депоније

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота не може да допрема већу количину неопасног – комуналног отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) од пројектованог капацитета депоније.

Пројектовани капацитет (запремина) регионалне санитарне депоније неопасног отпада износи  $1.242.710 \text{ m}^3$ . Максимална укупна површина за депоновање неопасног отпада износи  $84.160 \text{ m}^2$  (отпад ће се одлагати у три фазе: запремина прве фазе износи  $408.620 \text{ m}^3$ , запремина друге фазе износи  $471.744 \text{ m}^3$  и запремина треће фазе износи  $362.346 \text{ m}^3$ ).

Планирана годишња количина неопасног отпада који ће да се одлаже на регионалној депонији неопасног отпада износи  $26.000 \text{ t}$ .

#### 4.5.4. Оперативни план са распоредом и динамиком пуњења депоније

На регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот одлаже се неопасан – комунални отпад (наведен у тачки 4.3.1.).

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да формирање и распоред попуњавања ћелија спроводи у складу са Оперативним планом са распоредом и динамиком пуњења депоније, који је оператер приложио уз захтев за издавање дозволе за одлагање отпада.

#### **4.5.5. План за затварање и рекултивацију**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да обезбеди рекултивацију регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот после њеног затварања, као и да врши стручни надзор над депонијом, односно локацијом у периоду од најмање 30 година, са циљем смањења ризика по здравље људи и животну средину. Затварање и рекултивација депоније мора се спроводити у складу са предложеним Планом за затварања постројења, који је оператер приложио уз захтев за издавање дозволе за одлагање отпада, као и према пројекту, а све у складу са Законом о управљању отпадом и Уредбом о одлагању отпада на депоније.

#### **4.5.6. Финансијске или одговарајуће осигурање за покриће трошкова рада постројења, односно за случај удеса или штете причињене трећим лицима**

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је уз захтев за издавање дозволе за одлагање отпада на депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот приложио копију Полисе осигурања одговорности – законска грађанска одговорност осигураника из обављања делатности депоновање комуналног отпада за штете услед смрти, повреде тела или здравља неког лица и штете услед уништења или оштећења ствари које су последица загађивања тла и воде. Полиса је издата дана 24.04.2014. године од стране Компаније „Дунав осигурање“ а.д.о. Главна филијала осигурања Пирот, са премијом обрачунатом за период од 29.04.2014. године до 29.04.2015. године.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у периоду важења предметне дозволе обнавља Полису осигурања одговорности и да је доставља надлежном органу који је издао дозволу. Обновљену Полису неопходно је да оператер доставља за сваку наредну годину почев од 29.04.2015. године, закључно са датумом престанка важења ове дозволе.

### **5) Мере заштите животне средине и контрола загађивања**

#### **5.1. Граничне вредности емисија (ваздух, вода, бука)**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у току рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот прати параметре могућих емисија у ваздух, врши контролу квалитета отпадних вода и контролу буке, као и да предузме одговарајуће мере ради спречавања истих.

##### **5.1.1. Емисије у ваздух**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у току обављања делатности одлагања отпада на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, предузме мере ради спречавања емисија штетних и опасних материја у ваздух из стационарних извора емисије.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да предузме одговарајуће мере ради спречавања евентуалних емисија у спољни ваздух, односно да предузме одговарајуће мере у циљу акумулације, миграције и контроле депонијског

гаса, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10).

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да мерење емисије и концентрације депонијских гасова (узорковање и мерење) врши према учесталостима прописаним Уредбом о одлагању отпада на депоније.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да о извршеним мерењима емисије и концентрације гасова извештава надлежни орган.

### 5.1.2. Емисије у воду

Обавезује се оператер да мониторинг површинских и подземних (узорковање и испитивање) врши у прописаним временским интервалима, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније. Узорковање и испитивање обављају акредитоване установе за ту врсту испитивања.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да упуштање процедурних отпадних вода из тела депоније врши у постројењу за пречишћавање отпадних вода у оквиру комплекса регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да предузме одговарајуће мере ради спречавања неконтролисаних изливања процедурних отпадних вода ради осигурања стабилности депоније, обезбеђивања заптивања, односно водонепропусности која заједно са системом за пријем и одвођење процедурних вода спречава њено продирање у подтло депоније (облагањем депонијског дна вештачком заптивном фолијом и дренажним слојем).

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да предузме одговарајуће мере у циљу контролисаног управљања процедурним отпадним водама из тела депоније, атмосферским отпадним водама, санитарним отпадним водама и техничким отпадним водама, тако да се оне одвојено сакупљају и одводе до постројења за пречишћавање отпадних вода пре упуштања у градску канализациону мрежу, у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10), као и посебним прописима које регулишу заштиту вода.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да врши третман техничке отпадне воде у сепаратору масти и уља пре упуштања у постројење за пречишћавање отпадних вода (аерациона и таложна лагуна).

### 5.1.3. Бука

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у току обављања технолошких поступака на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот управља процесом рада у складу са Законом о заштити буке у животној средини („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10).

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у току обављања делатности одлагања неопасног – комунално отпада (наведеног у тачки 4.3.1.) обави мерења нивоа буке у складу са прописаним Правилником о методама мерења буке, садржини и обиму извештаја о мерењу буке („Службени гласник РС”, број 72/10) и Уредбом о индикаторима буке, граничним вредностима, методама за оцењивање индикатора буке, узнемиравања и штетних ефеката буке у животној средини. („Службени гласник РС”, број 75/10). Мерење буке врши организација овлашћена за такву врсту мерења.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у случају прекорачења дозвољеног нивоа буке спроведе мере у циљу смањења и постизања дозвољеног нивоа буке.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да о извршеним мерењима нивоа буке извештава надлежни орган.

## **5.2. Концентрација загађујућих материја у земљиште, воду и ваздух и утицај на њихов квалитет**

### **5.3. Заштита земљишта, подземних и површинских вода и ваздуха од загађивања**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да управља процесом рада на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, тако да не може доћи до загађивања земљишта, подземних и површинских вода, ваздуха и да обезбеди контролисано управљање процедурним водама и издвојеним гасовима услед обављања наведене активности.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да заштиту земљишта, подземних и површинских вода постигне комбинацијом геолошке баријере и доњег непрпусног слоја за време активне фазе депоније и комбинацијом геолошке баријере и горњег непрпусног слоја за време пасивне фазе након затварања депоније, односно да заштиту ваздуха постигне постављањем одговарајућег система за отплињавање и редовним прекривањем отпада инертним материјалом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да спроводи мере за спречавање или смањење загађења животне средине, у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) и посебним прописима.

### **5.4. Мониторинг (контрола и мерење)**

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је дужан да:

- спроводи и ажурира радни план постројења за управљање отпадом,
- води прецизну евиденцију преузетог отпада,
- води прецизну евиденцију одложеног отпада,
- врши контролно мерење могуће емисије загађујућих материја у складу са посебним прописима,
- врши контролу буке на граници са најближим објектима у складу са посебним прописима,
- врши узорковање и мерење у депонијској лабораторији за одређена свакодневна испитивања, односно да узорковање и мерење врши у акредитованој лабораторији у одређеним временским размацама или учесталије, ако подаци из депонијске лабораторије покажу да је дошло до било какве акцидентне ситуације или одступања од нултог стања одређених параметара,
- спроводи поступак смањења количина биоразградивог отпада који се одлаже на депонију и придржава се прописаних стопа смањења одлагања у складу са посебним прописима,
- спроводи мониторинг рада депоније у току активне фазе депоније и то метеоролошких параметара, површинских, подземних и процедурних вода, емисије гасова, количине падавинских вода, стабилности тела депоније,

заштитних слојева, педолошких и геолошких карактеристика, у складу са уредбом,

- по затварању депоније обезбеди одржавање и заштиту затворене депоније, као и контролу и мониторинг затворене депоније (пасивна фаза депоније), у складу са уредбом,
- при затварању депоније обезбеди несметано функционисање система за отплињавање (биотрнова) све док за тим постоји потреба, у складу са уредбом,
- обезбеди рекултивацију депоније после њеног затварања и врши стручни надзор над депонијом, односно локацијом у периоду од најмање 30 година, са циљем смањења ризика по здравље људи и животну средину,
- омогући контролу надлежног инспектора за заштиту животне средине над локацијама, објектима, спроведеним процедурама и наведеном документацијом.

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да мониторинг заштитних слојева депоније врши непрекидно док траје експлоатација депоније, а по престанку експлоатације осматрање и обраду података да врши у одређеним интервалима у складу са посебним прописима.

Оперетер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је такође дужан да спроводи мониторинг рада депоније у току активне и пасивне фазе депоније, у складу са уредбом.

## **6) Спречавање удеса и одговор на удес**

### **6.1. Извештавање у случају удеса**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да у случају удеса на регионалној санитарној депонији неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, одмах обавести Министарство пољопривреде и заштите животне средине, јединице локалне самоуправе (општину/град) и органе надлежне за поступање у ванредним ситуацијама, у складу са прописима којима се уређује наведена делатност и то о околностима везаним за удес, присутним опасним материјама, расположивим подацима за процену последица удеса за људе и животну средину и о предузетим хитним мерама.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота ће обавестити надлежни орган и о накнадно прикупљеним подацима који утичу на раније утврђене чињенице и закључке.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота ће у најкраћем могућем року обавестити надлежни орган о планираним мерама за отклањање средњорочних и дугорочних последица удеса и за спречавање настанка поновног удеса.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота ће спровести хитне, средњорочне и дугорочне мере отклањања последица удеса, а након извршене анализе свих аспеката удеса, дати препоруке за будуће превентивне мере.

## **7) Дефинитивни престанак рада постројења или његових делова**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да може затворити регионалну санитарну депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот или један њен део, и/или престати са радом када оствари услове за затварање и након одобрења надлежног органа, односно депонија или део депоније затвара се када се стекну услови за затварање депоније или услед непредвиђених

околности које угрожавају животну средину у складу са посебним прописима. У складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) оператер може извршити затварање депоније по процедурама и на начин да се након завршеног периода експлоатације формира горњи прекривни слој који ће да испуни техничко-технолошке услове за депонију неопасног отпада, тако да за слој за рекултивацију може користити компост или отпад добијен другим технологијама биолошког тремана, који по саставу задовољава граничне вредности параметара за одлагање отпада. Дефинитивни престанак рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот или њеног дела спровести по Плану затварања постројења – депоније, који је оператер приложио уз захтев за издавање дозволе за одлагање отпада као пратећу документацију. По престанку рада регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот или њеног дела, локација комплекса оператера ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота се мора довести у стање пре пуштања у рад депоније или дела депоније. При затварању депоније оператер обезбеђује несметано функционисање система за отплињавање (биотрнова), све док за тим постоји потреба у складу са Уредбом о одлагању отпада на депоније. По затварању депоније све до њеног одумирања оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота мора да обезбеђује одржавање, контролу и мониторинг затворене депоније, у складу са важећом законском регулативом.

#### **8) Извештавање**

Обавезује се оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота да се придржава прописане динамике извештавања према надлежним органима и институцијама у складу са Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10), Уредбом о одлагању отпада на депоније („Службени гласник РС”, број 92/10) и посебним прописима.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је дужан да, приликом преузимања било ког неопасног отпада, осим отпада из домаћинства, попуњава и доставља Документ о кретању отпада у складу са Правилником о обрасцу Документа о кретању отпада и упутству за његово попуњавање („Службени гласник РС”, број 114/13) и исти чува најмање две године.

#### **9) Нетехнички приказ података на којима се захтев заснива**

Четири јединице локалне самоуправе Пиротског округа, општине Пирот, Димитровград, Бабушница и Бела Паланка постигле су споразум о заједничком решавању проблема управљања комуналним чврстим отпадом. Јавно комунално предузеће „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је регионално предузеће које су наведене јединице локалне самоуправе основале ради обезбеђивања трајног обављања делатности од општег интереса и уредног задовољавања потреба корисника услуга, као и експлоатације регионалне санитарне депоније и реализације регионалне шеме управљања отпадом.

На локацији регионалне санитарне депоније неопасног отпада „Мунтина падина“, општина Пирот и у њеној непосредној близини нема заштићеног биљног и животињског света, заштићених објеката, археолошког налазишта, природног лечилишта.

Радам регионалне санитарне депоније неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот не долази до угрожавања чиниоца животне средине и

сагласно условима и мерама не може се умањити квалитет животне средине у окружењу, обзиром да је пројектном документацијом предвиђен висок степен заштите, као и мониторинг којим је обезбеђено праћење параметара који могу да угрозе животну средину.

На основу напред изнесеног може се закључити да регионална санитарна депонија неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот уз примену свих прописаних мера заштите, неће угрожавати постојеће стање животне средине, а кроз мониторинг је остварена контрола испуњености услова заштите животне средине.

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је доставио сву документацију прописану Законом о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10) и Правилником о обрасцу захтева за издавање дозволе за складиштење, третман и одлагање отпада („Службени гласник РС”, број 96/09).

2. Трошкове поступка издавања дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада у износу од 59.040,00 динара (Републичка административна такса за подношење захтева у износу од 290,00 динара и за издавање решења у износу од 58.750,00 динара) сноси оператер на депонији.

## ОБРАЗЛОЖЕЊЕ

Оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота је дана 14. октобра 2013. године поднео Министарству енергетике, развоја и заштите животне средине, као надлежном органу у овом поступку Захтев за издавање дозволе за одлагање отпада на депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, број предмета 19-00-00658/2013-05. У поступку припреме предметне дозволе за управљање отпадом на локацији оператера, узети су у обзир: Захтев оператера са потребним подацима, потврда о регистрацији привредног субјекта, радни план постројења за управљање отпадом, план заштите од удеса, санациони план за отклањање последица пожара, решење о разврставању објекта власника Општине Пирот односно корисника ЈКП „Регионална депонија Пирот“ Пирот у категорију III угрожености од пожара, изјава о методама одлагања отпада, решење о давању сагласности на Студију о процени утицаја на животну средину за пројекат регионалне санитарне депоније чврстог комуналног отпада на локацији „Мунтина падина“ у Пироту, копије одобрења, сагласности и дозвола од других надлежних органа издатих у складу са законом, мишљење Општинске управе Пирот о поднетом захтеву, полиса осигурања одговорности осигураника из обављања делатности депоновање комуналног отпада, подаци о квалификованом лицу одговорном за стручни рад за управљање неопасним отпадом, податак о отпаду; упутство о критеријумима и процедурама за прихватање или неприхватање отпада на депонију, записник републичког инспектора о испуњености услова за издавање дозволе за одлагање отпада и доказ о уплати одговарајуће административне таксе.

Приликом разматрања захтева, Министарство пољопривреде и заштите животне средине, као правни следбеник Министарства енергетике, развоја и заштите животне средине одређено чланом 37. Закона о министарствима („Службени гласник РС”, број 44/14), ценећи документацију коју је оператер ЈКП „Регионална депонија Пирот“ из Пирота поднео уз захтев, је спровело предвиђени поступак сходно Закону о управљању отпадом („Службени гласник РС”, бр. 36/09 и 88/10) у коме је обезбеђено учешће заинтересованих органа/организација и заинтересоване јавности. У датом року



достављено је позитивно мишљење Општинске управе Пирот, Одељење за урбанизам, стамбено-комуналне послове, грађевинарство и инспекцијске послове .

У вези са напред изнетим Министарство пољопривреде и заштите животне средине је оценило да су испуњени услови за издавање предметне дозволе за одлагање отпада (наведен у тачки 4.3.1.) на депонију неопасног отпада на локацији „Мунтина падина“, општина Пирот, те се од 08. септембра 2014. године уписује у Јавни регистар издатих дозвола за управљање отпадом под **редним бројем 1504.**

ПОУКА О ПРАВНОМ ЛЕКУ: Против овог решења оператер може изјавити жалбу Влади Републике Србије у року од 15 дана од дана пријема решења.

  
ДРЖАВНИ СЕКРЕТАР  
проф. др Зоран Рајић

Достављено:

- Оператеру ЈКП „Регионална депонија Пирот“,  
Мунтина падина бб, 18300 Пирот,
- У регистар издатих дозвола за управљање отпадом,
- Сектору за контролу и надзор,
- Архиви.