



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ



Наталија Н. Петровић

**МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ
ВОДА У ФУНКЦИЈИ ПРОЦЕНЕ УТИЦАЈА НА ПРИЈЕМНА ВОДНА
ТЕЛА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Текст ове докторске дисертације ставља се на увид јавности,
у складу са чланом 30., став 8. Закона о високом образовању
("Сл. гласник РС", бр. 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 44/2010,
93/2012, 89/2013 и 99/2014)

НАПОМЕНА О АУТОРСКИМ ПРАВИМА:

Овај текст сматра се рукописом и само се саопштава јавности (члан 7. Закона о ауторским и сродним правима, "Сл. гласник РС", бр. 104/2009, 99/2011 и 119/2012).

Ниједан део ове докторске дисертације не сме се користити ни у какве сврхе, осим за упознавање са њеним садржајем пре одбране дисертације.

Ниш, 2024.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF OCCUPATIONAL SAFETY



Natalija N. Petrović

**LANDFILL LEACHATE PARAMETERS MODELING AS A
FUNCTION OF IMPACT ASSESSMENT ON RECEIVING WATER
BODIES**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2024.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор:

др Дејан Васовић, ванредни професор
Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу

Наслов:

Моделирање параметара депонијских процедурних вода у функцији процене утицаја на пријемна водна тела

Резиме:

Истраживање у дисертацији се фокусира на моделирање одабраних параметара квалитета депонијских процедурних вода, са циљем креирања квалитативне и квантитативне основе за процену њиховог утицаја на пријемна водна тела. Дисертација обухвата анализу процеса генерисања процедурних вода, као и трансформације кроз које депонијске процедурне воде пролазе у телу депонија и у реципијенту.

Кроз истраживање је извршено моделирање стопе миграције и састава процедурних вода, а затим је извршена и компаративна анализа између количине и састава процедурних вода на санитарним (реално стање са заштитном баријером) и на несанитарним депонијама (акцидентно стање без заштитне баријере).

У дисертацији је коришћен софтвер LandSim који је намењен за моделирање састава депонијских процедурних вода, симулацију кретања депонијских процедурних вода до пријемног водна тела. Прорачун квалитативне процене ризика специфичних перформанси депоније извршен је на основу стопе инфилтрације на депонији, карактеристика заштитних баријера и величине тела депоније. Елементи за процену ризика по пријемна водна тела су извор настанка загађења (депоновани отпад), непропусне (заштитне) баријере и реципијент.

Научни и друштвени допринос у дисертацији огледа се у моделирању перформанси рада депонија, у контексту да депоније без заштитне баријере указују на знатно више концентрације компоненти у процедурној води, са значајним утицајем на реципијенте у односу на депоније са заштитном баријером. Дефинисањем стопе миграције процедурних вода на санитарним и несанитарним депонијама, недвосмислено је доказано да значајно већа количина процедурне воде пролази кроз дно несанитарне депоније у односу на санитарну депонију.

Резултати дисертације указују на повећан ниво ризика несанитарних депонија по пријемна водна тела у току критичних година рада депоније и то већ након 5, 10 и 30 година. С друге стране, у случају санитарних депонија, повећан ниво ризика забележен је у критичним годинама и то након 300, 700 и 1500 година рада депоније. Допринос дисертације у области моделирања одабраних параметара у различитим временским интервалима рада депоније доводи до великог значаја за оптимизацију система мониторинга у различитим фазама старења депоније.

Научна област:	Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду
Научна дисциплина:	Управљање квалитетом радне и животне средине
Кључне речи:	Депонијске процедурне воде, управљање отпадом, пројектовање депонија, процена утицаја депонија, пријемна водна тела, заштита животне средине
УДК:	628.472(043.3)
CERIF класификација:	T 270 Технологија животне средине, контрола загађивања
Тип лиценце креативне заједнице:	Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral
Supervisor:

dr Dejan Vasović, Associate Professor
University of Niš, Faculty of Occupational Safety in Niš

Title:

Landfill Leachate Parameters Modeling as a Function of Impact Assessment on Receiving Water Bodies

Abstract:

The research in this dissertation focuses on modeling selected parameters of landfill leachate quality, aiming to create a qualitative and quantitative basis for assessing their impact on receiving water bodies. The dissertation includes an analysis of the leachate generation processes, as well as the transformations that landfill leachates undergo within the landfill body and in the recipient.

The study conducted modeling of the migration rate and composition of leachates, followed by a comparative analysis between the quantity and composition of leachates at sanitary landfills (real case scenario, with a protective barrier) and unsanitary landfills (worst case scenario, without a protective barrier).

The dissertation uses the LandSim software modeling method, which is designed for modeling the composition of landfill leachates, simulating the movement of landfill leachates, and analyzing their impact on receiving water bodies. Qualitative risk assessment calculations of specific landfill performances were conducted based on the infiltration rate at the landfill, characteristics of protective barriers, and the size of the landfill body. Risk assessment elements include the source of contamination (deposited waste), impermeable (protective) barriers, and the recipient.

The scientific and social contribution of the dissertation is reflected in modeling landfill performance, highlighting that landfills without protective barriers show significantly higher concentrations of components in the leachate, with substantial impact on the recipients compared to landfills with a protective barrier. By defining the migration rate of leachates at sanitary and unsanitary landfills, it has been unequivocally demonstrated that a significantly larger amount of leachate passes through the base of an unsanitary landfill compared to a sanitary landfill.

The results of the dissertation indicate an increased level of risk for unsanitary landfills to the receiving water bodies during the critical years of landfill operation, after 5, 10 and 30 years. On the other hand, in the case of sanitary landfills, an increased level of risk was recorded in critical

years, after 300, 700 and 1500 years of landfill operation. The contribution of the dissertation in the field of modeling selected parameters at different time intervals of landfill operation leads to great importance for the optimization of the monitoring system in different phases of landfill aging.

Scientific Field:	Environmental and Occupational Safety Engineering
Scientific Discipline:	Working and Living Environment Quality
Keywords:	Landfill Leachate, Waste Management, Landfill Design, Landfill Impact Assessment, Receiving Water Bodies, Environmental Protection
UDC:	628.472(043.3)
CERIF Classification:	T270 Environmental technology, pollution control
Creative Commons License Type:	Selected License Type: CC BY-NC-ND

ЗАХВАЛНОСТ АУТОРА

На самом почетку, велику захвалност дугујем ментору др Дејану Васовићу како на стручној и професионалној тако и на моралној подршци коју ми је пружао током израде ове докторске дисертације.

Такође, захваљујем се и др Јасмини Радосављевић на свим корисним саветима који су унапредили квалитет ове дисертације.

Захваљујем се и свим члановима Комисије на сугестијама које су ми пуно помогле у току истраживања.

Велику захвалност дугујем Братимиру Нешићу и Нели Цветковић који су са мном несебично поделили своје практично знање, искуство и техничку документацију која је знатно допринела квалитету овог истраживања.

Захвална сам својој породици, ћерки Нађи и супругу Немањи, на неограниченој љубави, пажњи и подршци коју ми свакодневно пружају, чиме су заслужни за реализацију ове дисертације.

На крају, ову докторску дисертацију посвећујем жени која је била мој стуб током целог мог живота и професионалне каријере, мојом мами.

У Нишу, 2024. године

Аутор

Наталија Петровић

САДРЖАЈ

1. УВОД	21
1.1. Предмет научног истраживања.....	21
1.2. Циљ истраживања	24
1.3. Хипотезе истраживања	24
1.4. Очекивани резултати	25
1.5. Примењене научне методе	25
1.6. Научни и друштвени допринос истраживања.....	26
2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА	28
3. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ КОМУНАЛНИМ ОТПАДОМ КАО ПОЛАЗНА ОСНОВА ЗА УПРАВЉАЊЕ ПРОЦЕДНИМ ДЕПОНИЈСКИМ ВОДАМА.....	42
3.1. Особине чврстог комуналног отпада.	47
3.2. Третман комуналног отпада	52
3.2.1. Одлагање отпада на депонијама	54
3.3. Интеракција депонија са пријемним водним телима	60
4. ПРОЦЕДНЕ ВОДЕ НА ДЕПОНИЈАМА ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА.....	65
4.1. Састав процедних вода.....	69
4.1.1. Састав отпада.....	70
4.1.2. Садржај влаге у отпаду	71
4.2. Количине процедурне воде у телу депоније	74
4.3. Квалитет процедурних депонијских вода	76
5. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДЕПОНИЈА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА	83
5.1. Зона депоновања.	86
5.1.1 Заштитна непропусна подлога санитарне депоније (Engineered barrier system-EBS)..	87
5.1.2. Систем за дренажу подземних вода.....	93
5.1.3. Систем за сакупљање и каналисање атмосферских падавина	96
5.1.4. Систем за сакупљање депонијског гаса	97
5.1.5. Систем за сакупљање процедурних вода са депонија	98
5.1.6. Бране на санитарним депонијама.	103

5.2. Депоновање отпада на санитарним депонијама	104
6. МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА ПАРАМЕТАРА МИГРАЦИЈЕ ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА	106
6.1. Метода прорачуна миграције процедурних вода софтвером MODULO 4.0	107
6.2. Метода прорачуна миграције процедурне воде софтвером HELP	110
6.3. Метода прорачуна миграције процедурне воде софтвером LandSim	112
6.3.1. LandSim интерфејс	113
6.3.2. Математички модели прорачуна миграције процедурних депонијских вода у софтверу LandSim	118
7. МЕРЕЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ПРОЦЕДНИХ ВОДА НА ДЕПОНИЈАМА ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА	122
7.1. Регионална санитарна депонија „Гигош“ у Јагодини	123
7.1.1. Климатске, хидролошке и геоморфолошке карактеристике локације	124
7.1.2. Опис локације регионалне санитарне депоније „Гигош“	128
7.1.3. Депоновање отпада на локацији „Гигош“	130
7.1.4. Тело депоније „Гигош“	133
7.1.4.1. Системи заштите локације „Гигош“	133
7.1.4.2. Дренажни систем локације „Гигош“	136
7.1.5. Мониторинг рада депоније	139
7.1.6. Резултати мерења количине и састава депонијских процедурних вода на депонији „Гигош“	141
7.1.6.1. Анализа концентрација параметара процедурних вода на депонији „Гигош“	150
7.2. Санитарна депонија „Метерис“ у Врању	162
7.2.1. Климатске, хидролошке и геоморфолошке карактеристике локације „Метерис“	165
7.2.2. Опис локације санитарне депоније „Метерис“	168
7.2.3. Депоновање отпада на локацији „Метерис“	170
7.2.4. Тело санитарне депоније „Метерис“	172
7.2.4.1. Системи заштите локације „Метерис“	172
7.2.4.2. Дренажни систем локације „Метерис“	173
7.2.5. Мониторинг рада депоније	176

7.2.6. Резултати мерења количине и састава депонијских процедурних вода на депонији „Метерис“	177
7.2.6.1. <i>Анализа концентрација параметара процедурних вода на депонији „Метерис“</i> ..	183
8. СОФТВЕРСКО МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА И СИМУЛАЦИЈЕ МИГРАЦИЈЕ ПРОЦЕДНИХ ВОДА	197
8.1. Модели регионалне санитарне депоније „Гигош“	198
8.1.1. Валидација података добијених софтвером LandSim поређењем са лабораторијским анализама узорака процедурних вода са депоније „Гигош“	198
8.1.2. Предикциони модели реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“	206
8.1.2.1. <i>Резултати предикционих модела концентрација компонената реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“</i>	209
8.1.3. Предикциони модели акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“	228
8.1.3.1. <i>Резултати предикционих модела концентрација компонената акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“</i>	230
8.1.4. Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања на регионалној санитарној депонији „Гигош“	248
8.2. Модели санитарне депоније „Метерис“	255
8.2.1. Валидација података добијених софтвером LandSim поређењем са лабораторијским анализама узорака процедурних вода са депоније „Метерис“	255
8.2.2. Предикциони модели реалног стања санитарне депоније „Метерис“	263
8.2.2.1. <i>Резултати предикционих модела концентрација компонената реалног стања санитарне депоније „Метерис“</i>	266
8.2.3. Предикциони модели акцидентног стања санитарне депоније „Метерис“	282
8.2.3.1. <i>Резултати предикционих модела концентрација компонената акцидентног стања санитарне депоније „Метерис“</i>	284
8.2.4. Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања на санитарној депонији „Метерис“	302
8.3. Упоредна анализа предикционих модела регионалне санитарне депоније „Гигош“ и предикционих модела санитарне депоније „Метерис“	309
8.3.1. Упоредна анализа модела реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ и санитарне депоније „Метерис“	311

8.3.2. Упоредна анализа модела акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ и санитарне депоније „Метерис“	317
8.4. Процена утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела.....	323
9. ЗАКЉУЧАК	333
ЛИТЕРАТУРА	343

ПОПИС СЛИКА

Слика 2.1 Поређење миграције процедурних вода у зависности од различитих система облога [30]	34
Слика 2.2. Концентрације тешких метала у зависности од система облога [30]	34
Слика 2.3 Стопа цурења процедурне воде у различитим временским интервалима (3,5,10,30 и 100 година рада депоније) [31]	36
Слика 3.1 Количине генерисаног комуналног отпада у ЕУ за 2005. и 2020. годину [77]	44
Слика 3.2. Морфолошки састав мешовитог комуналног отпада у Републици Србији 2020. године [79]	47
Слика 3.3. Пројектовани састав генерисаног отпада у Републици Србији у периоду од 2022. до 2030. године (%) [79]	49
Слика 3.4. Морфолошки састав комуналног отпада у ЕУ [76]	50
Слика 3.5. Рециклажа комуналног отпада у ЕУ [77]	53
Слика 3.6 Мапа санитарних депонија у Републици Србији [87]	55
Слика 3.7 Приказ одложених количина комуналног отпада на санитарним депонијама у Републици Србији до 2020. године [80]	57
Слика 3.8 Обухваћеност становништва санитарним депонијама у Републици Србији [80]	58
Слика 3.9 Мапа несанитарних депонија на територији Републике Србије [87]	58
Слика 3.10 Удаљеност депонија од пријемних водних тела [92]	61
Слика 4.1 Фазе деградације комуналног отпада [4]	66
Слика 4.2 Промене у саставу процедурне воде кроз фазе разлагања отпада [102]	69
Слика 4.3 Кретање воде кроз тело депоније [102]	73
Слика 4.4 Зависност вредности коефицијента апсорпције од нагиба терена (а) терен у нагибу, б (раван терен) [102]	75
Слика 5.1 Инфраструктура санитарне депоније [4]	85
Слика 5.2 Припрема подлоге санитарне депоније [54]	87
1. Глинена подлога; 2. Бентофикс; 3. HDPE геомембрана; 4. Заштита са Секутекстом; 5. Систем за сакупљање процедурних вода; 6 отпад	87
Слика 5.3 Варене и постављање ХДПЕ фолије	90
https://www.srem-macva.rs/galerija/izgradnja-deponije/	90
Слика 5.4 Постављање подлога на дну депоније [134]	90
Слика 5.5 Пресек кроз тело депоније [139]	93
Слика 5.6 Основни елементи система за дренажу подземних вода	94
(1. Излив ; 2. Главни канал за дренажу; 3. Дренажни колектори- служе за сакупљање воде из сабирно регулационе мреже; 4. Сабирно регулациона мрежа обухвата дренажне цеви или дубоке канале за дренажу воде) [140]	94
Слика 5.7 Попречни пресек система за дренажу подземних вода	95
d- висина подземне воде изнад дрена, D- пречник дрена; L- растојање између дрена, hd- растојање дрена до водонепропусне подлоге, ΔН- висина депресије, h _s висина снижавања нивоа подземних вода, [140]	95
Слика 5.8 Постављање цеви за дренажу подземних вода на депонији	95
http://www.srem-macva.rs/galerija/izgradnja-deponije/izgradnja-deponije-drenaza-podzemnih-voda	95

Слика 5.9 Ободни канали на депонији [54]	96
Слика 5.10 Део активног система за прикупљање депонијског гаса [57].....	98
Слика 5.11 Изглед дренажних цеви за сакупљање процедурних вода [54].....	100
Слика 5.12 Изглед система дренажних цеви за сакупљање и транспорт процедурне воде до колектора; Разгранати тип (а), лепезасти тип (б); паралелни тип (в).....	101
1. шахт где се вода сакупља и касније одводи до места за третман, 2. сабирне перфориране цеви [54]	101
Слика 5.13 Систем третмана процедурних вода [144].....	102
Слика 5.14 Брана на депонији која је у нагибу (4. заштитни канали за кишу, 5. тело депоније, 8. брана, 9. одвод дренажних вода, 11. дневни прекривни слој материјала, 12. завршни прекривни слој) [54].....	104
Слика 6.1 Шема општег алгоритма прорачуна софтвера MODUELO 4.0 [148]	108
Слика 6.2 HELP и LandSim модели, параметри и процеси њиховог повезивања [31]	111
Слика 6.3 Конфигурација система за одводњавање са гребеним базним цевима (нагиби у оба смера) (а) и конфигурација једноставног дренажног система са нагнутим основним цевима (нагиби у једном смеру) (б) [130]	115
Слика 6.4 смер кретања процедурних вода у случају нагиба у оба смера (а) и у случају нагиба у једном смеру (б) [130].....	116
Слика 6.5 Типови система заштитних облога (EBS) [130].....	116
Слика 7.1 Положај регионалне санитарне депоније „Гигош“ [32].....	124
Слика 7.2 Просечне месечне вредности температуре и релативне влажности ваздуха за подручје Јагодине	125
Слика 7.3. Просечне количине падавина и просечан број дана падавина по месецима за Град Јагодину.....	126
Слика 7.4 Шири положај локације Регионалне санитарне депоније „Гигош“[155]	128
Слика 7.5 Изглед депоније „Гигош“ са околином [156].....	129
Слика 7.6 Каскадно тело депоније „Гигош“ [156]	130
Слика 7.7 Детаљ попречног пресека тела депоније „Гигош“[157].....	135
Слика 7.8 Детаљи заштитних слојева дна тела депоније [155].....	135
Слика 7.9 Ситуација одвођења вода са комплекса депоније „Гигош“ [102]	137
Слика 7.10 Детаљ канала дренажне мреже процедурних вода на локацији [102]	139
Слика 7.11 Локације пијезометара на подручју депоније „Гигош“	141
Слика 7.12 Максималне годишње вредности концентрације укупног азота у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	151
Слика 7.13 Максималне годишње вредности концентрације флуорида у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	152
Слика 7.14 Максималне годишње вредности концентрације нитрита у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	153
Слика 7.15 Максималне годишње вредности концентрације нитрата у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	154
Слика 7.16 Максималне годишње вредности концентрације сулфата у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	155
Слика 7.17 Максималне годишње вредности концентрације цијанида у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	156

Слика 7.18 Максималне годишње вредности концентрације фенола у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	157
Слика 7.19 Максималне годишње вредности концентрације арсена у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	157
Слика 7.20 Максималне годишње вредности концентрације хрома у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	158
Слика 7.21 Максималне годишње вредности концентрације никла у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	159
Слика 7.22 Максималне годишње вредности концентрације гвожђа у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	160
Слика 7.23 Максималне годишње вредности концентрације мангана у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	160
Слика 7.24 Максималне годишње вредности концентрације олова у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	161
Слика 7.25 Максималне годишње вредности концентрације живе у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини	162
Слика 7.26 Географски положај града Враћа	163
Слика 7.27 Макролокација депоније „Метерис“ [166]	163
Слика 7.28 Орто-фото снимак макролокације депоније „Метерис“ [166]	164
Слика 7.29 Микролокација депоније „Метерис“ [168]	165
Слика 7.30 Изглед депоније „Метерис“ [168]	169
Слика 7.31 Пресек кроз тело депоније „Метерис“ 1. Збијени слој тла; 2. HDPE фолија; 3. Дренажни слој шљунка; 4. Висина ћелије (слоја); 5. Висина прекривног материјала; 6. Ћелија; 7. Радно чело; 8. Завршни рекултивациони слој [164]	172
Слика 7.32 Детаљ полагања дренаже у телу депоније „Метерис“ [164]	173
Слика 7.33 Процедне и атмосферске воде са депоније „Метерис“ [165]	175
Слика 7.34 Максималне годишње вредности концентрације укупног азота у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	184
Слика 7.35 Максималне годишње вредности концентрације флуорида у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	185
Слика 7.36 Максималне годишње вредности концентрације нитрита у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	186
Слика 7.37 Максималне годишње вредности концентрације нитрата у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	187
Слика 7.38 Максималне годишње вредности концентрације сулфата у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	188
Слика 7.39 Максималне годишње вредности концентрације цијанида у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	189
Слика 7.40 Максималне годишње вредности концентрације фенола у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	190
Слика 7.41 Максималне годишње вредности концентрације арсена у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	191
Слика 7.42 Максималне годишње вредности концентрације хрома у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	192

Слика 7.43 Максималне годишње вредности концентрације никла у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	192
Слика 7.44 Максималне годишње вредности концентрације гвожђа у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	193
Слика 7.45 Максималне годишње вредности концентрације мангана у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	194
Слика 7.46 Максималне годишње вредности концентрације олова у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“	195
Слика 7.47 Максималне годишње вредности концентрације живе у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Метерис“	196
Слика 8.1 Интервал поверења око просечне разлике измерене и симулиране вредности компоненти у процедурној води (х оса- средња вредност два мерења, у-оса разлика првог и другог мерења).....	205
Слика 8.2 Висина процедурне воде на дну тела регионалне санитарне депоније „Гигош“ (реално стање).....	207
Слика 8.3 Предикциони модел стопе миграције процедурне воде кроз ЕБС на реалном стању депоније „Гигош“	208
Слика 8.4 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	211
Слика 8.5 Концентрације укупног нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	213
Слика 8.6 Концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	214
Слика 8.7 Концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	215
Слика 8.8 Концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	216
Слика 8.9 Концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	218
Слика 8.10 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	219
Слика 8.11 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	220
Слика 8.12 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	222
Слика 8.13 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	223
Слика 8.14 концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	224
Слика 8.15 Модели концентрација олова на дну тела депоније и изван локације реалног стања депоније „Гигош“	225
Слика 8.16 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	226
Слика 8.17 Висина процедурне воде на дну тела депоније „Гигош“ (акцидентно стање).....	228
Слика 8.18 Предикциони модел стопе миграције процедурне воде кроз дно депоније „Гигош“ (акцидентно стање)	229

Слика 8.19 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	232
Слика 8.20 Концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	234
Слика 8.21 Концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	235
Слика 8.22 Концентрације флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	236
Слика 8.23 Концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	237
Слика 8.24 Концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	238
Слика 8.25 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	239
Слика 8.26 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	241
Слика 8.27 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	242
Слика 8.28 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	243
Слика 8.29 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	243
Слика 8.30 Концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	245
Слика 8.31 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	246
Слика 8.32 Висина процедурне воде на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Гигош“	248
Слика 8.33 Стопа миграције процедурне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“	250
Слика 8.34 Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“	252
Слика 8.35 Интервал поверења око просечне разлике измерене и симулиране вредности (х осе-средња вредност два мерења, у-оса разлика првог и другог мерења)	263
Слика 8.36 Висина процедурне воде на дну тела депоније „Метерис“ (реално стање)	264
Слика 8.37 Стопа миграције процедурне воде кроз ЕБС на моделу реалног стања депоније „Метерис“	265
Слика 8.38 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	267
Слика 8.39 Концентрације укупног нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	269
Слика 8.40 Концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	270
Слика 8.41 Концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	271

Слика 8.42 Концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	272
Слика 8.43 Концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	273
Слика 8.44 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“	274
Слика 8.45 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	275
Слика 8.46 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	276
Слика 8.47 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	278
Слика 8.48 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	278
Слика 8.49 Модели концентрација олова на дну тела депоније и изван локације реалног стања депоније „Метерис“	279
Слика 8.50 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“	280
Слика 8.51 Висина процедурне воде на дну тела депоније „Метерис“ (акцидентно стање)	282
Слика 8.52 Предикциони модел стопе миграције процедурне воде кроз дно депоније „Метерис“ (акцидентно стање)	283
Слика 8.53 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	286
Слика 8.54 Концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	288
Слика 8.55 Концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	289
Слика 8.56 Концентрације флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	290
Слика 8.57 Концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	291
Слика 8.58 Концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	292
Слика 8.59 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“	294
Слика 8.60 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	295
Слика 8.61 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	296
Слика 8.62 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	297
Слика 8.63 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	298
Слика 8.64 Концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“	299

Слика 8.65 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.....	300
Слика 8.66 Висина процедна воде на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Метерис“.....	302
Слика 8.67 Стопа миграције процедурне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“.....	304
Слика 8.68 Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“	306
Слика 8.69 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе нутријената и органских супстанци на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“.....	312
Слика 8.70 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“.....	313
Слика 8.71 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе метала на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“	315
Слика 8.72 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе нутријената и органских супстанци на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“ у односу на МДК.....	318
Слика 8.73 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“	319
Слика 8.74 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе метала на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“	321

ПОПИС ТАБЕЛА

Табела 2.1 Преглед литературе претходних истраживања о процедурним водама и симулационих модела.....	40
Табела 3.1. Количине генерисаног комуналног отпада у Републици Србији у периоду 2011-2021. године [80]	45
Табела 3.2. Количине генерисаног и третираног комуналног отпада у 2020. години [79]	46
Табела 3.3. Пројектоване количине генерисаног комуналног отпада за Републику Србију у периоду од 2022. до 2030. године [79]	46
Табела 3.4. Просечан морфолошки састав мешовитог комуналног отпада у Републици Србији у 2020. години [79]	48
Табела 3.5 Садржај влаге код појединих компонената комуналног отпада [54].....	51
Табела 3.6. Густина појединих компонената комуналног отпада [54]	51
Табела 3.7 Хемијска анализа комуналног отпада са депонија[57]	52
Табела 3.8 Количина одложеног отпада на санитарним депонијама у периоду од 2015.-2021. године [80]	56
Табела 3.9 Врсте интеракције између депонија и пријемних водних тела [92].....	61
Табела 3.10 Хемијски и физичко-хемијски параметри оцене еколошког статуса водних тела типа 2 [95]	62
Табела 3.11 Оквирне удаљености санитарних депонија од великих пријемних водних тела	63
Табела 4.1. Просечна влажност и састав компоненти комуналног чврстог отпада [54]	71
Табела 4.2. Подаци о саставу процедурних вода са санитарних депонија у САД и Русији, као и лабораторијски подаци из.....	81
београдског отпада[102]	81
Табела 4.3. Подаци о саставу процедурних вода са санитарне депоније и градске канализације за град Bad Hall у Аустрији [102].....	82
Табела 5.1 Техничке карактеристике синтетичке глине [132]	89
Табела 5.2 Техничке карактеристике HDPE геомембранске фолије[132]	91
Табела 5.3 Техничке карактеристике синтетичког геотекстила [132].....	92
Табела 6.1 Повезани ефекти на депонији у току времена [153].....	113
Табела 7.1 Састав процедурних вода и концентрације појединих компоненти у њиховом саставу [102]	123
Табела 7.2 Количина одложеног отпада на депонији „Гигош“ у периоду од 2015-2022. године [87]	131
Табела 7.3 Морфолошки састав отпада који се одлаже на депонији „Гигош“ [102]	131
Табела 7.4 Резултати мерења концентрације компонената процедурне воде на регионалној санитарној депонији „Гигош“ [158], [159], [160], [161], [162]	145
Табела 7.5 Максималне измерене вредности појединих компоненти на депонији „Гигош“	151
Табела 7.6 Средње и екстремне вредности температуре-станица Врање [165]	166
Табела 7.7 Средње и екстремне вредности падавина- станица Врање [165]	166
Табела 7.8 Годишњи подаци о падавинама за град Врање [166]	167
Табела 7.9 Морфолошки састав комуналног отпада који се одлаже на депонију Метерис [143]	170

Табела 7.10 Укупна количина депонованог отпада на депонији „Метерис“ за 2021. годину [169]	171
Табела 7.11 Резултати мерења концентрације компонената процедурне воде на санитарној депонији „Метерис“ [170].....	179
Табела 7.12 Максималне измерене вредности појединих компоненти на депонији „Метерис“	183
Табела 8.1 Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Гигош“	199
Табела 8.2 Концентрације компоненти у процедурним водама депоније „Гигош“ измерене у лабораторијским условима и LandSim симулацијама.....	201
Табела 8.3 Статистичка валидација измерених и симулираних вредности компонената процедурне воде на депонији „Гигош“	203
Табела 8.4 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела реалног стања депоније „Гигош“ и на рецептору добијене симулатором LandSim.....	210
Табела 8.5 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Гигош“ и рецептору добијене симулатором LandSim (акцидентно стање)	231
Табела 8.6 Фактор повећања између концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног на депонији „Гигош“	254
Табела 8.7. Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Метерис“ софтверским алатом LandSim	255
Табела 8.8 Концентрације компоненти у процедурним водама депоније „Метерис“ измерене у лабораторијским условима и LandSim симулацијама.....	258
Табела 8.9 Статистичка валидација измерених и симулираних вредности компонената процедурне воде на депонији „Метерис“.....	260
Табела 8.10 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору добијене симулатором LandSim	266
Табела 8.11 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и рецептору добијене симулатором LandSim (акцидентно стање).....	285
Табела 8.12 фактор повећања између концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног на депонији „Метерис“	308
Табела 8.13 Количине отпада које се одлажу на депонији „Метерис“ и на депонији „Гигош“ у периоду од 2015-2022. године [87]	309
Табела 8.14 Морфолошки састав отпада који се одлаже на депонијама Гигош и Метерис [143], [155]	310
Табела 8.15 Фактор повећања између максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног стања депоније „Гигош“ и на моделу реалног стања депоније „Метерис“.....	315
Табела 8.16 Фактор повећања између максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“ и на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.....	321
Табела 8.17 Оцена ризика процедурних вода са депонија реалног и акцидентног стања депоније Гигош на пријемно водно тело	327
Табела 8.18 Оцена ризика процедурних вода са депонија реалног и акцидентног стања депоније Метерис на пријемно водно тело	328

1. УВОД

1.1. Предмет научног истраживања

У проблематици заштите вода, поред карактеристичних дифузних (пољопривреда, рударство) и тачкастих извора загађења (насеља, индустрија) посебан проблем представљају отпадне воде које се јављају на депонијама чврстог комуналног отпада. Квантитет и квалитет оваквих отпадних вода зависи од више утицајних фактора (клима, количина и састав отпада, хидро-геолошке карактеристике локације депоније, техника депоновања комуналног отпада...). Иако најчешће малог запреминског протока, депонијске процедурне воде представљају значајан извор загађења површинских и подземних вода, због високих концентрација органских и неорганских једињења, где посебан проблем представљају перзистентни органски полутанти (Persistent Organic Pollutants - POPs). Депонијска процедурна вода представља загађену течност која пролази кроз тело депоније при чему екстрахује растворљиве, колоидне и суспендоване материје из депонованог отпада. Представља сложену, хетерогену смешу врло променљивог састава, која се углавном састоји од различитих органских и неорганских једињења али и микроорганизама. Састав депонијске процедурне воде најчешће зависи од састава отпада који је одложен на депонију, као и од старости депоније. Током радног века депоније, укључујући оперативне фазе и фазе након затварања, потребно је контролисати депонијске процедурне воде као и површинске токове у близини депонија, како би се вршио мониторинг миграција и утицаја процедурних вода у непосредне медијуме животне средине. Најновија истраживања показују да нетретиране депонијске процедурне воде потенцијално представљају један од најсложенијих извора загађења. Депонијске процедурне воде спадају у најпроблематичније врсте отпадних вода, посматрано било са аспекта токсичности, било у смислу избора адекватних метода за њихово пречишћавање.

Основни извор депонијских процедурних вода јесу атмосферске падавине које долазе на површину депоније и процеђују се кроз тело депоније. У зависности од доба године или уопште од метеоролошких параметара, та количина може бити различита и тиме различито утицати на количину воде која ће се у датом периоду процедити кроз тело депоније. Део воде отиче као површинска оцедна вода са депоније, део се враћа у атмосферу испаравањем са горње површине депоније или вегетације (евапотранспирација), а остатак се задржава у горњем слоју депонија, при чему долази до повећање влаге у отпаду. Поред осталих параметара, биланс депонијских процедурних вода зависи од Ab – база депоније, As – површина депоније, V_{fd} – слободна количина

процедне воде која се креће унутар масе отпада и W_t – укупна висина депонованог отпадног материјала. Односно, биланс депонијских процедурних вода зависи од величине депоније, количина вода које се крећу унутар депоније и висине депонованог отпада.

Предмет истраживања у оквиру докторске дисертације представља моделирање параметара депонијских процедурних вода, са сврхом креирања квалитативне и квантитативне основе за процену њиховог утицаја на животну средину, пре свега на пријемна водна тела, односно акватичне екосистеме. Предмет истраживања обухвата моделирање физичко-хемијских, биолошких и осталих параметара депонијских процедурних вода, анализу процеса генерисања депонијских вода током процеса деградације биоразградивих органских материја, као и трансформације кроз које депонијске процедурне воде пролазе у телу санитарних и несанитарних депонија. Кроз реализовано истраживање обрађен је процес настанка влаге у телу депоније, као и зависност количине у односу на утицајне параметре. Када концентрација влаге пређе максимални степен засићења отпада влагом, настаје процеђивање вишка воде кроз слојеве отпада. Максимални степен засићења отпада влагом представља максималну количину влаге која може бити задржана у телу депоније без континуираног гравитацијског процеђивања воде.

Миграција воде кроз отпад је такође анализирана у дисертацији. Миграција воде кроз отпад зависи од порозности отпада, његове влажности, дебљине, као и промена хемијског и морфолошког састава отпада у унутрашњим слојевима депонија који су узроковани старењем депонија. Унутрашњи слојеви депоније су значајни јер могу да формирају непропусне баријере и акумулационе зоне у отпаду. Количина сакупљене воде у слојевима отпада до момента постизања максималног степена засићења влагом, представља капацитет задржавања влаге у отпаду. Након фазе максималног засићења влага из отпада почиње да формира депонијску процедурну воду. Депонијска процедурна вода која настаје само као продукт биолошких и хемијских процеса разградње отпада практично је незнатна у поређењу са осталим изворима, осим у земљама са сувом климом. Због тога је у фокусу истраживања и анализа узрочно-последичне зависности између количине воде која долази на тело депоније у виду падавина, дотока, рецикулације филтрата и количине воде која излази из или са тела депоније у форми депонијске процедурне воде.

Током истраживања извршено је моделирање састава процедурних вода који се мења у зависности од тога кроз коју фазу биолошке разградње органских компоненти отпада депонијска процедура вода пролази. Депонијска процедура вода садржи готово све растворљиве супстанце које се налазе у саставу депонованог отпада, као и продукте трансформације одређених органских компоненти. Посебна пажња посвећена је процесу старења депонија, јер се састав депонијских процедурних вода мења у зависности од старости депоније, односно да ли су и даље оперативни радови у току или је депонија затворена. Процедура воде депонија старости до пет година, садрже висок удео биоразградљивих материја, док код старијих садрже мање органских, а више токсичних компонената. Такође, количина и састав депонијске процедурне воде, као и сам утицај депонијске процедурне воде на животну средину зависи од тога да ли је депонија санитарна или несанитарна. Кроз истраживање у оквиру докторске дисертације извршена је компаративна анализа између количине и састава процедурних вода на санитарним и на несанитарним депонијама комуналног отпада. Да би се дефинисао обим утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела, како на санитарним, тако и на несанитарним депонијама, анализирали су фактори који условљавају процес формирања депонијских процедурних вода, кретање ових вода и токсичност.

У процесу истраживања, примењен је софтвер LandSim који је намењен за моделирање састава депонијских процедурних вода, симулацију кретања депонијских процедурних вода и анализу њиховог утицаја на пријемна водна тела. Коришћењем овог софтверског пакета истражена је: зависност између улазних и излазних вредности параметара којима се дефинише процес формирања процедурних вода, количина депонијске процедурне воде, као и условљеност количине и састава депонијске процедурне воде у зависности од тога да ли је депонија санитарна или несанитарна. Прорачуни квалитативне процене ризика специфичних перформанси депоније, у циљу заштите животне средине, извршени су на основу стопе инфилтрације на депонији, карактеристика дренажног система (када постоји) и величине ћелија депоније. Елементи за процену ризика који су обрађени у оквиру софтвера су извор настанка загађења (депоновани отпад), непропусне (заштитне) баријере и геосфера (унутрашњи слојеви у телу депоније који могу да формирају непропусне баријере и акумулационе зоне у отпаду).

1.2. Циљ истраживања

На основу предмета истраживања, општи циљ истраживања представља унапређење система мониторинга, као и методологије процене утицаја депонијских процедурних вода са санитарних и несанитарних депонија на пријемна водна тела. Остваривање постављеног општег циља захтева дефинисање и реализацију посебних циљева истраживања кроз:

- Опис стања постојећих санитарних и несанитарних депонија и израђивање катастра санитарних и несанитарних депонија у Републици Србији, са аспекта биланса вода,
- Карактеризацију рецепијената депонијских процедурних вода у Републици Србији,
- Систематизацију фактора еколошког ризика на санитарним и несанитарним депонијама,
- Компаративну анализу количина процедурних вода на санитарним и несанитарним депонијама,
- Моделирање састава процедурних вода са депонија софтверским алатом LandSim и
- Систематизацију фактора који утичу на перформансе рада депоније.

1.3. Хипотезе истраживања

Основна хипотеза истраживања је: постоји значајна разлика у нивоу оптерећења животне средине са санитарне депоније у односу на несанитарну депонију. Постављањем основне хипотезе, дефинисане су и посебне хипотезе истраживања:

- Процедне депонијске воде на санитарној депонији имају нижи ниво оптерећења у односу на процедурне воде са несанитарне депоније,
- Концентрација загађујућих компоненти у процедурним водама мења се током фаза старења депоније,
- Количина атмосферских падавина директно утиче на количину депонијских процедурних вода,
- Присуство различитих система покривања депоније, различито утиче на количину воде која ће dospети у тело депоније,
- Промене у дренажним системима на санитарним депонијама доводе до промена у протоку процедурних вода кроз тело депоније,
- Миграција процедурне воде ка подземним водама и земљишту зависи од карактеристика вештачких гео-хидролошких баријера (геомембране,

геосинтетичка глинена подлога, непропусна минерална баријера) и хидрауличке порозности земљишта.

1.4.Очекивани резултати

Основни, очекивани допринос и резултат научног истраживања, у оквиру дисертације, је:

- Дефинисање општих и специфичних перформанси рада депонија у циљу заштите животне средине,
- Детаљна процена ризика депонија на животну средину кроз више временских интервала, односно фаза старења депонија,
- Дефинисање механизма кретања процедних вода на санитарним и на несанитарним депонијама,
- Моделирање концентрација загађујућих компоненти на дну тела депоније, у оквиру незасићене зоне (део порозне геолошке јединице који је изнад нивоа воде) и вертикалних путева ка подземним водама и површинским водама.

На основу резултата истраживања, може се закључити да се они могу користити првенствено при планирању и пројектовању хидро-геолошких аспеката нових санитарних депонија комуналног чврстог отпада али и пројектима санације и ремедијације постојећих несанитарних депонија.

1.5. Примењене научне методе

На основу дефинисаног предмета научног истраживања, а ради остваривања постављених циљева и задатака истраживања примењене су опште научне методе и у оквиру њих посебне методе.

У оквиру општих метода коришћене су методе анализе и синтезе са циљем утврђивања везе између постављеног предмета и циља истраживања. Метода анализе користи се за анализу релевантних литературних извора у датој области. Методом синтезе извршена је систематизација постојећег научног знања по законитостима формалне логике која треба да омогући поставку нових теоретских сазнања која су у вези са проценом утицаја процедних вода на животну средину. Поред методе анализе и синтезе коришћена је и дедуктивна метода којом се утврдио ниво утицаја извора загађења (отпада), пропусности отпада, порозности отпада, влажности отпада, запремине отпада, миграција воде у унутрашњим слојевима депоније на формирање процедних вода на депонији. Функционална анализа имала је за циљ да применом различитих модела депонија у

софтверском пакету, утврди комбинацију функционалних елемената депонија (зона пријема, зона депоновања, заштитна зона) при којој је приказан највећи утицај депонијских процедурних вода на пријемно водно тело. Применом узрочно-последичне анализе омогућено је утврђивање узрочно-последичне везе између појединих комбинација елемената са количином миграције процедурних вода кроз тело депоније.

Применом методе моделирања, а у функцији процене утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела, извршиле су се нумеричке и графичке симулације применом софтверског пакета LandSim, на основу разматрања утицајних фактора санитарних и несанитарних депонија као што су састав отпада, димензије ћелија депонованог отпада, дренажни систем, старост депоније, гео-хидролошке карактеристике, падавине, висина депоније, итд. Софтверски пакет примењен је и за креирање квалитативне процене еколошког ризика од депонијских процедурних вода у циљу оптимизације мера заштите пријемних водних тела, кроз моделирање концентрација загађујућих супстанци у депонијским процедурним водама, дефинисања токова миграције депонијских процедурних вода кроз тело депоније, оцену ефикасности дренажног система и гео-хидролошких баријера. Софтверски пакет LandSim применио се на микролокацијском нивоу (санитарна и несанитарна депонија). Улазни параметри у моделима који су анализирани су:

- Димензија подручја и самог тела депоније,
- Количина инфилтриране воде у површински слој отпада,
- Количина инфилтриране воде кроз ободни слој депоније,
- Дизајн покривног слоја депоније,
- Временски период рада депоније,
- Димензије ћелија унутар депоније,
- Дебљина слоја отпада,
- Порозност отпада у фракцијама,
- Састав депонованог отпада.

1.6. Научни и друштвени допринос истраживања

Научни и друштвени допринос истраживања огледа се у детаљном приступу процени утицаја процедурних вода са депонија на животну средину, пре свега на пријемна водна тела. Истраживање доприноси разумевању сложених интеракција унутар тела депоније, генерисању процедурних вода у телу депоније, њихову стопу миграције, састава процедурних

вода и утицају депонијских процедурних вода на пријемна водна тела, уз примену напредних метода моделирања и анализе.

Научни допринос дисертације усмерен је на квантитативну и квалитативну анализу утицаја процедурних вода на пријемна водна тела уз помоћ детаљне анализе различитих параметара процедурних вода која доприноси бољем разумевању њиховог негативног утицаја на водне екосистеме. Такође, научни допринос огледа се у идентификацији фактора управљања ризицима од негативног утицаја процедурних вода укључујући анализу климатских услова, састава одложеног отпада и геолошких карактеристика депонија.

У научни допринос истраживања укључен је и развој и примена модела за предикцију стопе миграције и састава генерисаних процедурних депонијских вода коришћењем софтвера LandSim, који омогућава прецизније моделирање миграције процедурних вода кроз тело депоније, заштитне депонијске слојеве и предвиђање њиховог утицаја на околне водотокове.

Такође, резултати истраживања могу служити као основа за стварање ефикаснијих стратегија и протокола приликом пројектовања нових депонија са циљем минимизације негативних утицаја на животну средину.

Друштвени допринос истраживања јесте подстицање технолошких иновација коришћењем модерних софтверских алата као што је LandSim за симулацију потенцијалног утицаја депонија на животну средину и развој нових техничких решења који могу бити примењени на глобалном нивоу.

Резултати истраживања могу помоћи у унапређењу превентивних мера за смањење ризика од загађења вода процедурним водама, што је посебно важно за заштиту здравља људи и очување биодиверзитета. Дисертација доприноси бољем разумевању комплексних процеса на депонијама, али пружа и смернице за правилно управљање процедурним депонијским водама и њиховом негативном утицају у дужем временском периоду. Такође, доприноси практичним аспектима ремедијације и санације постојећих депонија као и пројектовању нових санитарних депонија, кроз детаљну процену ризика и софтверско моделирање процедурних вода, омогућавајући боље управљање еколошким ризицима на дужи временски период и детаљнију процену утицаја депонија на животну средину.

2. ПРЕГЛЕД ДОСАДАШЊИХ ИСТРАЖИВАЊА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА

Истраживања о утицајима и последицама одлагања отпада на депоније и настанку процедних вода у телу депоније почела су у 80 -тих година XX века. Теоријска и експериментална истраживања на основу којих су дефинисане методе прорачуна и модели за предикцију утицаја депонија на животну средину спроведена су у многим студијама [1], [2], [3], [4], [5], [6] итд.

Још 1984. године, због раста јавне и државне забринутости становништва у Америци у вези управљања отпадом, Агенција за заштиту животне средине је издала модел за хидролошку евалуацију перформанси депоније The hydrological evaluation of landfill performance (HELP). Општинска истраживачка лабораторија за животну средину развила је овај модел и тиме обезбедила нову и побољшану технологију и системе за спречавање, пречишћавање и управљање отпадним водама које су испуштене из чврстог и опасног отпада из општинских и друштвених извора, за очување и третирање снабдевања јавне воде за пиће и за смањење негативних економских, друштвених и здравствених ефеката загађења [7].

Хидролошка евалуација програма перформанси депонија развијена је како би се омогућила брза, економична процена кретања воде преко, на, кроз и ван депонија [8], [9].

Када је Директива о депонијама (1999/31/ЕЗ) ступила на снагу 16. јула 1999. године, започело се и са истраживањима у овој области и у Европи. Директива је имала за циљ побољшање стандарда одлагања отпада на депонијама широм Европе постављањем специфичних захтева за пројектовање и рад депонија и ограничавање врсте отпада које се могу одложити на депоније. Агенција за животну средину је израдила низ смерница како би помогли у начину управљања отпадом [6].

О процедним водама са депонија комуналног чврстог отпада еминентна истраживања почела су да се спроводе од 2001. године у којима се говорило о томе да процедурне воде садрже широку мешавину хемијских компоненти који могу изазвати потенцијалне ризике за тела површинских и подземних вода и представљали су се начини и мере за смањење штетних негативних утицаја процедурних вода на животну средину [6], [10], [11], [12], [13], [14].

Технологија одлагања на депонијама доживела је значајан напредак у последњих пар деценија и еволуирала од неконтролисаних несанитарних и дивљих депонија до високо пројектованих конструкција ради заштите животне средине. Упркос овим помацима, широм света је објављено да чак и санитарне депоније, које су уобичајено присутне у урбаним срединама и користе се за одлагање отпада по процедури, имају потенцијал да загађују подземне и површинске воде, што представља опасност за људско здравље и животну средину [10], [15], [16], [17], [18].

Различите студије су истраживале транспорт процедурних вода до подземних вода [3], [11], [19], [20] и у овим истраживањима резултати су показали да транспорт процедурне воде на депонијама и њихово моделирање обично укључује два корака: прво, стварање процедурне воде и њену миграцију кроз депонијске баријерне облоге и друго, транспорт и миграција загађујућих компоненти до реципијента [17], [21], [22].

Iqbal et al., су спровели истраживање у Пакистану о процени ризика нове санитарне депоније на животну средину и људе. Процена ризика за људе извршена је утврђивањем загађености воде за пиће која је дошла у контакт са процедурним водама са депоније, док је процена ризика по животну средину била спроведена откривањем индекса потенцијалног еколошког ризика и укупног депонијског гаса емисије. Резултати су показали да је вода за пиће загађена тешким металима у радијусу од 2 km од локације. Арсен и кадмијум имају највећу стопу опасности од 1,36 односно 1,53. Укупни индекс потенцијалног ризика по животну средину метала је такође био висок (312,49) што је било изузетно деградирајуће за животну средину [23].

Бројни нумерички модели су развијени за симулацију депоније и транспорт процедурних вода у подземне воде [21] [24], [25], [26], [27], [28] итд.

Lopez et al., су спровели истраживање на депонији чији је радни век завршен и представља пример како, чак и када и уз доступне податке постоје несигурности у вези са смерницама и одлукама о процедурама на депонији након њеног затварања, алати за моделирање могу бити од велике користи за генерисање информација и тиме се могу смањити економски и временски трошкови. Истраживање је предвидело миграцију процедурних вода након затварања депоније и предлаже стратегију управљања процедурним водама у наредним годинама. У ту сврху коришћен је математички софтверски пакет MODULO 4.0 који се користи за симулацију депонија. Резултати симулације показују

да су концентрације загађујућих материја у процедурним водама у порасту током периода након затварања депоније [26].

Неколико еминентних студија је спроведено на депонијама користећи симулациони модел LandSim, који се користи за моделирање састава депонијских процедурних вода, симулацију кретања депонијских процедурних вода и анализу њиховог утицаја на пријемна водна тела [2], [29], [30], [31], [32], [33].

LandSim модел је првобитно развијен између 1993. и 1996. године и био је у употреби и комерцијално доступан од септембра 1996. Модел се користио на различитим нивоима и за различите сврхе повезане са пројектовањем, планирањем и издавањем дозвола за рад депонија [2].

Plimmer et al. [3] су демонстрирали LandSim симулацију на депонији Burntstump и предложили су смернице за процену вероватноће ризика по животну средину од процедурних вода са депонија (Probabilistic risk assessment - PRA), која је спроведена и кроз дисертацију. У овом истраживању, као и дисертацији, проучавали су се негативни утицаји депонија на специфичне рецепторе кроз идентификацију рецептора, као и могућности да се негативни утицаји минимализују. У раду се посебна пажња посветила хемијском саставу процедурних вода кроз њихово моделирање у софтверу LandSim.

Jagloo је испитивала транспортни механизам контаминације растворене супстанце са депоније користећи LandSim модел и показао је методологију рада депоније на Маурицијусу [11]. Као и у овој дисертацији, у спроведеном истраживању идентификовале су се потенцијалне загађујуће компоненте из процедурних вода и то тешки метали и органске компоненте. Коришћењем геолошких, хидрогеолошких и лабораторијских анализа извршена је процена ризика депоније на околне водотокове, што је извршено и дисертацији.

Hall et al. [34], су извршили опсежно истраживање у софтверу LandSim из перспективе управљања депонијом након њеног затварања. У раду се вршило истраживање потребног периода активног управљања депонијом, при чему су дошли до закључка да је велики део компоненти присутан у процедурним водама и након 2000 година од почетка рада депоније, као што је закључено и у овој дисертацији.

И истраживању које је спровео Slack et al. [12], симулирана су кретања компонената из тела депоније у дужем временском периоду. Као и у дисертацији, моделирани су

различити сценарији депоније за одређивање распона улазних параметара и потенцијалних излазних параметара у софтверском алату LandSim. Симулација је показала да се током дужег временског периода компоненте из процедурних вода крећу кроз тло и достижу до водотокова, чиме угрожавају квалитет воде. Резултати истраживања укључују открића да концентрације арсена, хрома, живе и кадмијума прелазе граничне вредности емисија за пијаћу воду одређене стандардима ЕУ и САД-а.

Прва свеобухватна студија била је спроведена за процену ризика утицаја процедурних вода са депонија на подземне воде помоћу LandSim софтвера од стране Slack et al. [35]. У истраживању, симулације модела показале су да након престанка мониторинга депонија, ниво процедурних вода на заштитној баријери на дну депоније расте и остаје испод максималне дубине отпада током периода моделирања од 20,000 година.

Butt et al., су 2011. године предложили интегрисани и холистички модел за процену утицаја процедурних вода на подземне воде и указали на значај LandSim модела за процену концентрација загађујућих материја у подземним водама [36].

Palmeri et al., су извели анализу ризика од настанка канцерогених обољена људи због удисања испарљивих једињења присутних у процедурним водама. Аутори су тврдили да се LandSim модел може користити као интегрисани алат за помоћ доносиоцима одлука у утврђивању приоритета приликом санације. Све ове студије су спроведене и о њима се извештавало до 2015. и првенствено су биле фокусиране на процену ризика од негативних утицаја процедурних вода на подземне воде [20].

Mishra et al., су предложили интегрисани приступ за квантификовање неизвесности која је својствена процени ризика по здравље људи. Оквир је успешно демонстриран на депонији Турбхе у Индији, а неизвесности у процени ризика од процедурних вода на депонији по здравље људи су квантификовани уз помоћ софтвера LandSim [29].

Mishra et al., су спровели студију за квантификацију ризика по здравље људи због контаминације процедурне воде са чврстим отпадом на депонијама користећи више симулација у софтверском пакету LandSim за различите системе облога које постоје у телу депоније [30]. Наиме, у раду су описани различити системи облога и стопа миграције процедурних вода кроз њих, што је извршено и у дисертацији. Резултати су показали да системи баријера дна депоније са композитном облогом значајно мању количину процедурних вода пропушта од сценарија где нема баријерних облога, што је и један од резултата истраживања ове дисертације.

Madear et al., су кроз истраживање предложили решење за избор система облога у телу депонија и за управљање процедурним водама [37].

Истраживања која су се тичала баријерних система облога у телу депонија и њиховог значаја за протицање процедурних вода су се спроводила од 1989. године када је започето истраживање о томе да су депоније направљене тако да стварају баријеру између чврстог отпада и околине. Пројектовани систем баријера (ЕБС) за површинско и подземно складиштење отпада садржи компоненте пројектоване да задрже, контролишу и успоравају миграцију процедурних вода према подземним водама [1], [31], [38], [39], [40], [41].

Giroud et al. су испитивали постојање дефеката у геомембранском омотачу и утврдили да је 8–10 рупа (пукотина) годишње типично присутно за геомембрану високог квалитета, а око 17 рупа годишње је обично присутно код геомембране ниског квалитета. И када је геомембрана врхунског квалитета постојање, 1-2 рупе је неизбежно. Својства HDPE зависе од функције времена, па тако са одмицањем времена долази и до деградације облоге од полиетилена високе густине HDPE. Предложили су скуп једначина за израчунавање брзине и проценат миграције процедурних вода кроз оштећену геомембрану [1].

Carey et al. су препоручили минималну дебљину првог слоја облоге од 2 mm како би се обезбедила већа отпорност на продор полутаната и повећао отпор облоге на кидање и пробијање [4].

Katsumi et al. су спровели истраживање о композитном слоју облоге који садржи геомембрану у комбинацији са глиеном облогом и користи предности и једног и другог слоја облоге. Геомембрана ограничава подручје кроз које пролази процедура вода, а облога од глине која се налази испод геомембране минимизира цурење процедурне воде кроз њене дефекте. Предложили су два примарна механизма за транспорт загађујућих компоненти кроз геомембране, цурењем кроз рупе и дифузијом кроз геомембрану. Рупе и дефекти у геомембрани су углавном узроковане недостацима у геомембранским шавовима, док су пукотине проузроковане од оштрих материјала који се налазе испод геомембранске облоге. У истраживању се дошло до закључка да су композитни линијски системи облога ефикаснији у задржавању процедурне воде од транспорта у подземне воде у поређењу са било којим појединачним слојем глине или геомембране [5].

Foose et al. су објаснили да се проток кроз композитне системе облога састоји од три процеса [42]:

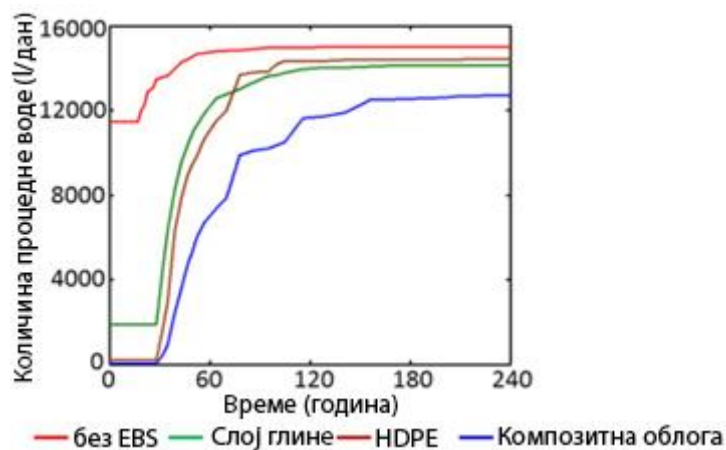
1. кретање процедурне воде кроз дефект у геомембрани,
2. проток кроз међуфазну површину зона између геомембране и линије тла, и
3. проток кроз линију тла.

Вонапарте et al. су представили шему идеализованог система за задржавање чврстог отпада на депонији. ЕБС се користи за контролу транспорта процедурних вода и депонијских гасова. ЕБС компоненте садрже доње баријере, покриваче и бочне баријере и дизајниране за контролу миграције адвективних загађујућих компоненти. Облоге су пре свега намењене спречавању инфилтрације површинских вода у отпад и чине отпад мање штетним за људе и екосистем десетинама стотина или хиљада година [43].

Примарна сврха линијског система баријера је изолација загађујућих компоненти процедурних вода од околине и због заштите тла, површине, и загађења подземних вода [44]. У истраживању се долази до закључка да избор одговарајуће облоге за депонију мора бити дизајниран на основу локације, геологије, дубине подземних вода, врсте чврстог отпада који се одлаже на депонију и регионалних метеоролошких података, који укључују падавине, температуру и друге временске параметре.

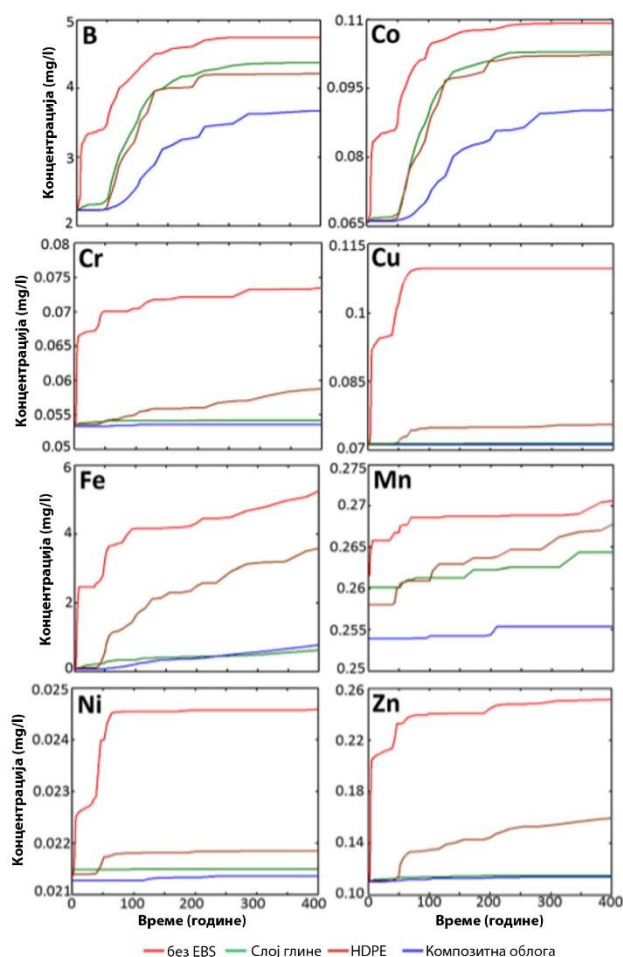
Први слој облоге треба да има ниску попустљивост и физичку снагу да издржи и краткотрајна и дуготрајна механичка напрезања [45].

Mishra et al. су спровели студију за квантификацију ризика по здравље људи због контаминације процедурне воде са чврстим отпадом на депонијама користећи више симулација за различите системе облога. Да би се квантификовале варијације у здравственим ризицима за потрошњу подземних вода за децу и одраслу популацију, одабрана је депонија Navi Mumbai у Индији. Модел LandSim, коришћен је за симулацију депонијских активности за различите временске периоде и процену ризика по здравље људи од одабраних тешких метала који се налазе у процедурној води. На слици 2.1 приказано је поређење миграције процедурних вода са различитим системима облога (када нема заштитних облога, са једним слојем глинене облоге, са HDPE облогом и композитном облогом) [30].



Слика 2.1 Поређење миграције процедних вода у зависности од различитих система облога [30]

На слици 2.2. приказане су упоредне вредности концентрација различитих врста метала у току времена и са различитим врстама система облога.

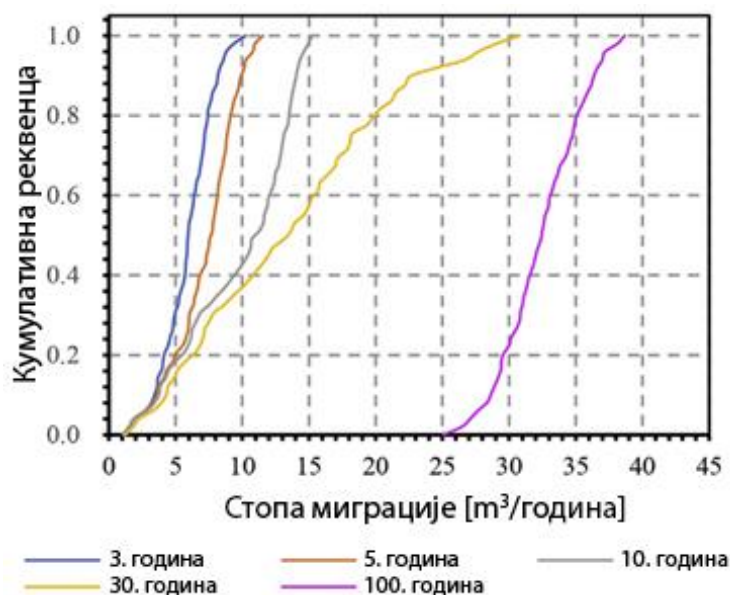


Слика 2.2. Концентрације тешких метала у зависности од система облога [30]

Резултати истраживања су показали да су системи облога били изузетно ефикасни у спречавању протока процедних вода до периода контроле управљања депонијом (30 година). Међутим, дугорочно, миграција кроз глинени омотач, HDPE облогу и композитну облогу достигла је највећу вредност након 120, 150 и 180 година, респективно.

Madear et al. су у свом истраживању предложили решење за избор система облога у телу депонија и за управљање процедним водама. Генерисане количине процедних вода су израчунате на основу података о локалним падавинама користећи напредни софтвер LandSim за хидролошко моделирање, пројектовање депонија и процену потенцијалног процеђивања процедних вода у подземне воде. Модели су предвидели концентрацију приоритетних полутаната TCE - трихлороетен и амонијум јона као прикладне. Тачка продора процедурне воде за супстанцу трихлороетен налазила се у основи вертикалног пута. Тачка продора за супстанцу амонијум јон је 100 m низ ивицу отпада унутар депоније. Резултати процене ризика показали су и да је спречено директно испуштање супстанце са листе 1 (TCE – trichloroethene) која се налази у процедним водама у подземне воде. Резултати процена ризика за супстанце са листе 2 (амонијум јон) у процедним водама показали су да системи облога (HDPE) на депонији спречавају загађивање подземних вода [37].

Sun et al. су спровели истраживање како би утврдили утицај старења геомембране на дугорочне перформансе депонија опасног отпада у југозападној Кини користећи комбинацију података добијених HELP и LandSim моделима. Теренска испитивања су показала да је геомембрана почела да стари након две године рада депоније. Даља симулација показала је да због деградације перформанси геомембране која је повезана са старењем материјала и развојем дефеката, цурење процедурне воде повећано је са 0,05 m³/d у почетку на 13,6 m³/d у средишњем периоду и 32,5 m³/d дугорочно (приказано на слици 2.3) [31].



Слика 2.3 Стопа цурења процедне воде у различитим временским интервалима (3,5,10,30 и 100 година рада депоније) [31]

Утицај цурења процедних вода на околне подземне воде био је краткорочно мали, са концентрацијама компоненти близу 0, и почео да расте у средишњем периоду, када је вероватноћа загађења на удаљености од 200 m премашила 80%, иако је на 400 m остало близу 0. Утицај миграције процедних вода се наставио повећавати на дужи рок, када је вероватноћа загађења подземних вода у тачки удаљености 1000 m достигла чак 100%.

Метода за анализу дисперзије загађујућих материја изазваних процедурним водама на депонији Јацарезинхо (Jacarezinho) развијена је у четири корака [27]. Прво је успостављена веза између топографских, хидролошких, геолошких и хидрогеолошких података, са подацима са испитиваног подручја. У другој фази је развијен нумерички модел кроз софтвер MODFLOW и MTZDMS. У трећој фази, успостављен је модел прилагођавања и валидације. У последњој фази је извршена симулација, утврђујући утицај дисперзије и разрађујући извештај и критичку анализу резултата моделирања. Метали хрома, олова, бакра и цинка били су присутни у процедурним водама из отпадних вода депоније у Јацарезинху и моделирани су путем концептуалног модела који је узео у обзир стварне параметре хидрологије, геологије, топографије и хидрогеологије. Резултати су добијени рачунском нумеричком симулацијом у временским интервалима од 1, 5, 10, 25 и 50 година на две осматрачке тачке, П1 и П2 (слика 2.4). У последњем временском кораку, од 50. године, концентрације компоненти на реци Оуро Гранде (П2) биле су у просеку 0,006% од почетне вредности пронађене у извору.

Доказано је да се највећи пораст у концентрацији компоненти јавља између 5. и 10. године и долази до најмањег повећања између 25. и 50. године. Масени проток цинка износио је 0,004 kg годишње, што је означавало седам пута већи проток од осталих анализираних компоненти.

У Републици Србији су спроведена одређена истраживања о депонијама, процедурним водама и њиховом саставу.

Ћалић и сарадници су вршили истраживање применом TCLP методе (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) узорака процедурних вода са депоније чврстог отпада који су били одложени 6, 12 односно 24 месеца пре узорковања, при чему се одређивао степен загађења процедурних вода у контакту са отпадом који је одложен на депонију. У раду се утврђивало мењање карактеристика процедурних вода у зависности од степена разградње отпада. Као резултат утврђено је да су концентрације тешких метала (Cu, Cd, Pb, Zn), хлорида, сулфата, амонијака, нитрата и нитрита биле ниске, и нису се знатно разликовале за узорке различите старости. Добијени резултати показали су да се вредност pH и НРК (хемијска потрошња кисеоника) мењају у зависности од старости испитиваног одложеног материјала, односно достигнутог степена стабилизације [46].

Вујић је спровео истраживање у оквиру Факултета техничких наука у Новом Саду у коме су испитане физичко-хемијске карактеристике процедурних вода и вршила се карактеризација статуса процедурних вода на депонијама на више локалитета које су на територији АП Војводине. Такође испитивање је допринело и у доношењу закључака значајних за успостављање континуалног мониторинг програма у управљању депонијама на територији АП Војводине. Анализа узорака депонијских процедурних вода са свих испитиваних локалитета указивала је на велико оптерећење вода органским материјама, што за последицу има ниску концентрацију кисеоника раствореног у води и успостављање анаеробних услова средине [47].

У Републици Србији 2015. године се говорило о технолошком пројектовању депонија [48]. Кроз истраживање је дат преглед и анализа депонија у Републици Србији, описани су значајни елементи технолошког пројектовања савремених депонија који укључују процедуре депоновања, обезбеђивање правилних баријерних система облога прекривног слоја, правилан начин за сакупљање и третман процедурних вода и на крају сакупљање, третман и искоришћење депонијског гаса. У раду је констатовано да постојеће, савремене депоније у Републици Србији нису у потпуности пројектоване у складу са

прописима и да је неопходна њихова реконструкција. У истраживању су представљене и смернице за технолошко пројектовање депонија по процедурама које су у функцији испуњавања захтева и препорука националних и европских прописа.

Ђого је вршила истраживање које обухвата узорковање и анализу процедних вода, амбијенталног ваздуха и земљишта са 10 репрезентативних локација депонија комуналног отпада, на подручју АП Војводине. Све локалитете у истраживању је карактерисао несистематичан и неуређен систем управљања посебним токовима отпада. Резултати који су добијени анализом физичко-хемијских и неорганских параметара у процедном водама показују низак ниво токсичне сфере на истраженим депонијама. Испитиване локације биле су у метаногеној фази за коју је карактеристична спора биолошка разградња органских супстанци и низак ниво ВРК₅ и НРК вредности [49].

Џолев је у оквиру докторске дисертације истраживао енергетско искоришћење депонијског гаса на депонијама са рецикулацијом концентрата и процедурне воде где је изведен један од закључака да рецикулација процедурних вода може да има негативан утицај на продукцију депонијског гаса у случају пада његове рН вредности. Пад рН вредности процедурних вода могао је евентуално да изазове поремећај метаногених процеса и смањење продукције депонијског гаса, као што би повећање рН вредности процедурних вода евентуално могло да има позитиван утицај на повећање протока депонијског гаса, с обзиром да је познато да кисела средина није погодна за развој метаногених бактерија [50].

Крчмар је 2018. године извршио истраживање о квалитету подземних и процедурних вода градске депоније комуналног отпада. Применом LWPI и Nemerow-ог индекса установљен је тренд смањења негативног утицаја градске депоније на подземне воде и применом LPI и Nemerow-ог индекса установљен пораст садржаја загађујућих супстанци у процедурним водама депоније. Прегледом добијених вредности коришћених индекса у раду се долази до закључка да се успостављањем контроле загађења са депоније може у релативно кратком периоду смањити негативни утицај на подземну воду. Идентификацијом најзначајнијих полутаната подземне воде под утицајем депоније и депонијске процедурне воде могуће је издвојити параметре које је потребно учесталије пратити континуалним мониторингом [51].

Тошић et al. су извели истраживање о третману процедурних вода методом реверсне осмозе на депонији Жељковац. У раду се испитује ефикасност пречишћавања процедурне воде и

приказују резултати који не прелазе дозвољене вредности у било ком сегменту. Метода је дефинисана са веома високим нивоом ефикасности пречишћавања и закључено је да је ова врста методе третмана процедурних вода прихватљива и примењива на било коју врсту процедурне воде без обзира на врсту контаминације процедурних вода, што није случај са другим методама [52].

У Републици Србији, Petrović et al. [32], су 2023. године извели истраживање у софтверском пакету LandSim које је имало за циљ да пружи увид у податке о миграцији, саставу и времену путовања процедурних вода, као и да укаже на значај EBS (Engineered Barrier Systems – системе заштитних облога) кроз различите концентрације компоненти у процедурној депонијској води на бази незасићене зоне и изван ње, за реални сценарио са композитним облогама (EBS) и најгори сценарио без облога (NO EBS) као случај несанитарних депонија, користећи LandSim софтвер за 30, 100, 1000 и 20000 година у 1000 итерација. Такође, овај рад имао је за циљ да анализира миграцију процедурних вода кроз отпад за различите временске интервале и различите унутрашње слојеве са сврхом стварања квалитативне и квантитативне основе за процену утицаја процедурних вода на животну средину. Резултати истраживања добијени моделирањем параметара реалног случаја на депонији Гигош, показали су да је количина цурења процедурних вода око 340 пута мања када је EBS присутан, а концентрације азота, хлорида, арсена, олова, цијанида и живе у најгорем сценарију (NO EBS) прелазе дозвољене границе према законима Републике Србије.

Поред овог истраживања, 2024. године у Републици Србији спроведена је и анализа која се бави значајем побољшања образовних планова и програма у области управљања процедурним водама са депонија, са посебним освртом на интеграцију иновативних алата попут софтвера LandSim. Циљ ове анализе је истраживање функционалности LandSim-а, демонстрирајући како овај алат повезује стечена теоријска знања са практичним. Интеграцијом LandSim-а у наставни план и програм, добија се приступ учењу који је више искуствен и ефикасан, припремајући студенте за реалне изазове у управљању животном средином [53].

У табели 2.1 приказан је преглед еминентне литературе претходних истраживања која су користила симулационе моделе.

Табела 2.1 Преглед литературе претходних истраживања о процедурним водама и симулационих модела

Година	Часопис	Аутори	Софтвер	Главни доприноси истраживања
1999.	Chemical Containment of Waste in the Geosphere	Plimmer et al	LandSim	Ова студија се експлицитно фокусира на теорију иза LandSim симулације, посебно на процедурне воде и могао би послужити као смерница за вероватноћу процене ризика користећи LandSim модел
2002.	Royal Inst. of Technology	Jagloo	LandSim	У овој студији је процењено хемијско стање подземних вода, након чега је спроведен и биланс воде како би се предвидела количина генерисања процедурне воде. Даље, транспорт контаминираних растворених супстанци из процедурне воде са депоније израчунат је помоћу LandSim -а.
2006.	Environmental Technology	Hall et al	LandSim	Студија се првенствено фокусира на обим неопходних процедура у периоду након затварања депоније комуналног отпада. Овај рад сугерише да период управљања после затварања депоније треба да буде дужи од 1000 година у зависности од стања загађујућих материја.
2007.	Environmental Pollution	Slack et al	LandSim	У раду се приказује примена LandSim моделирања за процену загађености подземних вода од транспорта процедурних вода кроз депонију чврстог отпада. Ово истраживање представља прву опсежну студију на којој је извршена процена ризика процедурних вода на подземне воде користећи LandSim софтвер.
2011.	Environmental Progress and Sustainable Energy	Butt et al	LandSim	Овај рад се првенствено фокусирао на интегрисани и холистички оквир процене изложености из перспективе процене ризика. Ово истраживање је такође нагласио употребу LandSim модела за процену концентрације загађујућих материја у подземним водама.
2012.	Chemical Engineering Transaction	Palmeri et al	LandSim	Истраживање је обављано на старој депонији комуналног отпада коришћењем LandSim симулационог модела за квантификацију дугорочног ризика загађења подземних вода. Сврха је била добијање интегрисаног алата за помоћ у формирању приоритета за санацију депоније.
2018.	Environmental Science and Pollution Research	Mishra et al	LandSim	Студија приказује квантификацију ризика по здравље људи због контаминације процедурне воде са чврстим отпадом на депонијама користећи више симулација за различите ЕБС у LandSim моделу. Резултати истраживања су показали да су системи облога били изузетно ефикасни у спречавању протока процедурних вода у периоду контроле управљања депонијом (30 година). Међутим, у дугорочно, цурење кроз глинени омотач, HDPE облогу и композитну облогу достигла је највећу вредност након 120, 150 и 180 година, респективно.

2018.	Annals of the University of Petroșani, Mining Engineering	Madear et al	LandSim	У раду су предложена решења за избор система облога у телу депонија и за управљање процедурним водама. Генерисане количине процедурних вода су израчунате на основу података о локалним падавинама користећи напредни софтвер LandSim за хидролошко моделирање, пројектовање депонија и процену потенцијалног процеђивања процедурних вода у подземне воде.
2019.	Journal of Cleaner Production	Sun et al	HELP и LandSim	Истраживање је спроведено како би се утврдио утицај старења геомембране на дугорочне перформансе депонија опасног отпада користећи комбинацију података добијених у HELP и LandSim моделима. Теренска испитивања су показала да је геомембрана почела да стари након две године рада депоније
2021.	Journal of Cleaner Production	Nai et al.	LandSim, HELP	Ова студија систематски процењује ризике на локацији користећи анализу узорака и симулацију модела процеса како би предвидела његову дугорочну еволуцију. Резултати су показали да је 93% концентрације испирања отпада било штетно и да 66% отпада није било погодно за директну употребу земљишта за урбанизовано земљиште након готово 20 година испирања и деградације.
2023.	Environment Protection Engineering	Petrović N, et al	LandSim	Истраживање пружа увид у податке о миграцији, саставу и времену путовања процедурних вода, као и да укаже на значај EBS (Engineered Barrier Systems – системе заштитних облога) кроз различите концентрације компоненти на депонији на бази незасићене зоне и изван ње, за реални сценарио са композитним облогама (EBS) и најгори сценарио без облога (NO EBS) као случај несанитарних депонија
2024.	International Multidisciplinary Conference "Challenges of Contemporary Higher Education" - CCHE 2024	Petrović N, et al	LandSim	Циљ рада је побољшање образовних планова и програма у области управљања процедурним водама са депонија, са посебним освртом на интеграцију иновативних алата попут софтвера LandSim. Интеграцијом LandSim-а у наставни план и програм, добија се приступ учењу који је више искуствен и ефикасан, припремајући студенте за реалне изазове у управљању животном средином.

3. УПРАВЉАЊЕ ЧВРСТИМ КОМУНАЛНИМ ОТПАДОМ КАО ПОЛАЗНА ОСНОВА ЗА УПРАВЉАЊЕ ПРОЦЕДНИМ ДЕПОНИЈСКИМ ВОДАМА

Чврсти отпад је сваки непотребан или сувишан предмет односно материјал који настаје у току производне, услужне или неке друге делатности, као и отпадне материје које су настале у потрошњи и које са аспекта произвођача, односно потрошача нису за даљу употребу и морају се одбацити [54].

Подела чврстог отпада се врши на основу [55]:

- састава,
- токсичности и
- места настанка

Чврсти отпад, у зависности од квалитативног састава, може бити од стакла, папира, картона, пластике, метала, гуме, отпадних уља, мазива, боје, хемикалија, дрва, итд.

На основу токсичности чврсти отпад може бити опасан, неопасан и инертан.

Према месту настанка чврсти отпад може бити комунални, индустријски, амбалажни, пољопривредни и баштенски отпад, грађевински отпад, итд.

Чврсти комунални отпад чини отпад из домаћинства, неопасан чврсти отпад из индустријских, комерцијалних и јавних установа (укључујући болнице) и отпад са јавних површина [56]. Комунални отпад према свом саставу представља најсложенији хетерогени систем који садржи различите врсте отпадних материја органског и неорганског порекла [57].

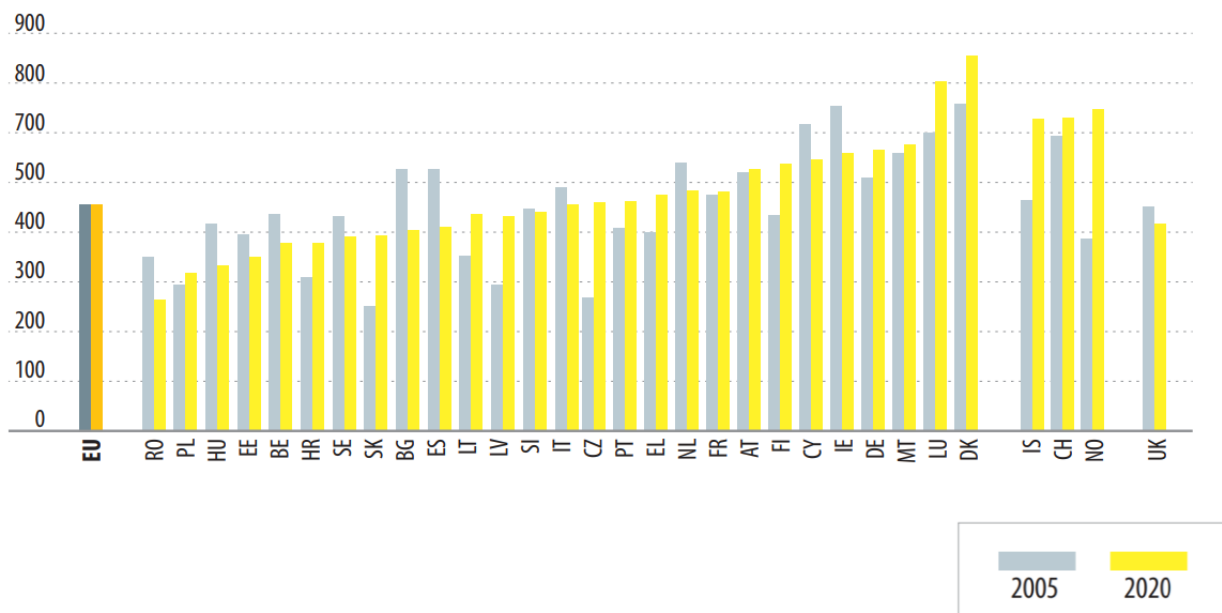
Управљање чврстим комуналним отпадом односи се на активности за превенцију стварања отпада, смањење количине отпада, одвојено сакупљање и сортирање отпада, транспорт отпада, третман отпада као и мониторинг свих наведених активности [58], [59] [60], [61], [62]. Управљање комуналним отпадом може бити одрживо једино ако се спроводи у складу са законским оквиром и друштвеним нормама ради заштите здравља људи и животне средине [63].

[63] Релевантна законска регулатива у области заштите животне средине и управљања отпадом у Републици Србији обухвата законе, правилнике и уредбе и то који се односе на заштиту животне средине [64], на заштиту вода [65], [66], управљање отпадом и одлагању отпада [55], [67], [68], контролу загађења животне средине [69] и на граничне вредности загађујућих компоненти у водама [70], [71], [72].

Према подацима Светске банке, очекује се да ће генерисање отпада на светском нивоу порасти за 70% до 2050. године, 2,01 милијарда тона отпада, која се тренутно ствара широм света, ће се повећати на 3,4 милијарде у наредних 30 година. Развијене државе чине 15% светске популације и генеришу 34% светског отпада [73].

Стопа стварања комуналног отпада по становнику на глобалном нивоу је 1,2 kg дневно, а истраживања показују да ће до 2025. године та количина порасти на 1,4 kg по становнику дневно. Повећање количине отпада је нераскидиво повезано са повећањем броја становника, што доводи до урбанизације и друштвено-економског развоја земаља. Сједињене Америчке Државе предњаче по количини генерисаног отпада (око 621.000 тона дневно), а следи Кина у којој се дневно генерише око 521.000 тона отпада [74], [75].

У земљама Европске уније, комунални чврсти отпад чини приближно 10% укупног генерисаног чврстог отпада [76]. Постоје велике варијације у трендовима у количинама генерисаног отпада из домаћинстава широм Европе, иако је просечна количина комуналног отпада по особи у Европи остала релативно константна између 2005. и 2020. године (слика 3.1). Највише производи Данска (845 kg годишње по глави становника), док Румунија производи најмање – само 282 kg годишње по глави становника.



Слика 3.1 Количине генерисаног комуналног отпада у ЕУ за 2005. и 2020. годину [77]

Приказани статистички подаци не указују само на разлике у обрасцима потрошње и богатству сваке државе, већ такође зависе од тога како се комунални отпад прикупља и како се њиме управља, а самим тим и како се прикупљају подаци о комуналном отпаду.

У Европској Унији законска регулатива у области управљања отпадом обухвата следеће законске акте [78]:

- Оквирну директиву о отпаду (2008/98/ЕС),
- Директиву о депонијама (1999/31/ЕС),
- Оквирну директиву о водама (2000/60/ЕС),
- Директиву о пречишћавању комуналних отпадних вода (91/271/ЕЕС).

У Републици Србији је у 2020. години створено 2,95 милиона тона чврстог комуналног отпада (табела 3.1). Према подацима Агенције за заштиту животне средине, сакупљено је и одложено укупно 2,34 милиона тона, док је од укупне количине одложено 558.568 t отпада на регионалне санитарне депоније у току 2020. године, односно 19% генерисаног комуналног отпада [79].

Табела 3.1. Количине генерисаног комуналног отпада у Републици Србији у периоду 2011-2021. године [80]

	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.
Укупна количина створеног отпада (милиони t)	2,71	2,62	2,41	2,13	1,84	1,89	2,71	2,79	2,83	2,95	2.87
Количина отпада коју сакупе и одложе општинска ЈКП (милиони t)	2,09	1,83	1,92	1,67	1,36	1,49	2,33	2,22	2,24	2,34	2.48
Просечан обим сакупљања отпада (%)	77	~ 70	80	~80	82	~82	83,7	87,2	86,2	86,4	88
Просечна дневна количина комуналног отпада по становнику (kg)	1,01	0,99	0,92	0,81	0,71	0,73	1,06	1,10	1,11	1,15	1.14
Просечна годишња количина по становнику (t)	0,37	0,36	0,34	0,30	0,26	0,27	0,39	0,40	0,41	0,43	

Укупна количина генерисаног отпада током 2020. године је у малом порасту у односу на претходну годину. Производња комуналног отпада у Србији смањена је са 2,71 милиона тона генерисаног отпада у 2011. на 1,84 милиона тона у 2015. години, али је потом порасла на 2,83 милиона тона у 2019. години. Произведене количине одговарају 363 кг по становнику у 2010. и 338 кг по становнику, у 2019. години.

У Републици Србији се 86,4% генерисаног комуналног отпада сакупља, од чега се 15,45% рециклира. Укупно 79,45% чврстог комуналног отпада је одложено на депоније и не постоји никакав третман отпада пре његовог одлагања. Средња дневна количина генерисаног комуналног отпада у Републици Србији износи 1,17 kg по становнику, односно 0,43 t/годишње. Табела 3.2. приказује количине створеног отпада у 2020. години и количине отпада који се третирао у истој години.

Табела 3.2. Количине створеног и третираног комуналног отпада у 2020. години [79]

Комунални отпад	2020.
Укупно генерисани комунални отпад* (t)	2.947.496
Отпад генерисан у домаћинствима (OECD) (t)	2.063.247
Отпад генерисан у другим изворима (OECD) (t)	884.249
Одвојено сакупљање (од укупно генерисаног комуналног отпада) (t)	482.515
Отпад одложен или подвргнут поновном искоришћењу (од укупно генерисаног)* (t)	2.819.629
Искоришћење (t)	477.897
Припрема за поновну употребу (t)	-
Рециклажа – материјал (t)	444.274
од чега Метали рециклирани из шлаке након инсинерације (t)	-
Рециклажа – компостирање и дигестија (t)	11.183
од чега одвојено сакупљање и рециклажа биоотпада на извору – на пример, кућно компостирање (t)	-
Искоришћење – енергетско искоришћење (R1)* (t)	5.860
Искоришћење - остало* (t)	16.580
Одлагање (t)	2.341.732
Одлагање - инсинерације (D10)* (t)	-
Одлагање - депонија (D1, D5, D12)* (t)	2.341.732
Одлагање - остало (D2-D4, D6-D7); (OECD) (t)	-
Покривеност системом сакупљања (%)	86,40

Како се животног стандарда грађана мења и расте број становника, кроз Програм управљања отпадом у Републици Србији за период 2022 -2031 . године, извршена је пројекција количина комуналног отпада који ће се генерисати до 2030. године на нивоу Републике Србије. Подаци о пројектованим количинама отпада за посматрани период приказани су у табели 3.3.

Табела 3.3 Пројектоване количине створеног комуналног отпада за Републику Србију у периоду од 2022. до 2030 . године [79]

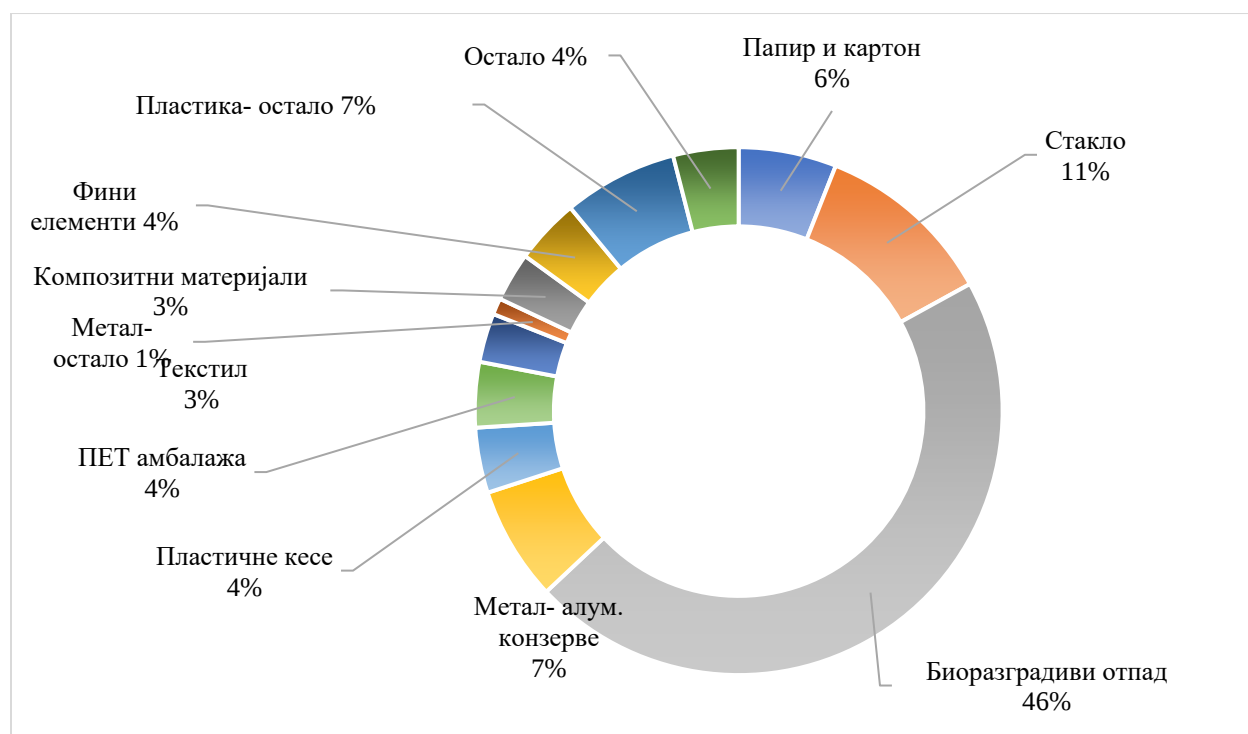
Година	Количина генерисаног отпада		
	kg/ становнику/дан	kg/ становнику/ годишње	Тона годишње
2022.	1,19	434,3	3.033.876
2023.	1,21	442,0	3.080.319
2024.	1,23	450,0	3.129.084
2025.	1,26	458,4	3.180.295
2026.	1,28	467,1	3.234.082
2027.	1,30	476,1	3.290.582
2028.	1,33	485,5	3.349.939
2029.	1,36	495,4	3.412.307
2030.	1,39	505,6	3.477.846

3.1. Особине чврстог комуналног отпада

Особине комуналног отпада кроз које се могу дефинисати састав и карактеристике чврстог комуналног отпада, а самим тим и састав процедурних депонијских вода, су [54]:

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

Морфолошки састав чврстог комуналног отпада се одређује као масени удео појединих врста отпада у карактеристичном узорку [57]. Слика 1.1 приказује морфолошки састав комуналног отпада у Републици Србији у току 2020. године.



Слика 3.2 Морфолошки састав мешовитог комуналног отпада у Републици Србији 2020. године [79]

На основу података које пружа Агенција за заштиту животне средине, може се закључити да 46% чврстог комуналног отпада представља биоразградиви отпад, који се састоји од

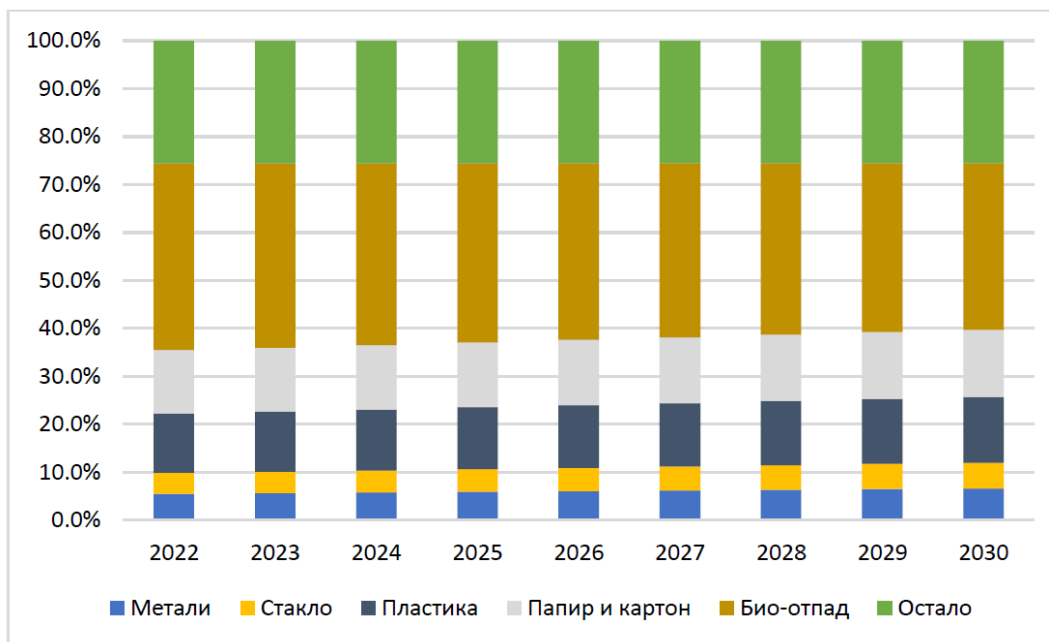
баштенског отпада и отпада од хране. Врсте отпада које су мање заступљене су: текстил, дрво, кабасти отпад, батерије и остали отпад.

Табела 3.4 Просечан морфолошки састав мешовитог комуналног отпада у Републици Србији у 2020. години [79]

Фракције комуналног отпада	Количина мешаног комуналног отпада (t)	Количина одвојено сакупљеног отпада (t)	Укупна количина комуналног отпада (t)	Удео у укупном комуналном отпаду (%)
Метали	105.994	47.853	153.848	5,2
Стакло	98.599	22.238	120.838	4,1
Пластика	300.728	55.293	356.021	12,1
Папир и картон	152.829	229.973	382.802	13,0
Биоотпад	1.168.401	11.469	1.179.870	40,0
Дрво	71.484	27.945	99.429	3,4
Текстил	81.344	61	81.405	2,8
Е-отпад	105.994	60.704	166.698	5,7
Батерије	49	21	70	0,002
Кабасти отпад	937	422	1.359	0,0
Мешани отпад	354.957	0	354.957	12,0
Остало	23.664	26.536	50.199	1,7
УКУПНО	2.464.981	482.515	2.947.496	100

Компоненте отпада из суве фракције које је могуће рециклирати су папир и картон (13%), пластика (12,1%), метали (5,2%) и стакло (4,1%).

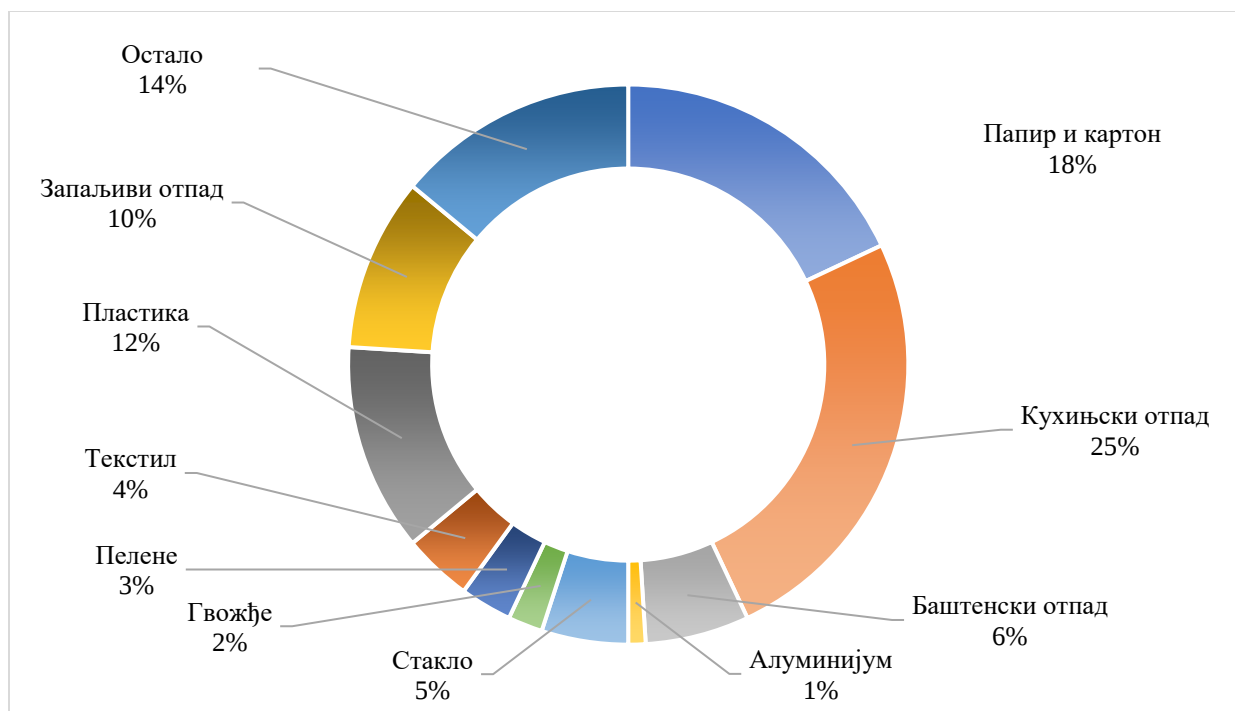
Удео биоотпада који се конкретно базира на баштенском отпаду и отпаду од хране ће према предикцијама бити смањен на 34,7% у 2030. години, уз претпоставку да ће се увести контејнери за компостирање у домаћинствима, компостана за зелени отпад, на које грађани могу да допремају зелени отпад, итд.



Слика 3.3 Пројектовани састав генерисаног отпада у Републици Србији у периоду од 2022. до 2030. године (%) [79]

На основу модела предвиђа се и да ће 2030. године количине папира и картона бити 14%, стакла 5,3%, пластике 13,8% и метала 6,7%, док ће све остале врсте отпада имати 25,5% удела у односу на укупну количину.

Морфолошки састав отпада у Европској Унији разликује се међу државама чланицама, па је из тог разлога тешко одредити јединствену структуру отпада. У морфолошком саставу комуналног отпада у развијенијим земљама чланицама (Шведска, Немачка, Француска) доминирају пластика, картон и папир, док је удео органског отпада низак. На слици 3.3. приказан је морфолошки састав чврстог комуналног отпада на територији Европске Уније у 2016. години.



Слика 3.4 Морфолошки састав комуналног отпада у ЕУ [76]

У осталим државама чланицама, између осталих, Румунији, Бугарској, које по економским показатељима припадају земљама у развоју, у морфолошком саставу отпада доминира органска фракција [81]

По економским показатељима Република Србија такође припада земљама у развоју, па сходно томе у морфолошком саставу отпада такође доминира органски отпад.

Влажност отпада из домаћинства зависи од врсте отпада која се налази у целокупној маси отпада као и од његовог садржаја влаге. У зависности од локалитета прикупљања отпада као и од годишњег доба, влажност комуналног отпада може бити различита. Садржај влаге различите врсте комуналног отпада приказан је у табели 3.5.

Табела 3.5 Садржај влаге код појединих компонената комуналног отпада [54]

Врста отпада	Садржај влаге %
Отпади од хране	70
Зелени отпад из башта и паркова	60
Органски отпад	25
Дрво	20
Текстил	10
Кожа	10
Папир	6
Картон	5
Конзерве	3
Пластика	2
Гума	2
Стакло	2
Чврсти комунални отпад- просек	20

Средња густина отпада зависи од средње густине појединих фракција отпада, морфолошког састава отпада и влажности чврстог отпада. Густине појединих компонената комуналног отпада имају различите вредности и зависе од нивоа претходне прераде, облика отпада и физичко-хемијских карактеристика отпада. Основни критеријуми према којима се може одредити вредност средње густине су: број становника, начин становања и садржај лакших компонената као што су папир, картон и сл. Густине појединих компонената чврстог комуналног отпада приказане су у табели 3.6.

Табела 3.6 Густина појединих компонената комуналног отпада [54]

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

Хемијски састав комуналног отпада је веома значајан због могућности високог ризика деградације животне средине (оцеђивање процедних вода у водна тела), а у циљу избора одговарајуће методе за његов третман. Хемијска анализа комуналног отпада на депонијама је приказан у табели 3.7.

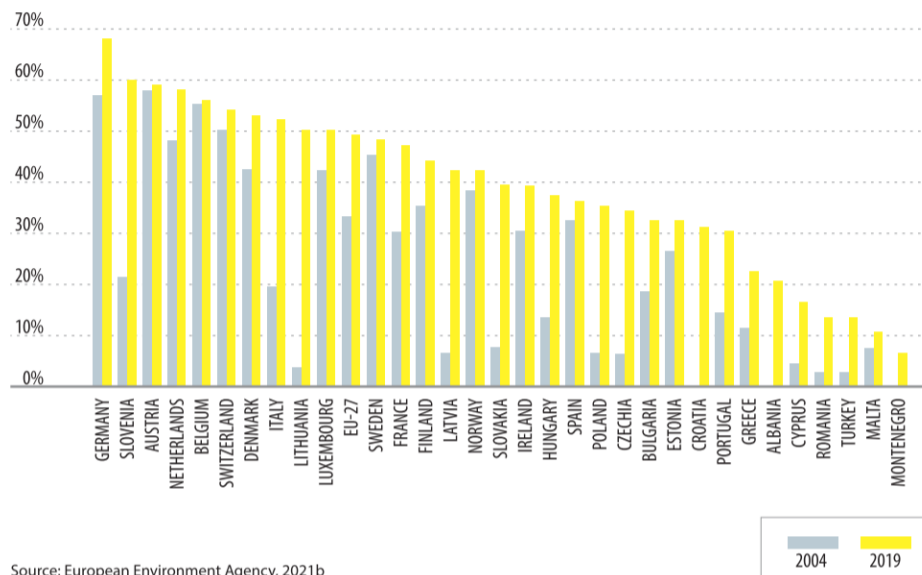
Табела 3.7 Хемијска анализа комуналног отпада са депонија [57]

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

Уз помоћ квалитативне анализе хемијског састава комуналног отпада могуће је заштитити водна тела, земљиште и ваздух као и утврдити степен стишљивости отпада.

3.2. Третман комуналног отпада

Подаци о третману комуналног отпада у земљама ЕУ доступни су са количином рециклираног комуналног отпада која расте са 37 милиона тона (87 kg по становнику) у 1995. години на 107 милиона тона (241 kg по глави становника) у 2020. години. Свеукупно, удео рециклираног комуналног отпада порастао је са 19% у 1995. години на 48% у 2020. години [82].



Слика 3.5 Рециклажа комуналног отпада у ЕУ [77]

Међутим, постоји огромна разлика између земаља када је у питању рециклажа комуналног отпада: Немачка води са стопом од 67%, а само седам других земаља је постигло циљну стопу ЕУ од 50% (Словенија, Аустрија, Холандија, Белгија, Швајцарска, Данска и Италија) Насупрот томе, земље као што су Румунија, Турска, Малта и Црна Гора рециклирају мање од 20% комуналног отпада према подацима Европске агенције за животну средину из 2021 . године [77].

Спаљивање отпада у Европи нагло расте, посебно спаљивање комуналног отпада. Између 1995. и 2018. године спаљивање отпада је порасло за 117% са 32 милиона тона (67 kg по глави становника) у 1995. на 70 милиона тона (136 kg по глави становника) у 2018. Ово повећање је углавном узроковано смањењем коришћења депоније [83].

Такође је дошло до повећања спаљивања отпада за добијање енергије где се енергија производи у облику електричне енергије и/или топлоте из сагоревања комуналног и другог чврстог отпада из домаћинства. Шест земаља – Немачка, Француска, Холандија, Шведска, Италија и Уједињено Краљевство – чине три четвртине капацитета за спаљивање у ЕУ.

У Републици Србији се претпоставља да су количине третираног отпада једнаке количинама сакупљеног отпада. Ефикасност сакупљања, тј. однос прикупљене количине отпада и укупне количине произведеног отпада, порасла је са 71 % у 2010. години на 86 %

у 2019. години [84]. Методе третмана комуналног отпада могу бити: рециклажа, инсинерација, компостирање, остали поступци третмана комуналног отпада (пиролиза, гасификација, плазма процес итд.) и одлагање отпада на санитарне депоније.

Према Закону о управљању отпадом, подаци о третману отпада обухватају укупну количину рециклираног и одложеног отпада. Ове податке дају јавна комунална предузећа (ЈКП) на основу својих годишњих извештаја. Између 2015. и 2019. године пријављене количине третираног отпада порасле су за 47 %, док је количина генерисаног отпада порасла за само 28 % у истом том периоду. Количина отпада који се рециклира остала је стабилна [85].

3.2.1. Одлагање отпада на депонијама

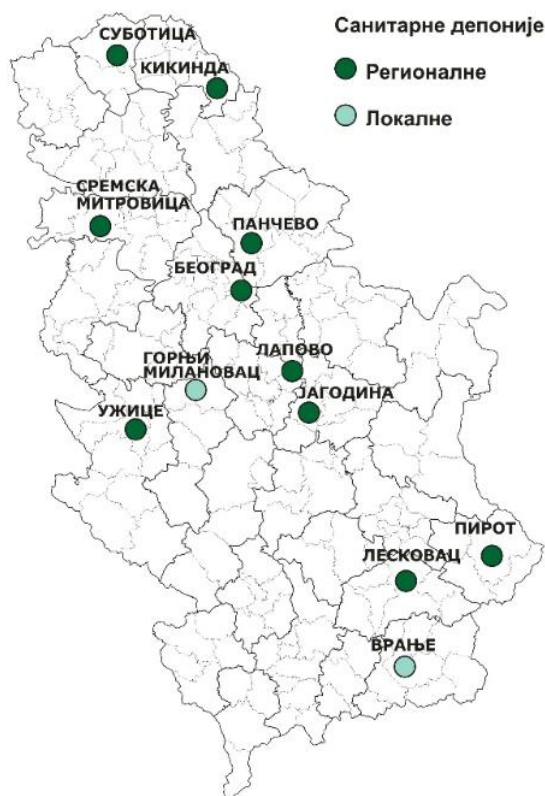
Одлагање комуналног отпада на депоније у Европи опало за 58% између 1995. и 2020. године, до тада је само 23% комуналног отпада одлазило на депонију, у поређењу са 61 % у 1995. години [82]. Међутим, комунални отпад чини само око 8% укупног отпада насталог у ЕУ и када се посматра сав третираног отпад (осим извоза, али укључујући увоз), тада скоро 40% отпада се одлаже на депонију [86].

У Шпанији, Португалу, Грчкој и већини земаља источне Европе, депонија је и даље преовлађујући облик третмана отпада [83]. Извештај Европске комисије сугерисао је да би таксе на депоније могле користити како би се осигурало да депонија не буде најјефтинија опција и на тај начин приморала земље ЕУ да пређу на алтернативне методе.

У Републици Србији одлагање комуналног отпада врши се на санитарним, несанитарним и дивљим депонијама. Санитарна депонија је простор који је санитарно-технички уређен и на који се одлаже чврсти комунални отпад који нема својства опасних материја, који се не може се прерађивати или користити као индустријска сировина или енергетско гориво, а које настаје на јавним површинама, у домаћинствима, у административним објектима, трговини и предузећима која су нису индустријског карактера [54]. Несанитарна депонија представља локацију где јединице локалне самоуправе депонују свој отпад, у такозваним, полуконтролисаним условима, којим управљају ЈКП и које има своју предодређену инфраструктуру, док тело депоније није пројектовано у складу са прописима којим се уређује одлагање отпада на депоније по процедури- нема заштитну баријеру, дренажни

систем за каналисање отпадних вода са депонија итд. Дивља депонија је место или јавна површина на којој се неконтролисано одлажу различите врсте отпада и које не испуњава никакве услове који су утврђени прописом којим се уређује одлагање отпада на депоније [55].

Сваке године количина депонованог отпада на санитарним депонијама се повећава. Велики део насталог комуналног отпада одлаже се на несанитарним депонијама које су ван контроле ЈКП, јер представља најјефтинију могућност. У току 2018. године проценом се закључило да је 25% отпада депоновано на неку од постојећих санитарних депонија, 45% је депоновано на тренутно регистрованим, али несанитарним општинским депонијама, а око 30% укупног отпада депоновано је на неконтролисаним (дивљим) депонијама [84]. У Србији постоји 12 санитарних депонија и њихове локације приказане су на слици 3.6.



Слика 3.6 Мапа санитарних депонија у Републици Србији [87]

Национална стратегија управљања отпадом из 2003. године и 2010. године предвидела је затварање и рекултивацију тренутно постојећих несанитарних депонија и изградњу 29

модерних регионалних санитарних депонија, које би имале свој центар за сепарисање рециклабилног отпада и своју трансфер станицу.

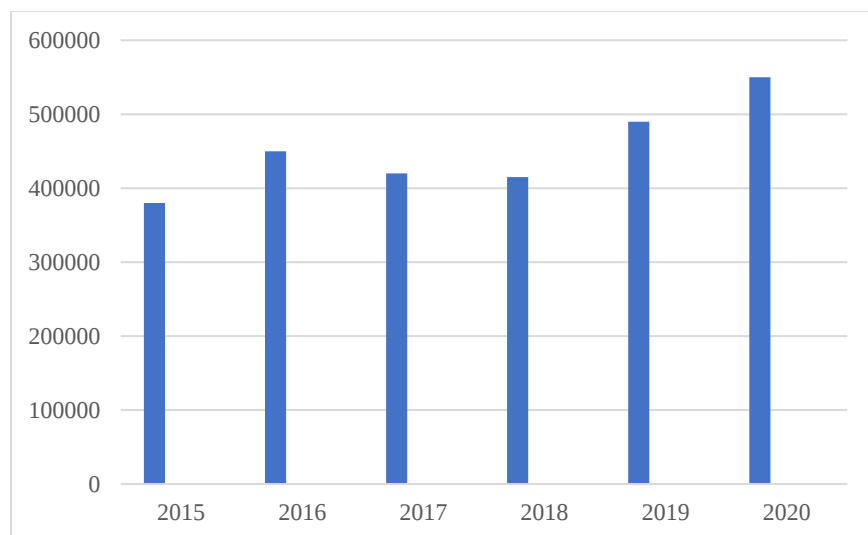
У табели 3.8 је приказана количина одложеног отпада на санитарним депонијама у периоду од 2015-2021. године.

Табела 3.8 Количина одложеног отпада на санитарним депонијама у периоду од 2015.-2021. године изражена у тонама [80]

Санитарна депонија	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
РСД „Дубоко“ Ужице	72051	77930	75295	79764	82214	83541	87905
РСД „Врбак“ Лапово	35580	49749	41266	35264	68166	57396	50404
РСД Кикинда	54008	50903	50411	55056	50231	37478	29717
РСД „Гигош“ Јагодина	62760	74113	62893	61660	75360	69042	75835
РСД „Жељковац – Д2“ Лесковац	64269	63380	69255	71102	71369	82953	77388
РСД „Мунтина падина“ Пирот	36956	31685	29987	28456	30903	30654	33918
РСД „Јарак“ Сремска Митровица	44545	48126	50912	51080	55369	56680	58574
РСД Панчево	/	34093	25815	25358	28562	76225	41817
РСД Суботица	/	/	/	/	4056	27382	27978
СД „Метерис“, Врање	180	19890	16841	17247	20087	21946	23504
СД „Вујан“, Горњи Милановац	14879	13628	15203	14655	14580	15361	15095
РСД „Винча“ Београд	/	/	/	/	/	/	327980
Укупно	385228	463497	437878	439642	500897	558658	850115

Као што се види из табеле 3.8, сваке године долази до одређеног повећања количине отпада који се одлаже на санитарним депонијама и ако се и даље велике количине отпада одлажу и на несанитарним депонијама.

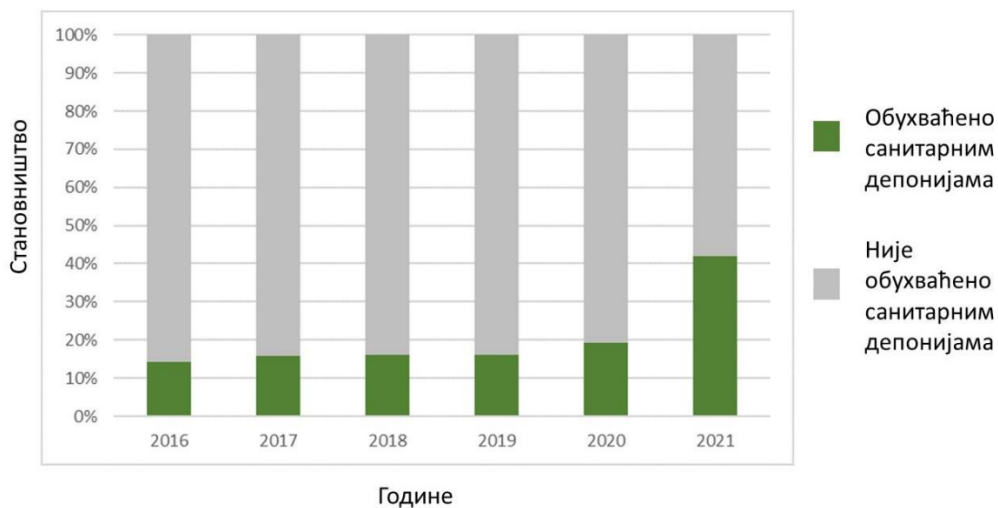
На слици 3.7 приказана је количина одложеног комуналног отпада на санитарним депонијама до 2020. године.



Слика 3.7 Приказ одложених количина комуналног отпада на санитарним депонијама у Републици Србији до 2020. године изражене у тонама [80]

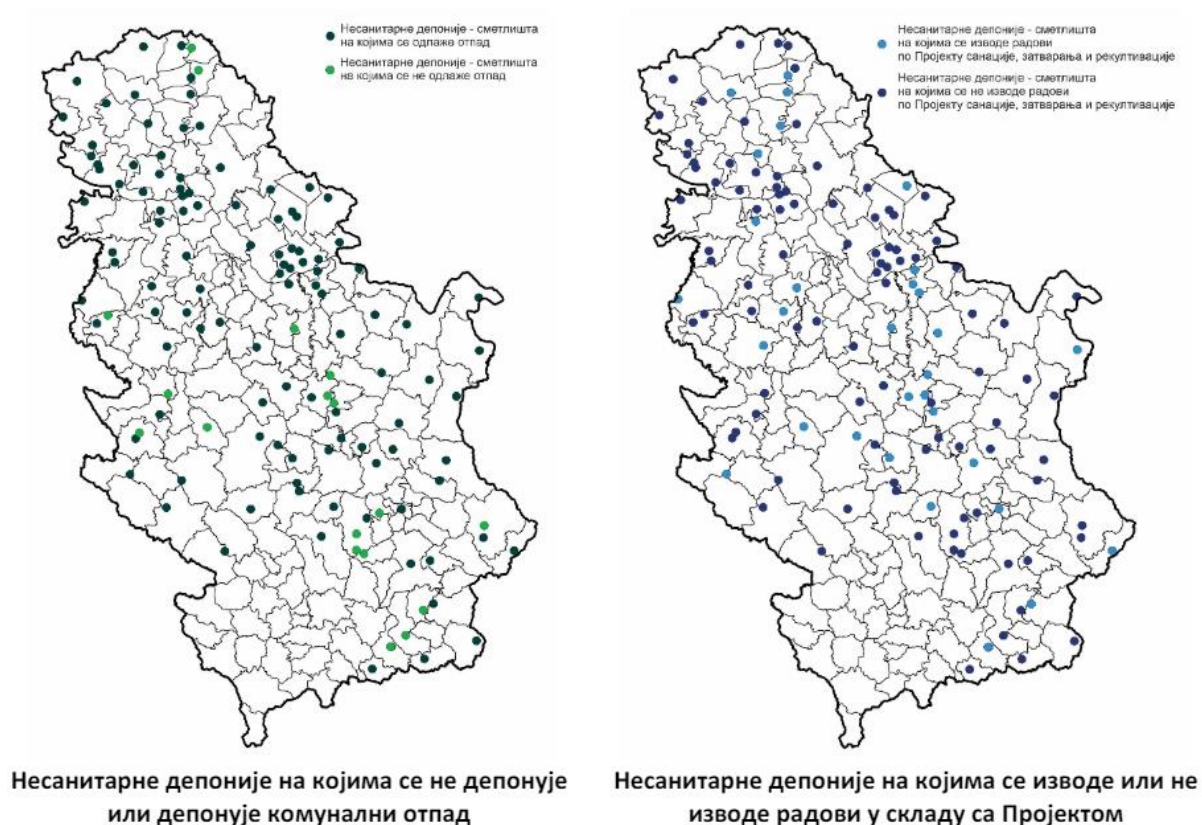
Санитарне депоније и даље не раде у потпуности у складу са условима наведеним у Директиви ЕУ о депонијама. Поред 12 санитарних депонија, у Србији постоји и око 100 несанитарних општинских депонија и више од 3.000 дивљих депонија [59].

У чврстом комуналном отпаду највећи проценат има биоразградиви отпад. На 12 санитарних депонија у 2021. години одложено је чак 850 000 t комуналног отпада што обухвата 42% од укупног броја становника Републике Србије. Како је 2016. године приступачност становништва санитарном депоновању чврстог комуналног отпада, износило само 14%, може се закључити да је сада овај проценат много већи. На слици 3.8 приказана је обухваћеност становништва санитарним депонијама у Републици Србији.



Слика 3.8 Обухваћеност становништва санитарним депонијама у Републици Србији [80]

Иако је евидентан велики напредак у приступачности становништва до санитарних депонија још увек се велика количина отпада ипак одлаже на несанитарне или дивље депоније.



Слика 3.9 Мапа несанитарних депонија на територији Републике Србије [87]

Од укупног броја несанитарних депонија, на око 85% се отпад активно одлаже. На 50 депонија врши се редовно прекривање депонованог отпада инертним материјалом, а на 70 делимично прекривање. Такође, 23 депоније се налазе у поплавном подручју, што може значајно негативно утицати на површинске и подземне воде. Анализом је утврђено да је за 16 депонија предвиђена експлоатација у наредне три године, за 19 депонија у периоду од три до пет година, а за 50 депонија више од пет година. За остале депоније је предвиђено хитно затварање и санирање [87].

За 60 депонија се не води евиденција пријема отпада, док се за осталих 75 депонија води евиденција. За 81 несанитарну депонију је урађен пројекат санације, затварања и рекултивације, од којих 66 има сагласност. За 55 локација је потребно изградити нови или ажурирати постојећи пројекат. Само на 24 депоније се радови изводе у складу са пројектом.

Значајне количине одложеног отпада представља отпад који обухвата мешани комунални отпад, остатке са јавних површина и кабасти отпад који се одлаже у износу од 962 хиљаде тона, затим отпад од прераде шљаке из термичких процеса, отпадна земља и камен, мешавине или појединачне фракције бетона, цигле, црепа и керамике и остали мешани грађевински отпад.

Мешовити комунални отпад у Републици Србији се одлаже на депоније без претходног третмана и то је један од кључних извора загађења површинских и подземних вода (Тошић, et al., 2020). Када депоније нису технички-санитарно уређене, као последица се може јавити цурење процедних вода из чврстог комуналног отпада који садржи широку мешавину опасних материја. Процедне воде су воде које настају у процесу одлагања отпада (распадањем отпада) и деловањем вода које доспевају у тело депоније, издвајају се на дно тела депоније и одводе се посебним системима изван тела депоније или се делимично задржавају у њему [67]. Цурење процедних вода може имати негативан утицај на водна тела, водене организме, земљиште, биљке, и здравље људи. Миграција процедних вода са депонија и последична контаминација тла и подземних вода од негативних утицаја процедних вода, су забележене у литератури још од 1993. године [88],[10], [89], [12]

У Републици Србији, научна истраживања о негативним утицајима процедних депонијских вода на животну средину, њихов састав, миграција, време протицања, почела су да се спроводе тек последњих неколико година [48] [50], [52] [32].

3.3. Интеракција депонија са пријемним водним телима

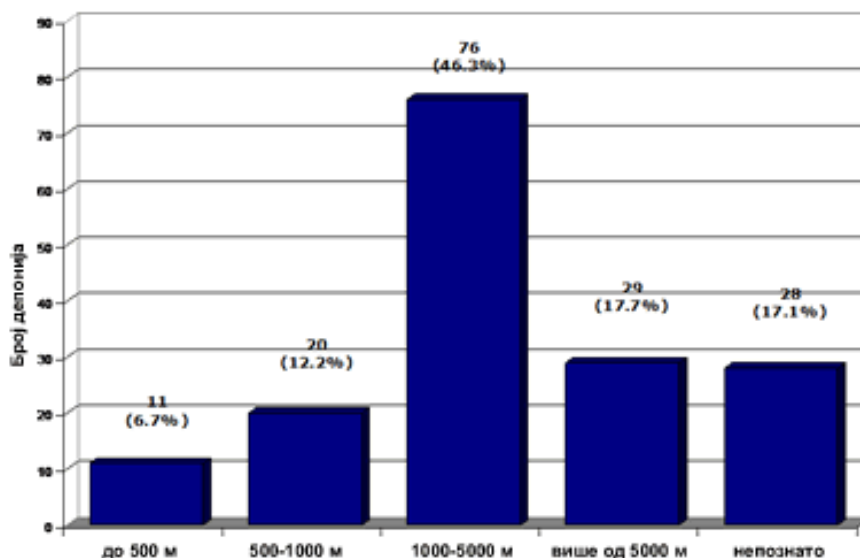
Пријемна водна тела у Републици Србији представљају јако важне ресурсе који су основа за снабдевање водом, агрикултуру, индустрију и здраву животну средину. Генерално водна тела укључују реке, језера и подземне воде [90]. Међу најзначајнијима су реке као што су Дунав, Сава, Тиса, Велика Морава, Јужна и Западна Морава, али и мање реке попут Нишаве, Тамиша, Ђетиње итд [91].

Значај пријемних водних тела је велики јер омогућавају обезбеђивање воде за пиће али и задовољавају индустријске и пољопривредне потребе. Такође, водна тела као станишта биљака и животиња, одржавају биодиверзитет и еколошку равнотежу чиме значајно доприносе еколошком значају Републике Србије. У економском погледу водна тела представљају значајне путеве за транспорт, риболов и туризам [90].

Удаљеност водних тела од депонија је веома важна јер она представљају реципијенте за процедурне воде које настају у телу депонија које у свом саставу имају широк дијапазон компоненти које могу угрозити квалитет водних тела. Зато је важно да се депоније стратегијски планирају тако да буду на адекватној удаљености од водних тела и да имају одговарајуће заштитне мере.

Подаци о удаљеностима депонија од водених тела у Републици Србији указују на врло забрињавајуће чињенице. Отприлике 15.2% депонија, што је 25 од њих, налази се на удаљености мањој од 50 m од обале река, језера, потока или акумулација. Из ове групе, 14 депонија је лоцирано директно на самим обалама или чак у водном телу. Такође, 32 општине (20% од укупног броја) нису доставиле информације о удаљеностима својих депонија од водених тела [90].

Што се тиче специфичне близине депонија извориштима водоснабдевања, 11 депонија (6.7%) се налази на удаљеностима мањим од 500 m од зоне водоснабдевања, док се 28 депонија (12.2%) налази на удаљености мањој од 1000 m. Ови подаци су приказани на слици 3.10 и указују на потенцијално висок ризик од загађења водених тела, што може угрозити здравље и безбедност становништва, као и животну средину.



Слика 3.10 Удаљеност депонија од пријемних водних тела [92]

На локацијама где се налазе депоније и њиховим геолошким карактеристикама тла, постоји знатна разноврсност у вези са њиховим утицајем на водна тела. Велики број депонија се заправо налази у близини водотокова или чак имају регистрован водоток у својим телима. То указује на потенцијалну могућност за директну интеракцију између депонија и водних тела путем протока подземних вода или до површинских вода.

Такође, постоји значајан број депонија који су у поплавном подручју или њиховој близини. Ово представља додатни изазов у управљању депонијама и отпадним водама, посебно у случају непредвиђених догађаја као што су поплаве. У табели 3.9 приказане су врсте интеракције између депонија и пријемних водних тела.

Табела 3.9 Врсте интеракције између депонија и пријемних водних тела [92]

Врста интеракције депоније и водних тела	Број депонија
Водно тело је регистровано у телу депоније	12
Водно тело је регистровано у близини депоније	65
Постоји могућност повезаности депоније са водним телом	46
Депонија је у поплавном подручју или његовој близини	28

Карактеризација реципијената депонијских процедурних вода у Републици Србији је важан сегмент јер указује на то како процедурне воде из депонија могу утицати на околне водне ресурсе. Карактеризација реципијената укључује више фактора који су битни за процену утицаја депонија на животну средину, односно на пријемна водна тела. Пре свега, важно је

идентификовати реципијенте и анализирати њихове физичке, хемијске, географске и хидролошке карактеристике, како се боље извршила оцена ризика депонија на пријемна водна тела [90], [93], [94]. У табели 3.10 приказани су хемијски и физичко-хемијски параметри оцене еколошког статуса водних тела типа 2.

Табела 3.10 Хемијски и физичко-хемијски параметри оцене еколошког статуса водних тела типа 2 [95]

Параметар	Границе између класа еколошког статуса			
	I-II	II-III	III-IV	IV-V
pH вредност (mg/l)	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	<6,5- >8,5
Растворени кисеоник (mg/l)	8,5	7	5	4
БПК ₅ (mg/l)	1,8	4,5	6	20
Укупни органски угљеник (TOC) (mg/l)	2	5	7	23
Амонијум јон (NH ₄ -N) (mg/l)	0,005	0,1	0,8	1
Нитрати (NO ₃ -N) (mg/l)	1,5	3	6	15
Ортофосфати (PO ₄ -P) (mg/l)	0,02	0,1	0,2	0,5
Укупни растворени фосфор (mg/l)	0,05	0,2	0,4	1
Хлориди (mg/l)	50	100		

Нека од најзначајнијих водних тела у Републици Србији представљају велике реке као што су Дунав, Тиса, Сава, Велика Морава, Јужна и Западна Морава које су индиректно у потенцијалној интеракцији са санитарним депонијама које се налазе у непосредној близини поменутих водних тела.

Река Дунав је друга по величини река у Европи, са просечним протоком од око 6500 m³/s са ширином која је и преко 1 km у одређеним деловима и дубином и до 8 m [94]. Протиче кроз 10 земаља и служи као транспортни коридор између западне и источне Европе. Река је погодна за водоснабдевање, пољопривреду, енергетику и екосистеме у региону. Има велику улогу у очувању биодиверзитета и пружа станишта за многе биљке и животиње.

Проток Велике Мораве варира и у просеку износи око 100 m³/s и са умереном ширином од 50-100 m [94]. Она је највећа река у централној Србији и врло је важан водни пут. Значајна за пољопривреду региона, као и за водоснабдевање и риболов.

Проток Јужне Мораве променљив, али је у просеку око 40 m³/s и са ширином између 50 и 100 m [94]. Проток реке Јужне Мораве је знатно већи током пролећних месеци и веће количине падавина, па тада износи и преко 130 m³/s. Ова река је важно водно тело за

југоисточну Србију јер служи као важна извор воде за пољопривреду и индустрију у региону. Проток Западне Мораве такође варира, са просеком од око 55 m³/s и са нешто мањом ширином која износи између 40 - 80 m [94]. Дубина реке варира у зависности од годишњег доба и количина падавина. Западна Морава има велики значај за пољопривреду у западној Србији. Она такође доприноси биодиверзитету региона и служи као станиште за многе врсте риба и других водених организама.

Проток реке Саве у Београду је око 1580 m³/s, има умерену ширину до 200 m и променљиве је дубине. Сава је река која је јако важна за Западни Балкан, пролазећи кроз Словенију, Хрватску, Босну и Херцеговину и Републику Србију. Она има велики значај за привреду, посебно за транспорт, туризам, пољопривреду и производњу електричне енергије.

Категорија пријемних водних тела за процедурне воде са санитарних депонија, су значајно измењена водна тела и припадају типу 2, односно великим рекама средњег наноса [96].

Оквирне удаљености санитарних депонија од великих пријемних водних тела приказане су у табели 3.11.

Табела 3.11 Оквирне удаљености санитарних депонија од великих пријемних водних тела

Санитарна депонија	Пријемно водно тело	Удаљеност (km)
РСД „Дубоко“ Ужице	Ђетиња	5-6
РСД „Врбак“ Лапово	Велика Морава	1-2
РСД Кикинда	Тамиш	15-20
РСД „Гигиш“ Јагодина	Велика Морава	1-2
РСД „Жељковац – Д2“ Лесковац	Ветерница	2-4
РСД „Мунтина падина“ Пирот	Нишава	2-3
РСД „Јарак“ Сремска Митровица	Сава	5-7
РСД Панчево	Тамиш и Дунав	1-3; 2-4
РСД Суботица	Палићко језеро	8-10
СД „Метерис“, Врање	Јужна Морава	1-2
СД „Вујан“, Горњи Милановац	Деспотовица	3-4
РСД „Винча“, Београд	Дунав	2-4

Ове удаљености представљају оквирне вредности и могу бити другачије у зависности од специфичне локације депонија и тачне руте до река.

Мања водна тела која имају релативно директне интеракције са санитарним депонијама су река Тамиш, код Кикинде. Она је притока реке Дунав. Тече кроз Румунију и Републику

Србију, пре уливања у Дунав у близини Панчева. Такође, река Ђетиња је најближа река депонији „Дубоко“ код Ужица и представља притоку Западне Мораве.

Најближа река депонији „Жељковац“ код Лесковца је река Ветерница. Она протиче кроз Лесковац и улива се у Јужну Мораву.

Депонија Мунтина Падина се налази у близини Пирота. Најближа река која је подложна негативним утицајима депоније је река Нишава. Нишава протиче кроз Пирот и даље тече ка нижим деловима Србије, уливајући се у Јужну Мораву.

Депонија у Суботици се налази у близини реке Криж. Ова река је мањи водоток који протиче кроз овај део Војводине, али њено загађење би и даље могло имати негативне последице на локални екосистем.

Депонија Вујан се налази у близини Горњег Милановца. Најближа значајна река које је подложна негативним утицајима депоније је река Деспотовица. Река Деспотовица је притока реке Моравице. Моравица даље тече ка Западној Морави, која је један од главних водотока у систему Велике Мораве.

На основу приказаних интеракција између санитарних депонија и пријемних водних тела, даља истраживања усмерена су на представљање негативних утицаја депонија на пријемна водна тела, а који настају као последица генерисања процедурних вода у телу депоније које могу мигрирати у подземне и површинске воде и тиме угрозити животну средину.

4. ПРОЦЕДНЕ ВОДЕ НА ДЕПОНИЈАМА ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

Процедне воде са депонија чврстог комуналног отпада се дефинишу као течни ефлуенти који настају процеђивањем атмосферских вода кроз чврсти отпад који се одлаже на депонију, од влаге која је присутна у отпаду и од продуката који су се разградили од остатака отпада у телу депоније [21], [22], [97], [98], [99], [100]. Представља сложену, хетерогену мешавину веома променљивог састава, која се углавном састоји од различитих органских и неорганских једињења, као и микроорганизама, па су депонијске процедурне воде значајан извор загађења површинских и подземних вода [27].

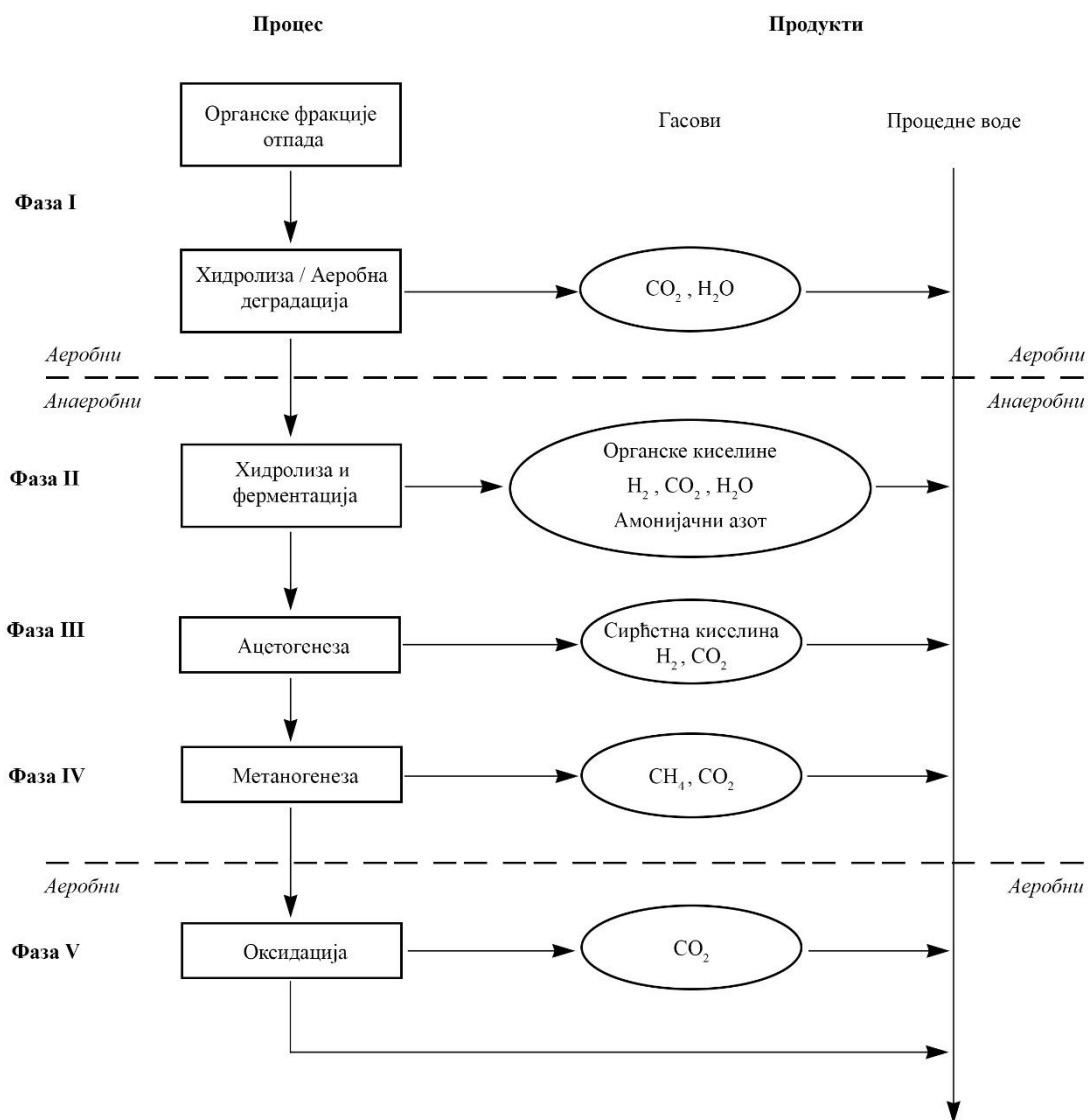
Отпадни материјал се, у зависности од врсте материјала који се депонује, може опште поделити на брзо разградиви, чија разградња траје од 3 месеца до 5 година и споро разградиви материјал, чија разградња траје 50 и више година [101]. Током стајања чврстог отпада на депонији, разлаже се и модификује под дејством физичких, хемијских и биолошких процеса. Прво се у телу депоније одигравају физичке промене, тј. долази до компресије отпада а затим се, после дужег временског периода, одвија континуално слегање, што је последица консолидације и његовог биолошког разграђивања. На овај начин висина депонованог слоја се може смањити за око 30% [102].

У првом слоју насутих отпадака, док још има кисеоника у шупљинама, одвијају се такозвани аеробни процеси. Касније, по утроску кисеоника долази до анаеробног разлагања чврстих отпадака, због биотермичког распадања, при чему се као пратеће појаве јављају процедурне воде и гасови, услед чега долази до слегања депонија [47].

Најчешће се разлагање отпадног материјала на депонији одвија у пет, мање више сукцесивних фаза [4]:

1. фаза почетног прилагођавања;
2. прелазна фаза;
3. фаза ацетогенезе;
4. фаза метаногенезе и
5. оксидациона фаза.

Сви ови процеси су динамички и свака фаза зависи од услова околине, као и од степена и брзине одвијања претходне фазе. Степен загађења процедурне воде органским материјама, може се пратити преко биохемијске потрошње кисеоника (ВРК), хемијске потрошње кисеоника (НРК) или преко укупног органског угљеника. Са разлагањем одложеног органског материјала, мења се и састав процедурне воде, на основу којег се може одредити фаза разлагања у којој се налази депоновани материјал [32]. Фазе разлагања отпада приказане су на слици 4.1.



Слика 4.1 Фазе разлагања комуналног отпада [4]

У фази почетног прилагођавања (фаза 1), органске биоразградиве компоненте из чврстог отпада подлежу микробиолошкој разградњи по стављању отпада на депонију и убрзо после депоновања. У тој првој фази се биолошка разградња одвија под аеробним условима, јер је извесна количина кисеоника остала заробљена у депонији. Основни извор аеробних и анаеробних организама који су одговорни за разлагање комуналног отпада је прекривни материјал, који се наноси као дневна и финална прекривка [27].

За прелазну фазу (фаза 2) је карактеристично да почињу да се развијају анаеробни услови, јер је у овој фази садржај кисеоника веома мали. Како услови постају анаеробни, сулфати и нитрати који углавном имају улогу акцептора електрона у процесима биолошке конверзије се често редукују до водоник-сулфида и гасовитог азота. Тада такође почиње и конверзија сложеног органског материјала у органске киселине и друге интермедијарне продукте. У фази 2, рН вредности процедурне воде, почињу да опадају због присуства органских киселина и утицаја повећане концентрације CO_2 у телу депоније [47].

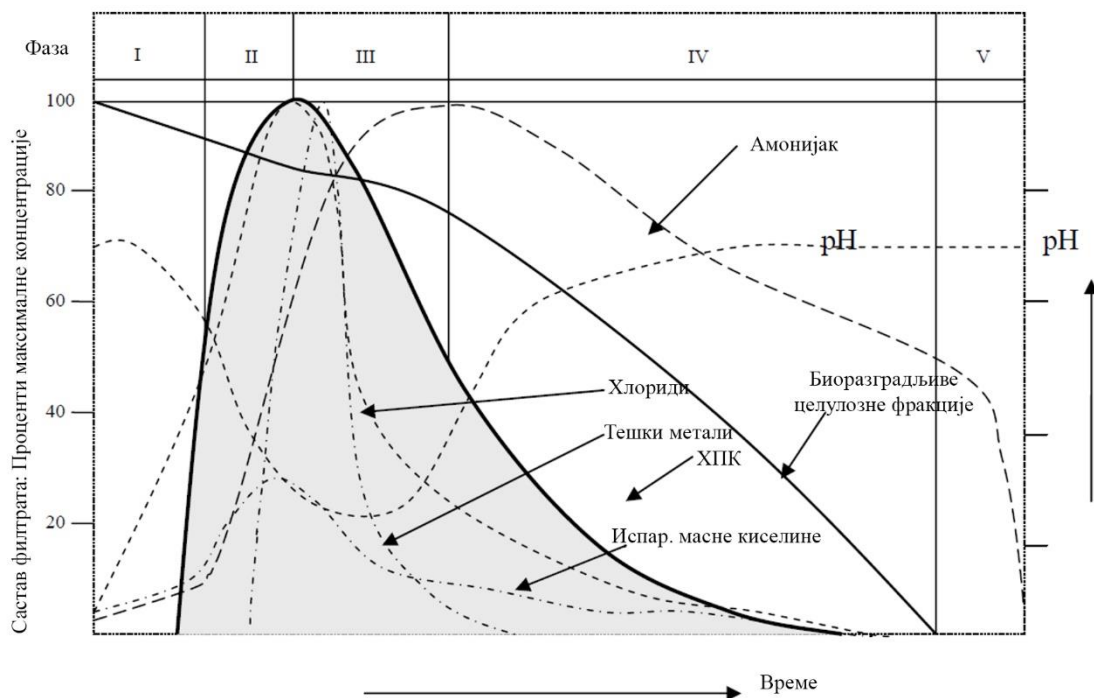
У фази 3, која се такође назива и „кисела фаза“, микробиолошка активност која је започета у фази 2 се убрзава уз продукцију знатне количине органских киселина и мање количине водоника. У првом степену одиграва се трансформација ензима- хидролиза, која представљају једињења велике молекулске масе (липиди, полисахариди, протеини и нуклеинске киселине) у једињења која су погодна за микроорганизме као извор енергије и ћелијског угљеника.

Други степен у овом процесу укључује микробиолошку конверзију једињења насталих у првом кораку у интермедијаре мање молекулске масе, као што је сирћетна киселина. Угљен-диоксид је основни гас који настаје током фазе 3. Микроорганизми укључени у конверзију, описани као неметаногени, састоје се од факултативних и анаеробних бактерија. Ови микроорганизми се често у литератури наводе као „стварачи киселина“. Вредности рН падају на 5 или ниже, због присутних органских киселина и повишене концентрације CO_2 у телу депоније [47]. Биолошка потрошња кисеоника (ВРК), хемијска потрошња кисеоника (НРК) и проводљивост процедурног филтрата се значајно повећава за време фазе 3, због растварања органских киселина у процедурном филтрату. Такође, због ниских вредности рН велики број неорганских састојака, углавном тешких метала, се раствара за време ове фазе.

У фази 4 (фаза ферментације метана) постаје преобладајућа друга група микроорганизама која врши конверзију сирћетне киселине и водоника у киселој фази у метан и угљендиоксид. У неким случајевима ови организми почињу да се развијају и крајем фазе 3. Микроорганизми одговорни за ову конверзију су стриктно анаеробни и називају се метаногени. У фази 4 и метан и киселине настају симултано, иако је брзина настајања киселина нешто смањена [56]. рН унутар тела депоније расте до неутралног опсега 6,8-8, док ВРК, НРК и проводљивост опадају. При вишим рН вредностима, само неколико неорганских састојака остаје у раствору, па се стога концентрација тешких метала присутних у раствору редукује.

Фаза 5 (фаза сазревања) се одиграва када су доступне биоразградиве органске материје конвертоване у CH_4 и CO_2 током фазе 4. Како влага наставља да мигрира кроз отпад, део биоразградивог отпада који раније није био доступан ће бити конвертован. Брзина настајања гаса знатно опада у фази 5, јер су многи доступни нутријенти напустили тело депоније са процедним филтратом за време претходних фаза и супстрат који је заостао је споро биоразградив. Основни депонијски гасови који се издвајају у фази 5 су метан и угљендиоксид.

Трајање индивидуалних фаза у разлагању органског материјала зависи од дистрибуције органских компонената у депонији, доступности нутријената, садржаја влаге у отпаду, путање влаге током попуњавања депоније и степена почетног компактирања. Брзина разградње ће бити знатно смањена ако није доступно довољно влаге. Повећавање густине материјала који је депонован, односно компактирањем, смањује се могућност да влага доспе у све делове отпада, чиме се редукује брзина биоразградње и количина насталог гаса. Промене у саставу процедног филтрата кроз фазе разлагања отпада приказане су на слици 4.2.



Слика 4.2 Промене у саставу процедне воде кроз фазе разлагања отпада [102]

На слици 4.2. се јасно може видети промена састава процедних депонијских вода, тј. максималне концентрације супстанци и pH вредности у оквиру 5 сукцесивних фаза у јединици времена. Највеће промене концентрација хлорида, тешких метала, масних киселина и НРК, у саставу процедних вода се јављају у фази 2 и 3, док концентрације амонијака и биоразградљиве целулозне фракције највећу промену у саставу показују у фази 3 и 4. Вредности pH у фази 4 и 5 постају константне.

4.1. Састав процедних вода

Вода који се налази у чврстом отпаду, као и воде које се инфилтрирају у депонију формирају медијум у коме се растварају све растворљиве супстанце и који узрокује кретање нераствореног материјала наниже, ка дну депоније – процедна вода [32] [16], [103].

На хемијске карактеристике процедне воде утиче биолошка разградња биоразградљивих органских материја, процеси хемијске оксидације и растварање органских и неорганских материја у отпаду [104]. Тако, на пример, реакције између органских киселина и метала дају јоне метала и соли, а угљендиоксид после дејства воденог медијума раствара калцијум и магнезијум што изазива повећање тврдоће процедних вода (филтрата).

Веома је тешко предвидети стварни састав процедних вода, јер он зависи од низа променљивих фактора као што су : састав отпада, температура и садржај влаге, путања течности, дебљина депоније, фазе разлагања отпада, могућност међуслојева да апсорбују и уклоне загађење као и квалитет воде која се инфилтрира у тело депоније [21],[22].

4.1.1. Састав отпада

Од морфолошког састава отпада који је одложен на депонију у многоне зависи и састав процедних вода који се процеђује кроз депонију [99] .

Папир се под дејством воденог медијума разлаже и у процедни филтрат прелазе угљендиоксид, алдехиди, органске киселине, феноли, амонијак, нитрити и нитрати. У телу депоније остају амонијак, односно азот, угљеник, фосфор и сумпор инкорпорирани у микробиолошку протоплазму. Део угљендиоксида, испарљиве киселине, водониксулфид, меркаптани, азот и део амонијака се издвајају у виду гасова.

Текстилни производи загађују процедурне воде угљендиоксидом, алдехидима, кетонима, органским киселинама, сулфатима, фосфатима, амонијаком, нитритима и нитратима. У микробиолошкој протоплазми у самом телу депоније остаје: део амонијака, угљеник, фосфор и натријум.

Органске материје се под дејством микроорганизама разлажу на простија једињења (угљендиоксид, алдехиде, кетоне, органске киселине, фенол, амонијак, нитрите, нитрате, сулфате, фосфате и карбонате) која, као растворна прелазе у водени медијум. Део амонијака, угљеник, фосфор и калијум остају уграђени у микробиолошкој протоплазми [99].

Метали се растварају и прелазе у процедурне воде као калцијум, магнезијум сулфат, бикарбонат гвожђа, калцијум и магнезијум бикарбонат и оксиди калаја, цинка и бакра [105].

Пластичне масе, синтетичке тканине и синтетичка гума су углавном инертне материје, а природна гума се разлаже релативно споро.

Из коже се у водени медијум инфилтрирају угљендиоксид, амонијак, нитрити и нитрати, а у телу депоније остаје део амонијака, редукована сумпорна једињења, угљеник, фосфор и натријум.

Из дрвета, у процедурне воде, прелазе угљендиоксид, алдехиди, нитрити и нитрати, а у микробиолошкој протоплазми остаје део амонијака, угљеник, фосфор и калијум.

4.1.2. Садржај влаге у отпаду

Од састава отпада зависи и колики ће садржај влаге бити у одложеном отпаду. Стакло, папир, пластика, метали и пепео имају низак почетни садржај влаге, док отпад који је органски као што су храна или баштенски отпад, имају висок почетни садржај влаге. Укупни почетни садржај влажности унутар сабијеног отпада се процењује да износи око 20% [54]. Просечна влажност и састав компоненти комуналног чврстог отпада изражени у процентима приказани су у табели 4.1.

Табела 4.1 Просечна влажност и састав компоненти комуналног чврстог отпада изражени у процентима [54]

Компонента	Влажност	C	H	O	N	S	Пепео
Органска фракција							
Отпаци од хране	70	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Папир и картон	6	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6.0
Пластика	2	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
Текстил	10	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2
Гума	2	69.7	8.7	-	-	1.6	20.0
Кожа	10	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
Баштенски отпад	60	46.0	6.0	38.0	3.4	0.3	6.3
Неорганска фракција							
Стакло	2	0.5	0.1	0.4	0.1	-	98.9
Лименке	3	4.5	0.6	4.3	0.1	-	90.5
Остали метали	2,5	4.5	0.6	4.3	0.1	-	90.5
Шут, пепео и сл.	8	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

На кретање влаге унутар депоније, поред влажности одложеног отпада, утичу и процеси инфилтрације и евапотранспирације чиме се изнова распоређује влажност, и мења се биланс воде унутар тела депоније [47].

Инфилтрација се дефинише као улаз воде унутар земљишног профила [54]. Капацитет земљишта да инфилтрира воду преставља важан параметар због тога што регулише која количина падавина која ће отицати, а која ће бити апсорбована унутар земљишта. Инфилтрација може зависити од: конфигурације терена, обраслости терена вегетацијом, геолошких карактеристика терена, интензитета падавина, итд [106]. Инфилтрација не означава само воду од атмосферских падавина већ она укључује и [107]:

- доток вода из подземних вода,
- присуство рецикулације процедних вода,
- допринос од течног отпада одложеног на депонију.

Депонијски материјал се понаша као велики сунђер, у коме се вода креће, и из којег се вода може ослободити у подземне воде, у атмосферу у виду водене паре или може истицати као филтрат на дну депоније.

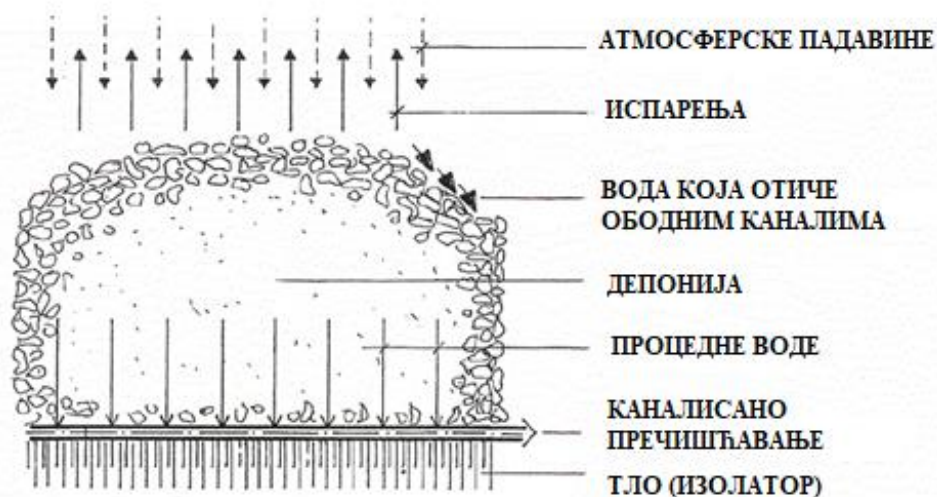
Брзина стварања процедног филтрата зависи од количине воде односно влаге која се налази у отпаду као и од количине падавина које доспеју на депоноване отпатке [108]. Такође, клима значајно утиче на брзину стварања процедних вода и то тако што је количина ових вода много већа у зони високих падавина, од оних у зони са малим падавинама [104].

Топографија тла утиче на смер кретања бујице као и на количину воде која улази и излази из зоне депоније, због чега депоније треба пројектовати тако да што мања количина воде из околне зоне доспева у њу, што се решава ободним каналима око тела депоније.

Одређивање количине процедних вода је критичан пројектни параметар, јер количина и загађење створених процедних вода знатно утичу на трошкове рада депонија, нарочито у случајевима када се предвиђа сакупљање и третман ових вода.

У правилно лоцираним и испројектованим депонијама у којима се врши исправно санитарно одлагање отпада, процедни филтрат се ствара пре свега од падавина које падну на тело депоније.

На слици 4.3 је дат шематски приказ биланса кретања вода на телу депоније, на основу кога се могу дефинисати количине процедурне воде које се процеде кроз тело депоније.



Слика 4.3 Кретање воде кроз тело депоније [102]

Ако се прати силазно кретање воде током дренажање воде кроз тело депоније (силазна гравитациона дренажа), вода се креће под утицајем капиларних ефеката или као водена пара. Депонија представља вишеслојно тело, настало као последица одлагања отпада у хоризонталним слојевима и прекривањем на крају сваког дана са хоризонталним земљишним слојевима. Ова структура утиче на кретање влаге унутар земљишта. Вода се не креће увек у директном вертикалном правцу, већ може пратити бочне, разуђене капиларне просторе. Слојеви за прекривање отпада формирају приоритетне токове, који могу ограничити време контакта воде са отпадом и на тај начин ограничити и количину екстрахованих загађујућих супстанци. На дну депоније се на тај начин појављује одређена количина процедних загађених вода (глава процедне воде) [32], која потенцијално може угрозити квалитет површинских и подземних вода, уколико допре до њих [47].

Мада се количина процедних вода може предвидети на основу биланса кретања вода, време потребно да процедне воде стигну до дна депоније, је непредвидиво. Наиме, током почетног периода одлагања отпадака садржај влаге у чврстим отпаcima се повећава све док се не достигне максимална могућност упијања. Влага је јако битан фактор за опстанак бактерија. Идеални садржај влаге је онај близак засићењу. Међутим, ово може да буде ограничавајући фактор за биолошку реакцију ако падне испод 55-60%, због чега је потребно повремено квасити депонију у сушним периодима [102]. Промене у количинама падавина и температуре имају за резултат велике флукуације у саставу процедних вода.

4.2. Количине процедне воде у телу депоније

Одређена количина воде у телу депоније јавља се због шупљина које се стварају у отпаду, а када се постигне максимални капацитет упијања, генерисање процедних вода постаје континуално.

Време стицања ове воде до дна депоније, заостаје за временом настанка падавина и то за период који зависи од способности отпадака да задрже влагу у себи [104].

Количина процедних вода се смањује при повећаном површинском отицању воде, интензивнијем испаравању са површине депоније и смањењем влаге у прекривним слојевима земље [109].

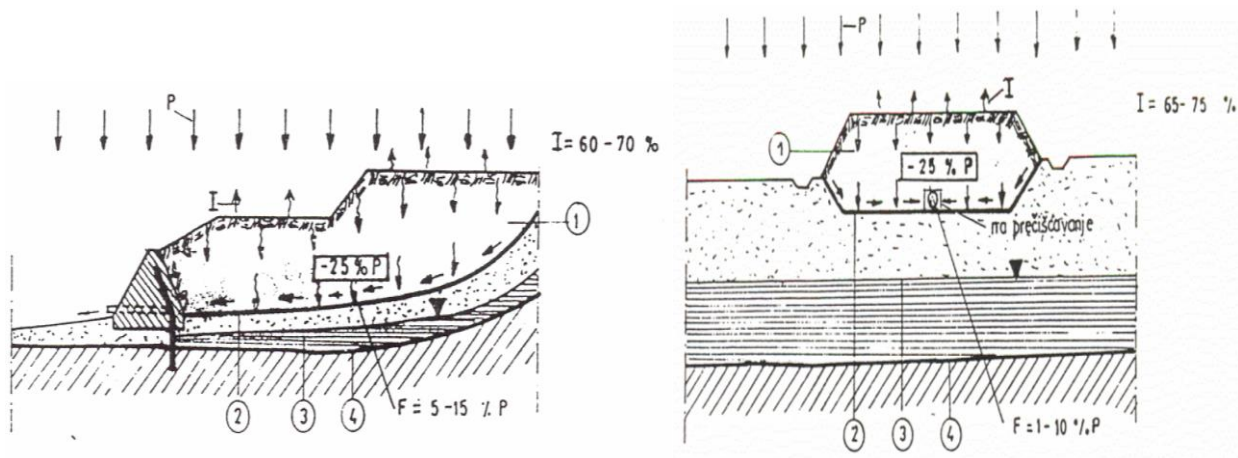
Одређивање количине процедних вода (филтрата), базира се на следећим претпоставкама [106]:

- Извори инфилтрације, односно процеђивања су падавине које доспеју на тело депоније и вода која настаје као производ хемијских и биолошких реакција разградње чврстог отпада;
- Сва површинска дотицања воде са терена који окружује комплекс депоније контролисано се одводе ободним каналима;
- Подземне воде се не могу инфилтрирати у тело депоније ни са бочних страна, ни са дна, тј. подтла;
- Кретања воде кроз тело депоније су усмерена вертикално наниже.

Нагиб терена је битан чинилац код прорачуна количине процедних вода, јер индиректно диктира коефицијент апсорпције па је на слици 4.4 (а и б), графички приказана зависност вредности коефицијента адсорпције од нагиба терена.

а) Код депонија које су под нагибом, 60-70% падавина испарава са површине депонија, око 25% учествује у биотермичким процесима који се дешавају у слоју депонованог отпада на дубини од 0,5-2,0 m. Остатак падавина, тј. 5-15%, као процедура вода пролази до дна депоније, одакле се одводи на пречишћавање.

б) Код равних - хоризонталних депонија са површине испарава нешто већа количина падавина, тј. 65-75%, иста количина од 25% учествује у биотермичким процесима и самим тим мања количина падавина, 1-10% пролази до дна депоније као процедна вода.



Слика 4.4 Зависност вредности коефицијента апсорпције од нагиба терена (а) терен у нагибу, б (раван терен) [102]

Максимална дневна количина процедних депонијских вода може се израчунати према једначини [54]:

$$Q_f = \frac{K(P+Q)}{365} \quad (1)$$

Где је:

Q_f - дневна количина прпцедних вода (m^3 /дан),

K - коефицијент апсорпције влаге и испаравања отпада ; За депоније на равном терену $K= 0.1$, за депоније под нагибом $K= 0.15$,

P - укупна годишња количина атмосферских падавина на површину депонованог отпада (m^3 /год),

Q - укупна годишња количина воде која се распореди по површини депонованог отпада.

Такође, количина процедних вода се може израчунати и према *Дарсијевој* једначини: [110]

$$Q_f = \frac{dH}{dL} \cdot K \quad (2)$$

Где је:

Q_f - количина процедних вода (l/s),

$\frac{dH}{dL}$ - хидраулички градијент, једнак је 0.5,

K - коефицијент пропусности прекривног слоја.

4.3. Састав процедурних депонијских вода

Карактеристике процедурних депонијских вода могу се разликовати у зависности од времена које је прошло од када је отпад одложен, степена сабијености отпада, количине одложеног отпада, хемијског и биолошког састава одложеног отпада, климатских услова на локацији депоније (температура ваздуха и падавине) и положаја депоније [22] [111]. Високе концентрације полутаната у процедурним водама, који потенцијално могу угрозити подземне воде, површинске воде, земљиште и на крају људско здравље, јављају се углавном као последица старења депоније. Претходним истраживањима утврдило се да су у процедурним водама веома често присутни феноли, азот (са својим једињењима), фосфор, цијаниди, сулфати, флуориди као и тешки метали [112], [113], [114], [115], [116].

Феноли у процедурним водама представљају потенцијални еколошки проблем због њиховог негативног утицаја на животну средину. Они могу настати као резултат индустријског процеса, при рафинерији нафте, производњи пластике и хемикалија, или као део органског отпада који се одлаже на депоније. Феноли су токсични за акватичне екосистеме и могу угрозити живи свет, укључујући микроорганизме, рибе и друге водене организме. Чак и у малим концентрацијама, феноли могу утицати на репродуктивне и биохемијске процесе у воденим организмима [115].

Укупни азот у процедурним водама такође може имати негативни утицај на животну средину и акватичне екосистеме. Велики део азота у депонијама потиче од органског отпада [99]. Ово укључује комунални отпад, као што су остаци хране, пољопривредни отпад, фекални отпад и биоразградиви индустријски отпад. Током процеса разградње, азот се често претвара у неорганска једињења и то у јонизованом и нејонизованом облику. Растворени гас амонијак (NH_3) и јони амонијака (NH_4^+) представљају главне облике азота у процедурним водама. Амонијак може бити оксидован у нитрате (NO_3^-) и нитрите (NO_2^-) и то је процес познат као нитрификација [117]. Ови облици азота су такође растворљиви у води и могу бити присутни у процедурним водама. Повећана количина азота у процедурним водама доприноси еутрофикацији водних тела, што води до прекомерног раста водених биљака и алги и смањења кисеоника, чиме штети воденим организмима [113]. Ове промене могу

утицати на хемијску равнотежу у акватичним екосистемима, утичући на биодиверзитет и квалитет воде. Високе концентрације азота такође представљају ризик за људско здравље када контаминирају подземне и површинске воде које се користе за пиће, а посебно су токсичне у облику нитрата [116]

Количина фосфора у процедурним водама често зависи од типа и карактеристика отпада на депонији. Органски отпад, као што су биоразградиви комунални отпад и фекални отпад, садржи приметне количине фосфора. Фосфор се у природи често налази у форми органских и неорганских једињења [117]. Током процеса разградње у депонији, органски облици фосфора могу да се минерализују, односно да се претворе у неорганске облике, што повећава њихову растворљивост и миграцију. Фосфор представља важан нутријент који такође подстиче раст алги и водених биљака у природним водотоцима. Ово може довести до значајних еколошких проблема, укључујући смањење биодиверзитета и смањење квалитета воде. Фосфор, такође, може да се акумулира у седиментима водених тела попут река, језера или потока, што може утицати на дугорочну плодност и хемијску структуру седимента [115].

Сулфати у депонијским процедурним водама настају углавном кроз биолошке и хемијске процесе. Органски отпад на депонијама подлеже биолошкој разградњи, при чему микроорганизми разлажу органске материје, што може укључивати и производњу сулфата [116]. Осим тога, оксидација сулфидних минерала, као што је пирит, који се често налази у отпадним материјалима, такође доводи до ослобађања сулфата. Када сулфати уђу у водне екосистеме, могу имати негативан утицај на животну средину. Високе концентрације сулфата утичу на квалитет воде, што је чини непогодном за пиће и коришћење у пољопривреди. Сулфати такође могу утицати на раст одређених врста алги и микроорганизама, што може довести до дисбаланса у воденим екосистемима. Осим тога, у неким условима, сулфати могу бити претворени у сулфиде, укључујући и веома токсични водоник-сулфид, што може негативно утицати на водене организме и квалитет воде [117].

Флуориди у процедурним водама из депонија најчешће настају из отпадних материјала који садрже флуор, као што су индустријски отпаци, остаци из производње фосфатних ђубрива, стаклена и керамичка индустрија, као и одређени биоразградиви отпад. Током процеса разлагања и хемијских реакција унутар депоније, флуориди могу бити ослобођени и

растворени у процедурним водама. Њихов утицај на животну средину може бити велики, посебно ако се флуориди у великим количинама доспеју у водене екосистеме. Високе концентрације флуорида могу бити штетне за водене организме, утичући на њихов раст и репродукцију [117]. Такође, флуориди могу имати негативан утицај на квалитет пијаће воде и аграрна земљишта.

Цијаниди у процедурним водама најчешће потичу из одређеног индустријског отпада, као што су отпадни материјали из процеса рударства и металургије, посебно у обради злата и сребра, где се цијаниди користе за извлачење метала [118], [119]. Ови отпадни материјали потенцијално садрже високе концентрације цијанидних једињења која, када се налазе у депонији, могу бити ослобођена у околне река, језера и потоке, кроз процедурне воде. Утицај цијанида на животну средину је значајан и потенцијално веома штетан, јер су цијаниди изузетно токсични за водене организме, чак и у врло малим концентрацијама. Они могу узроковати смањење биоразноврсности у воденим екосистемима и представљају ризик за пијаћу воду [120], [114].

Тешки метали представљају опасне загађујуће супстанце које су распрострањене у различитим медијима животне средине [105], [121]. Настају као сировина различитих индустријских грана и то из рудника, из производње и топљења металних руда, сагоревања фосилних горива. Такође, сточарство и пољопривреда значајно доприносе загађивању вода тешким металима тако што се са пољопривредних поља падавинама спирају пестициди, ђубриво и остале штетне материје [117].

Присуство тешких метала у процедурним водама је јако честа и опасна појава. Тешки метали представљају посебну врсту полутаната, пре свега, због тога што се јако дуго задржавају у проценим водама и зато што и минималне концентрације тешких метала могу веома негативно утицати на животну средину [97], [122].

Арсен у процедурним водама депонија потиче из различитих извора, укључујући индустријски отпад, пестициде, конзервансе за дрво и одређене минерале. Током процеса разлагања и хемијских реакција у депонији, арсен се може ослободити и растворити у процедурним водама. Утицај арсена на животну средину може бити негативан, јер је арсен високо токсичан и канцероген за људе и животиње. У акватичним екосистемима, арсен може штетити воденим организмима и нарушити еколошку равнотежу. Арсен у пијаћој

води представља озбиљан здравствени ризик, а дуготрајно излагање може довести до хроничних здравствених проблема, укључујући рак коже, плућа и бешике [30].

Хром у процедурним депонијским водама настаје из различитих извора као што су индустријски отпад (посебно из металуршке и текстилне индустрије), отпад који садржи боје и пигменте, као и одређени видови батерија и електронског отпада [112]. У депонијама, хемијске и биолошке реакције, као и процеси разлагања могу ослободити хром у околину. Хром у процедурним водама негативно утиче на животну средину, посебно у форми хрома (VI), који је токсичан и канцероген [117]. Овај облик хрома загађује водна тела, штетећи воденим организмима и смањујући биодиверзитет.

Гвожђе и манган у процедурним депонијским водама настају као резултат хемијске разградње различитих отпадних материјала који садрже гвожђе, као што су грађевински отпад, стари метални предмети и из разградње отпадних материјала који садрже манган, као што су батерије, стакло, керамика и различити индустријски отпад. Током процеса разлагања у депонији, гвожђе и манган могу бити ослобођени и растворени у процедурним водама. Иако ови метали сами по себи нису високо токсични за животну средину, њихов висок садржај у водама може довести до проблема као што су замућење и промена боје воде, што може негативно утицати на фотосинтезу у воденим екосистемима [30]. Такође, велике количине гвожђа и мангана могу изазвати развијање одређених врста бактерија, што може довести до смањења нивоа кисеоника у води, угрожавајући водене организме.

Олово у процедурним водама настаје углавном из отпада који садржи олово, као што су електронски отпад, батерије, боје, неки видови индустријског отпада или отпад из стрелачких вежбалишта. Када се овај отпад разлаже или када дође до хемијских реакција у оквиру депоније, олово се може растворити и ослободити у процедурним водама. Олово је високо токсичан метал који може имати негативне утицаје на животну средину тако што оштећује водене екосистеме, угрожавајући здравље водених организама и риба, и може контаминирати водотокове, што представља ризик за пијаћу воду и људско здравље. Због своје способности да се акумулира у биолошким системима, олово може изазвати дугорочне еколошке проблеме, укључујући биоакumulацију у храни и трофичним ланцима [115].

Жива представља хемијски елемент који није биоразградив и који се акумулира у води, земљишту и у живим организмима. У процедурним водама настаје из различитих отпадних материјала који садрже живу, укључујући батерије, електричне уређаје, одређене врсте лампи, термометре и неке индустријске отпаде. Може се наћи у елементарном стању, али и у својим једињењима, као једновалентна или двовалентна. Који облик живе ће се наћи у воденој средини дефинише процес адсорпције-десорпције са суспендованим честицама. Жива се везује за суспендоване честице у воденој средини и са њима мигрира или се таложи, али се не разграђује. У случају акцидентних стања и миграције процедурне воде, која садржи живу, у околину може доћи до трајних негативних последица по животну средину и здравље људи [123]. Жива и њена једињења су отровна и имају мутагено дејство, али према претходним истраживањима тровање живом путем воде за пиће се јако ретко дешавају [117].

У табелама 4.2. и 4.3., приказани су подаци о саставу процедурних вода са типичних санитарних депонија (САД, Русија, Европа), као и лабораторијски подаци добијени испитивањем отпада са депоније "Винча". Подаци о саставу процедурних вода са депонија „Винча“ се знатно разликују од података САД, Русије, и Европе, што је највероватније последица чињенице да су подаци са депоније "Винча" добијени у лабораторијским условима, док су сви остали подаци добијени директним испитивањем процедурних вода (филтрата) са постојећих санитарних депонија.

Табела 4.2 Подаци о саставу процедних вода са санитарних депонија у САД и Русији, као и лабораторијски подаци отпадних вода са депоније „Винча“ [102]

Параметар	Типична санитарна депонија у РС ¹		Санитарна депонија (САД) ²	Санитарна депонија (САД) ³	Депонија „Винча“ ⁴		Санитарна депонија (Русија) ⁵
	Границе распона	Типичне вредности			Границе распона	Средња вредност	
БПК ₅ , mg O ₂ /l	2000-30 000	10 000	2000-15 000	400-40 000	25 400-32 000	28 800	7400
Укупан органски угљеник, mg/l	3000-45 000	18 000	1000-10 000	/	/	/	/
ХПК, mg O ₂ /l	1500-20 000	6000	5000-40 000	500-50 000	16 850-59 450	49 060	12 900
Укупна чврста суспензија	200-1000	500	100-400	100-1000	/	/	/
Азот органског порекла mg/l	10-600	200	/	/	/	/	/
Азот-амонијачни, mg/l	10-800	200	/	0-350	/	/	/
Нитрати, mg/l	5-40	25	/	/	0.75-4	2.04	/
Укупан фосфор, mg/l	1-70	30	/	/	/	/	/
Ортофосфор, mg/l	1-50	20	/	/	/	/	/
Алкалитет (CaCO ₃)	1000-10 000	3000	/	/	/	/	/
pH	5-8.5	6	4.8-7.5	5.7-7.6	6.46-6.9	6.7	5.3-9.1
Укупна тврдоћа (CaCO ₃)	300-10 000	3500	1000-10 000	500-10 000	17 100-34 680	26 290	/
Калцијум, mg/l	200-3000	1000	60-25 000	/	2080-9800	6060	/
Магнезијум, mg/l	50-1500	250	100-500	/	2160-2990	2690	/
Калијум, mg/l	200-2000	300	50-1000	/	443-1580	845	/
Натријум, mg/l	200-2000	500	10-4000	/	5050	/	/
Хлориди, mg/l	100-3000	500	100-2400	100-2500	5250-8050	5830	55 000
Сулфати, mg/l	100-1500	300	25-500	/	2000-3000	2350	/
Укупно Fe, mg/l	50-600	300	10-1000	0-500	218-358	296	/

¹ Мр Бранислав С.Танасић, Компаративна анализа савремених поступака за неутрализацију кућног смећа, Водопривреда, 1982.

² Dr Jeffrey M.Zauria, Ashifillis and Leachate, Waste age, November 1986.

³ Phil O'Zeary and Berrin Tansel, Leachate control and treatment, Waste age, May 1986.

⁴ Мр Милија Јовичић, Развој процеса у депонијама комуналног смећа, Саветовање у Београду, децембар 1991.

⁵ V.M.Perelegin i V.V.Raznošćik, Gipčena počvi i sanitarija očištka naseljenih mest, Medicina, Moskva, 1977.

Табела 4.3 Подаци о саставу процедних вода са санитарне депоније и градске канализације за град Bad Hall у Аустрији [102]

Параметар	Канализационе воде	Санитарни чврсти отпади		
		Мин	Средње	Макс.
Мутноћа	/	Незнатна	Средња	Изузетна
Боја	/	/	Зелена	Црна
Мирис	/	Незнатан	Евидентан	Јак
Температура, °C	/	10	15	30
рН	/	3.5	7.5	9
Проводљивост, $\mu\text{S}/\text{cm}$	200-170	2000	10 000	25 000
Чврсти остатак после испаравања, mg/l	/	300	8000	50 000
Чврсти остатак после сагоревања, mg/l	/	800	3000	20 000
БПК ₅ , $\text{mg O}_2/\text{l}$	200-400	100	1500	50 000
ХПК, $\text{mg O}_2/\text{l}$	400-600	500	60 000	/
Кисеоник (O_2), mg/l	/	0	0	10
Хлориди (Cl^-), mg/l	130-200	100	2000	15 000
Сулфати (SO_4^{2-}), mg/l	/	50	300	3000
Нитрати (NO_3^-) mg/l	Трагови	0	3	50
Фосфати (PO_4^{3-}), mg/l	3-5	0.01	1	10
Флуориди (F^-), mg/l	/	/	/	/
Цијаниди (CN^-), mg/l	/	/	/	/
Амонијум јон (NH_4^+), mg/l	40-50	/	/	/
Натријум (Na^+), mg/l	260-320	/	/	/
Калијум (K^+), mg/l	15-20	/	/	/
Калцијум (Ca^{2+}), mg/l	65-95	/	/	/
Магнезијум (Mg^{2+}),	6	/	/	/
Алуминијум (Al^{3+}), mg/l	Трагови	/	/	/
Минерална уља, mg/l	/	0.1	1	3
Хлорисани растварачи, KeOCl_3 , mg/l	/	/	0.1	/
Полициклична ароматична једињења, mg/l	/	0.02	0.1	1
Карбоксилна једињења (сва), mg/l	/	0.001	0.006	1

Процедне воде које настају у телу депоније у току њихове експлоатације би требало да се одведу до места за њихов коначан третман. За евакуацију процедних вода пројектују се дренажни системи који се полажу у више слојева по висини, а за заштиту подземних и површинских вода од негативних утицаја процедних вода пројектују се системи заштитних облога (Engineered Barrier System- EBS), са циљем спречавања продора процедних вода у ниже слојеве земље.

5. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДЕПОНИЈА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

Санитарна депонија комуналног отпада представља простор који је санитарно-технички уређен и на који се одлаже чврсти комунални отпад који нема својства опасних материја, који се не може се прерађивати или користити као индустријска сировина или енергетско гориво, а које настаје на јавним површинама, у домаћинствима, у административним објектима, трговини и предузећима која су нису индустријског карактера [54], [55].

Пројектовање и изградња депонија треба да буде у складу са међународним и националним прописима. У Европској Унији, Директива о депонијама, дефинише циљеве које треба испунити док уједно представља и најбоље доступну технику за пројектовање депонија [124] [125] [126].

У Републици Србији је на снази Уредба о одлагању отпада на депоније, која је донета по угледу на Директиву [67].

Овом Уредбом ближе се прописују услови и критеријуми за одређивање локације, технички и технолошки услови за пројектовање, изградњу и рад депонија отпада, врсте отпада чије је одлагање на депонији забрањено, количине биоразградивог отпада које се могу одложити, критеријуми и процедуре за прихватање или неприхватање, односно одлагање отпада на депонију, начин и процедуре рада и затварања депоније, садржај и начин мониторинга рада депоније, као и накнадног одржавања после затварања депоније.

Планирање и изградња санитарних депонија представља део у процесу интегралног управљања чврстим отпадом који обухвата третирање отпада од настанка, преко минимизације количина, селекције, рециклаже, прикупљања, транспорта и његовог коначног одлагања.

Изградња санитарних депонија чврстог комуналног отпада обухвата више фаза [54]:

- избор локације санитарне депоније,
- формирање услова за њено правилно функционисање,
- израду техничке документације за изградњу депоније која обухвата: припрему подлоге депоније, бране (уколико постоји), систем за сакупљање депонијског гаса,

систем за сакупљање и даљи третман процедурних депонијских вода, систем за сакупљање атмосферских вода и контролу за њихово отицање и

- изградњу депоније.

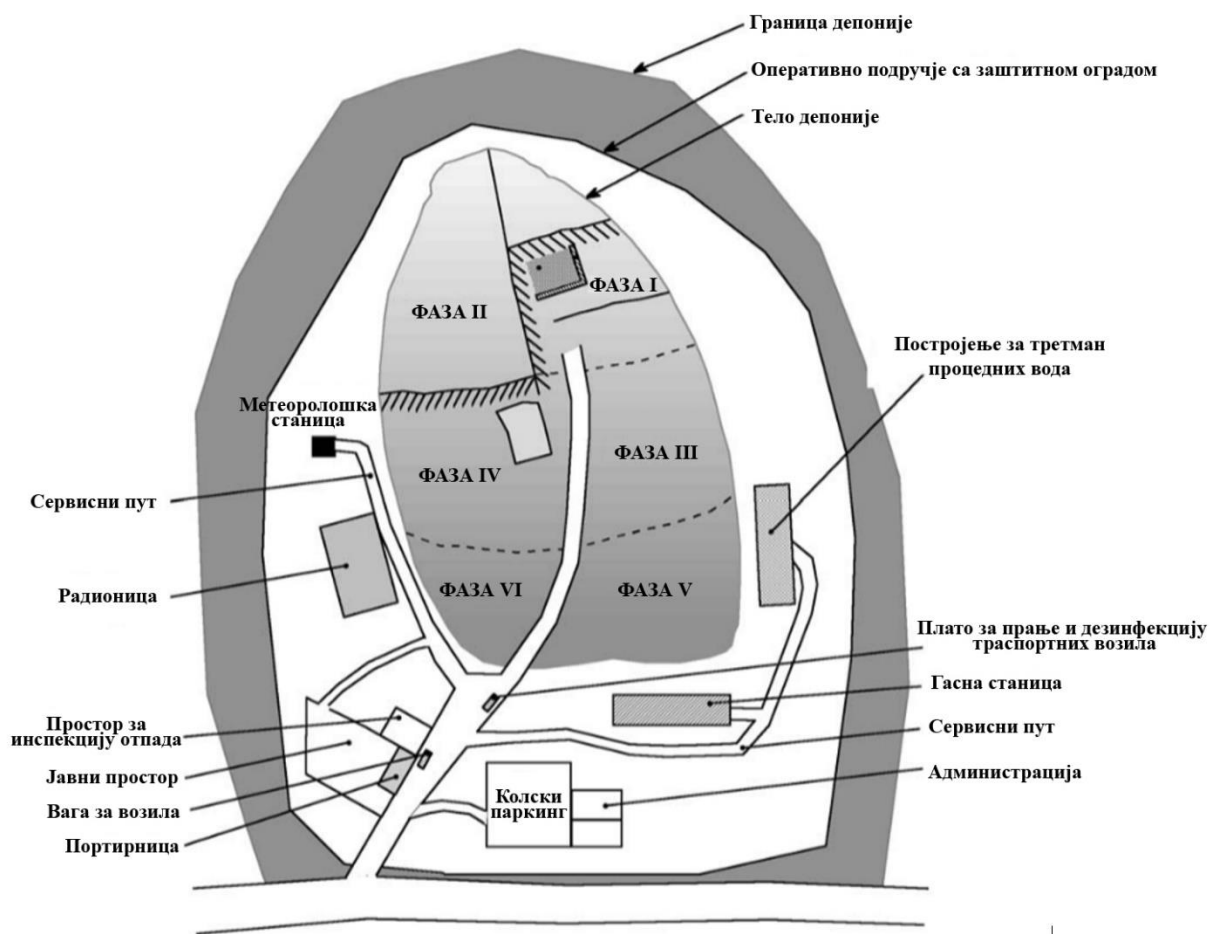
Такође, пројекат депоније дефинише и начин рада депоније, инфраструктуру депоније, начин попуњавања тела депоније, контролу и мониторинг подземних вода и бунара, депонијског гаса и процедурних депонијских вода.

Примарни циљ пројектовања депоније је да се обезбеде ефикасне мере контроле за спречавање или смањење негативних ефеката на животну средину у највећој могућој мери, посебно загађења површинских вода, подземних вода, земљишта и ваздуха, као и од негативних утицаја одлагања отпада по људско здравље [4].

Концепт дизајна депоније зависи од локације депоније, услова терена, геолошких и хидрогеолошких услова локације и потенцијалних утицаја на животну средину.

Ефикасно функционисање депоније уз минималне трошкове омогућава се уз конфигурацију локације депоније са помоћним објектима и прилазним путевима. Техничко технолошке целине које се могу наћи на локацији депоније су следеће [54]:

1. Пријемно отпремна зона,
2. Радна зона,
3. Зона депоновања- простор за одлагање отпада,
4. Сервисни простор.



Слика 5.1 Инфраструктура санитарне депоније [4]

Прва зона може да обухвата колску вагу, портирницу, плато за прање возила, управну зграду, паркинг места, манипулативни простор итд. Пријемно отпремна зона служи за пријем возила која возе отпад. Остатак простора заузимају саобраћајнице. Манипулативни простор у овој зони служи за кретање пуних и празних возила као и простор за њихово паркирање. На улазу у ову зону је колска вага која мери отпад који се отпрема на депонију. У овој зони се такође налази управна зграда где су канцеларије, лабораторије, купатила и сл. Такође, за несметан рад на депонији локација депоније у овој зони има и објекте и инсталацију за расвету, за дојаву пожара и експлозија, водовод и канализацију, ПТТ и интернет мрежу и громобранску инсталацију.

Друга зона може имати рециклажно двориште, транспортни центар, погон за рециклажу отпада, гасну станицу, компостиште, постројење за пречишћавање отпадних вода,

постројење за МБО отпада, итд. У рециклажном дворишту могу се скупљати папир, стакло, кабасти отпад, ПЕТ амбалажа, метали и др.

Трећа зона представља депонијски простор где се одлаже отпад, који је најчешће организован по фазама.

Четврта зона представља сервисни простор око депоније кога може чинити зелени појас, заштитна зона и ограда [127], [128]. Вегетациони појас подиже се са циљем спречавања разношења прашине и лаких фракција отпада са депоније на већа растојања. Појас се поставља око целе депоније у ширини од 15-30 m, због естетско-санитарних и безбедносних услова.

Правилно пројектовање депоније ће спречити, или колико год је то могуће, смањити негативне утицаје на животну средину, као и ризике по здравље људи који настају одлагањем отпада.

5.1. Зона депоновања

Зона депоновања отпада је специфични сектор унутар депонијског простора где се отпад одлаже. Свака депонија може имати различите зоне које су дизајниране за специфичне сврхе и врсте отпада. Основни делови зоне за депоновање отпада су [54]:

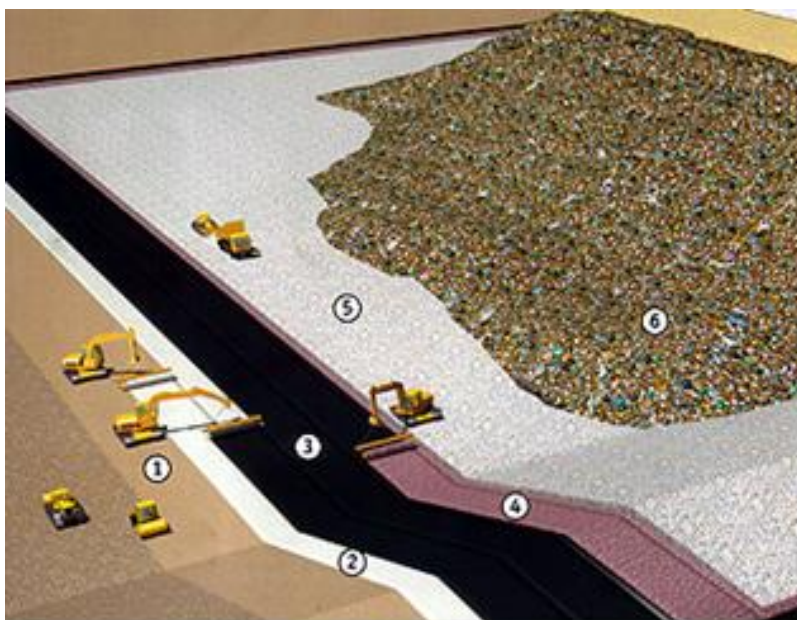
- заштитна непропусна подлога,
- систем за дренажу подземних вода,
- систем за сакупљање депонијског гаса,
- систем за сакупљање атмосферских падавина,
- систем за сакупљање процедурних депонијских вода,
- депонијске бране и
- саобраћајнице унутар зоне.

Свака депонија мора бити пажљиво планирана и пројектована како би одлагање отпада било сигурно и еколошки прихватљиво. Зонирање депонијског простора помаже у организацији и контроли процеса одлагања отпада.

5.1.1. Заштитна непропусна подлога санитарне депоније (Engineered barrier system-EBS)

Формирање дна санитарних депонија укључује пажљиво планирање и изградњу заштитних слојева у дно и косине тела депоније како би се створила чврста, непропусна база која спречава продирање процедних вода и депонијских гасова у земљиште и подземне воде [5], [27], [37], [44], [129]. Пре свега је потребно извршити припрему терена одабиром одговарајуће локације за санитарну депонију, затим се површина терена чисти од вегетације и других препрека како би се створио равни терен за изградњу. Након тога се постављају непропусни слојеви чиме се у потпуности формира дно санитарне депоније [130].

Непропусне подлоге се најчешће постављају следећим редом: минерална подлога, синтетички материјали (бентофикс), геомембране (HDPE фолија), геотекстил и шљунак [54] и приказане су на слици 5.2.



Слика 5.2 Припрема подлоге санитарне депоније [54]

1. Глинена подлога; 2. Бентофикс; 3. HDPE геомембрана; 4. Заштита са Секутекстом; 5. Систем за сакупљање процедних вода; 6 отпад

Минерална подлога – често се састоји од материјала попут глине, песка, шљунка или друге минералне смесе која има добру дренажу и способност спречавања продирања течности кроз земљиште [37], [45], [129], [131]. Минерална подлога такође може помоћи у равнотежи

тла и подржати слојеве изнад ње. Најчешће коришћена минерална подлога на дну тела санитарне депоније је глина пропустљивости $K \leq 10^{-9}$ m/s. Глинена подлога је обично дебљине од 0.50-1m [45], [54]. Овај тип облоге би требало да обезбеди поуздане хидрауличне перформансе које могу ублажити миграцију и смањити концентрацију контаминираних течности у подземну воду. Међутим, хидрауличне перформансе глине зависе од многих фактора, укључујући метод постављања и збијања, минерологију и компатибилност глине/процедне воде. У окружењу депоније, глина је изложена различитим утицајима који би могли нарушити стабилност глине с једне стране, и/или променити њихов физички, минерални и хемијски састав с друге стране. Како се од глине очекује да обезбеди адекватне хидрауличне перформансе, излагање исушивању након изградње може обрнуто утицати на хидрауличне перформансе глинене подлоге. До исушивања може доћи у једном или више од ова три сценарија [45]:

1. након изградње и пре уградње геомембране,
2. након постављања геомембране и пре одлагања отпада, и
3. након одлагања отпада и производње процедурних вода/топлоте.

Поред исушивања, нарушавање квалитета минералне облоге може бити и услед [132]:

- грађевинских недостатака,
- хемијске интеракције,
- слегање пукотина.

За оптималне перформансе, глина се обично хидрира и сабија на 2-4% влажности од свог оптималног садржаја воде. Овакав поступак омогућава разбијање грудвица глине и смањење запремине шупљина што на крају резултира нижом хидрауличком проводљивошћу глине као подлоге санитарне депоније.

Синтетички материјали (Bentofix)- Бентофикс је рупичасти, ојачан композит који комбинује два издржљива спољна слоја геотекстила и једнолико језгро од натријум бентонит глине у праху са високим фактором бубрења. Ова конструкција формира хидрауличну баријеру отпорну на смицање са самозаптивним карактеристикама. Када дође у контакт са водом, бентонит бубри и повећава своју запремину чак 15 пута више од запремине коју има у сувом стању и формира слој гела ниске пропустљивости, чије су

хидрауличке перформансе једнаке или боље од традиционалних збијених глинених облога [133]. Техничке карактеристике синтетичке глине приказане су у табели 5.1.

Табела 5.1 Техничке карактеристике синтетичке глине [134]

Дебљина	7mm
Маса по јединици површине	4,670 g/m ²
Индекс бубрења	24 ml/2g
Губитак флуида	18 ml/2g
Максимална сила истезања	12kN/12m
Издужења при кидању	10/6%
Хидрауличка проводљивост	2x10 ⁻¹¹ m/s

Главни део постављања бентофикса је припрема подлоге и косина, јер је потребно направити одређено преклапање како би се побољшала својства хидроизолационог материјала. Поставља се разастирањем преко глине која је сабијена и углачана и потпуно сува. Уградња бентофикса може бити ручна или уз помоћ машина, са тим што се све корекције на преклопима обављају ручно. Веома је важно преклопе бентонитног слоја урадити квалитетно како не би дошло до продора воде до глине.

Предност бентонитних подлога јесте одсутност недостатака или других проблема који су везани за температурне разлике и еколошку сигурност. Ако је механички оштећен, бентофикс не губи своја својства. Ако је конструкција на коју је причвршћена, механички оштећена, подлога ни тада не губи својства и наставља да буде непропусна за течности. Бентофикс има велики капацитет издуживања и зато показује и дуготрајну способност да се прилагоди деформацијама као што су разна улегнућа тла.

Геомембрана (HDPE) – Геомембране су водонепропусне фолије, хемијски отпорне на утицаје које могу да имају хемијске супстанце у процедним водама [31], [41], [135]. Геомембране су обично израђене од термопластичног полиетилена високе густине (High Density Polyethene- HDPE), полипропилена (PP), хромираних полипропилена (CPE), поливинилхлорида (PVC) и других сличних материјала. Постављају се на тло депоније преко синтетичке подлоге, како би створиле непропусну баријеру између отпада и околине. HDPE фолију одликује веома једноставно постављање и квалитет заварених спојева. Варење се врши специјалном апаратуром и обично се прави вар ширине 5 cm и приказано је на слици 5.3.



Слика 5.3 Варење и постављање HDPE фолије

<https://www.srem-macva.rs/galerija/izgradnja-deponije/>

Мембране се производе углавном у дебљинама од 0.5-3 mm, а најчешће се на дно депоније постављају у дебљини од 2- 2.5 mm. На слици 5.4 је приказано постављање геосинтетичке глинене облоге (а) , HDPE мембране структуриране 1,5 и 2,5 mm (б) и тродимензионалног дренажног композита (в) на депонији Црквиште у Хрватској.



а

б

в

Слика 5.4 Постављање подлога на дну депоније [136]

Геомембране могу бити глатке и храпаве (једнострано и двострано). Глатке мембране се постављају на теренима где нема великог трења између подлоге и мембране, док се храпаве постављају тамо где је трење повећано. За заштиту геомембране од механичког оштећења предметима који се могу наћи у земљи, користи се неткани и композитни геотекстил (Depotex и Secutex). У табели 5.2. приказане су најчешће техничке карактеристике HDPE геомембранске фолије.

Табела 5.2 Техничке карактеристике HDPE геомембранске фолије [134]

Дебљина	2 mm
Густина	0.945 g/cm ²
Апсорпција воде	<0.1 %
Чврстоћа по издужењу	5%>1100 N/50 mm
Савитљивост на ниским температурама	t<20 °C
Граница развлачења	16N/mm ²
Издужење по кидању	800%
Затезна чврстоћа	30N/mm ²

У дуготрајним условима, и поред заштите, HDPE фолија наилази на различите врсте деградације у зависности од окружења. Ово резултира смањеном отпорношћу на трајна затезна напрезања. Према томе, деградирани доњи слој мембране може да пропадне под затезним напонима мањим од његове краткорочне механичке чврстоће услед „пуцања под напрезањем“. Abdelaal et al. су доказали да стара геомембрана може развити крхке руптуре када је подвргнута притисцима превеликог оптерећења [40].

Иако се сматрају непропусним, геомембране могу попустити првенствено због оштећења током транспорта и уградње, дефектног изгледа листова који формирају ћелијску облогу и оштећења мембране приликом постављања дренажног/заштитног слоја изнад мембране [137], [138], [139].

Генерално, оштећења HDPE мембране могу настати услед [132]:

- неправилног руковања,
- дефеката шавова,
- деформације због напрезања,
- пуцања због напрезања,
- хемијских утицаја,
- оштрих предмета,
- оштећења од глодара,
- вандализам.

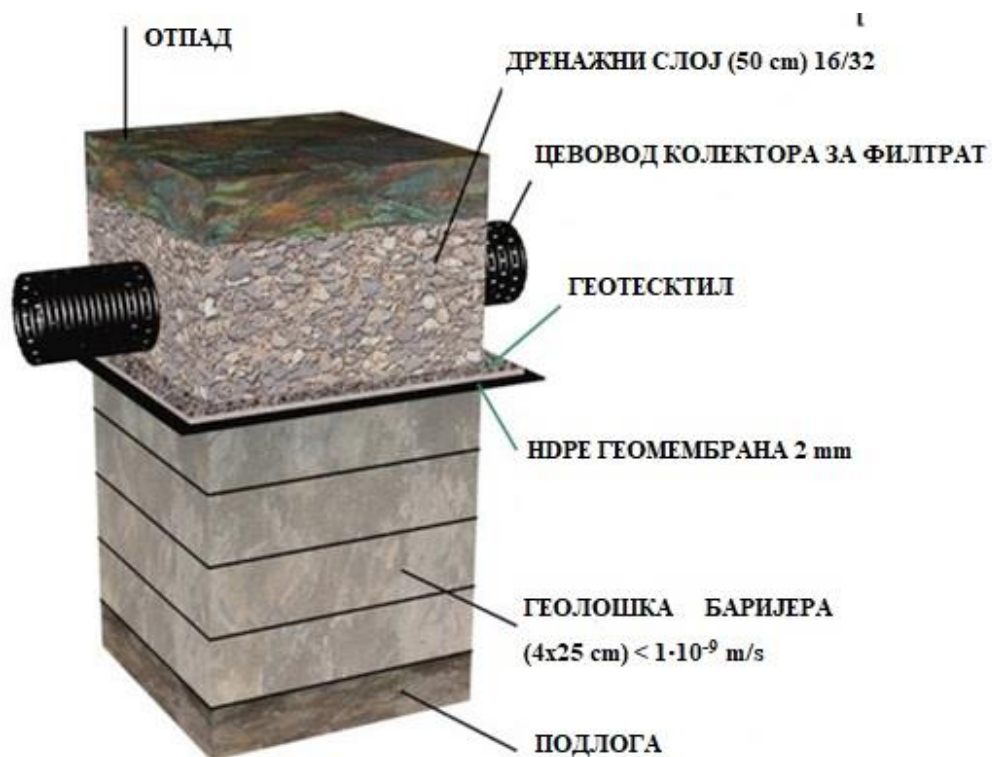
Бројна литература указује на истраживања века трајања геомембране и утврђено је да трају просечно између 150-300 година [30], [31], [41], [140].

Геотекстил- синтетички геотекстил се поставља након слоја ХДПЕ мембране са циљем њене заштите али и заштите свих подлога које су претходно постављене. Техничке карактеристике геотекстила приказане су у табели 5.3.

Табела 5.3 Техничке карактеристике синтетичког геотекстила [134]

Грамажа	1200 g/cm ²
Дебљина	7.5 mm
Отпорност на лонгитудинално истезање	21.5 kN/m
Отпорност на трансферзално истезање	40 kN/m
Дозвољено лонгитудинално издужење	130%
Дозвољено трансферзално издужење	95%
Отпорност на пробијање	CDR 5 500 N

Синтетички геотекстил се поставља уз помоћ машина или ручно. Након постављана врши се завршна контрола преклопа или евентуалних оштећења, након чега се геотекстил посипа шљунком. Шљунак се поставља као филтрирајући слој за процедурне депонијске воде и штити дренажне цеви и водонепропусну подлогу од механизације. Најчешће се поставља шљунак гранулације 16/32 mm дебљине од 30-50 cm. На слици 5.5 је приказан пресек кроз тело депоније.



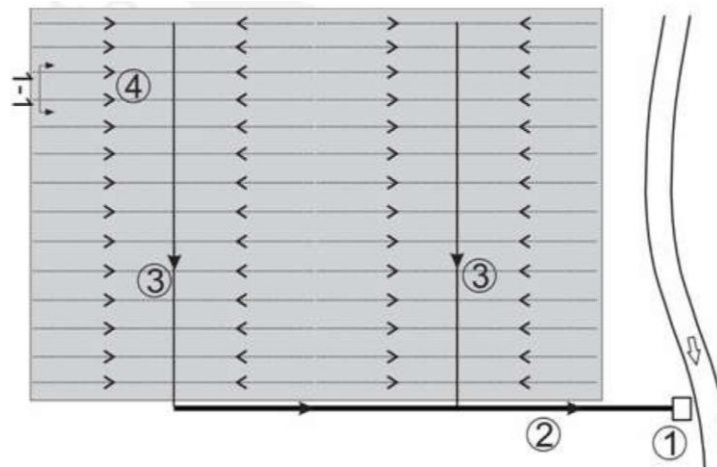
Слика 5.5 Пресек кроз тело депоније [141]

Шљунак мора бити биолошки, физички и хемијски постојан. По средини сваке секције уграђује се дренажна перфорирана цев, по дужини и под нагибом већим од 1%, са циљем сакупљања и одвођења депонијске процедне воде. Цеви које се најчешће користе у ове сврхе су перфориране HDPE цеви, пречника 250 mm.

5.1.2. Систем за дренажу подземних вода

На основу хидрогеолошких истраживања може се утврдити да ли у зони депоновања постоје подземне воде и да ли постоји потреба за њиховом дренажом односно одводњавањем.

Основни елементи система за дренажу подземних вода су приказане су на слици 5.6.



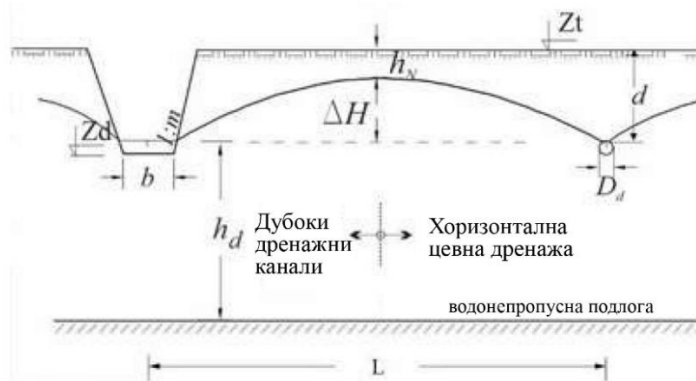
Слика 5.6 Основни елементи система за дренажу подземних вода

(1. Излив ; 2. Главни канал за дренажу; 3. Дренажни колектори- служе за сакупљање воде из сабирно регулационе мреже; 4. Сабирно регулациона мрежа обухвата дренажне цеви или дубоке канале за дренажу воде) [142]

Излив представља гравитациону или црпну станицу која је ниског потиска у зависности од тога колики је ниво воде у водопријемнику. Главни дренажни канал се поставља на најнижим котама система за дренажу подземних вода и у њега се уливају канали за дренажу вишег реда који сакупљају воду из колектора за дренажу. Задатак дренажних колектора јесте да сакупљају воду из сабирно регулационе мреже. Сабирно регулациона мрежа обухвата сабирнике највишег реда, цеви за дренажу или дубоке канале за дренажу у које се сакупља вода.

Елементи сабирно регулационе дренажне мреже су [142]:

- хоризонтални системи дренаже и
- дубоки канали за дренажу.



Слика 5.7 Попречни пресек система за дренажу подземних вода

d - висина подземне воде изнад дрена, D - пречник дрена; L - растојање између дрена, h_d - растојање дрена до водонепропусне подлоге, ΔH - висина депресије, h_s висина снижавања нивоа подземних вода, [142]

Хоризонтална дренажа подземних вода поставља се у ископане ровове и може бити отвореног или затвореног типа. Најчешће се поставља отворени тип дренаже који има ограничену дубину полагања од 5-8 m [54].

Сакупљање подземних вода врши се уз помоћ дренажних цеви. Дренажне цеви се израђују од керамике, бетона, армираног бетона, азбестцемента и полиетилена. Који ће материјал дренажних цеви бити зависи од средине у коју се цеви полажу, услова терена, дубине полагања итд. На слици 5.8 приказано је постављање дренажних цеви на депонији.



Слика 5.8 Постављање цеви за дренажу подземних вода на депонији

<http://www.srem-macva.rs/galerija/izgradnja-deponije/izgradnja-deponije-drenaza-podzemnih-voda>

Насип око дренажних цеви углавном се користи два слоја филтрационог материјала и то за спољашњи слој се користи природни песак, а за унутрашњи слој се користи најчешће шљунак али се користе и песак или туцаник.

5.1.3. Систем за сакупљање и каналисање атмосферских падавина

Атмосферске воде, које површинским отицајем потенцијално могу да дођу на депонију, утичу на стабилност депоније и повећају количину процедне воде која се ствара у телу депоније [54]. Спречавање продора воде са околног терена у тело депоније постиже се изградњом система за сакупљање и евакуацију вода по ободу зоне депоновања. Атмосферске воде са депоније, саобраћајница и платоа се одводе путем ободних канала који се постављају изнад и око тела депоније и тако чине систем атмосферске канализације.



Слика 5.9 Ободни канали на депонији [54]

На санитарној депонији може постојати више траса ободних канала који одводе атмосферске воде са тела депоније. Трасе ободних канала за сакупљање и каналисање атмосферских падавина могу бити праволинијске или благо закривљене како не би долазило до таложења наноса на већим кривинама и до изливања воде из канала [57].

Воде са сливних површина се могу сакупљати преко уличних сливника. За мрежу каналисања користе се тврде канализационе цеви које се полажу у рову у слоју песка

најчешће дебљине 10 cm. Око и изнад цеви се такође уграђује песак. Мрежа са каналисање атмосферских вода поставља се у одговарајућем паду према изливу [102].

Планирање величине канала врши се на основу података о дневним количинама падавина добијених од Републичког Хидрометеоролошког завода Србије и на тај начин се омогућава пропуст свих количина вода која доспе у канале.

5.1.4. Систем за сакупљање депонијског гаса

Депонијски гасови могу настати због различитих физичких, биолошких, хемијских и других реакција, које су резултат разградње органског отпада у аеробним и анаеробним условима. Неколико фактора утиче на количину и састав гасова на депонији, од којих највише [57]:

- тип и старост отпада затрпаног на депонији,
- количина и врста органских једињења у отпаду,
- рад депоније и
- садржај влаге и температуре отпада, који зависе од локалне климе.

Након што се отпад депонује и сабије, ваздух у шупљинама тела депоније полако нестаје јер почиње да се производи депонијски гас. Након ове почетне фазе, почиње константна производња депонијског гаса у периоду од отприлике 20 година. Како се већи органске материје распада, тако се и производња депонијског гаса постепено се смањује. Уколико се отпад добро компактује и ако је тело депоније прилично велико (2-5 m и више), анаеробни услови ће се веома створити јако брзо. Уколико отпад није добро компактован и ако је тело депоније 5 m или мање, већина органске материје из отпада ће се распасти у аеробним условима. У таквом случају, производ распадања су H_2O и CO_2 и депонијски гас уопште неће настати или ће га бити у минималној количини [57].

Највећи део депонијских гасова чине метан (CH_4) и угљен-диоксид (CO_2), али се у њима могу наћи и једињења сумпора, азота и др. Депонијски гасови доводе до стварања непријатних мириса, ослобађања одређене количине топлоте, слегања тла депоније и сличних нежељених последица. Стварање депонијског гаса у телу депоније узрокује:

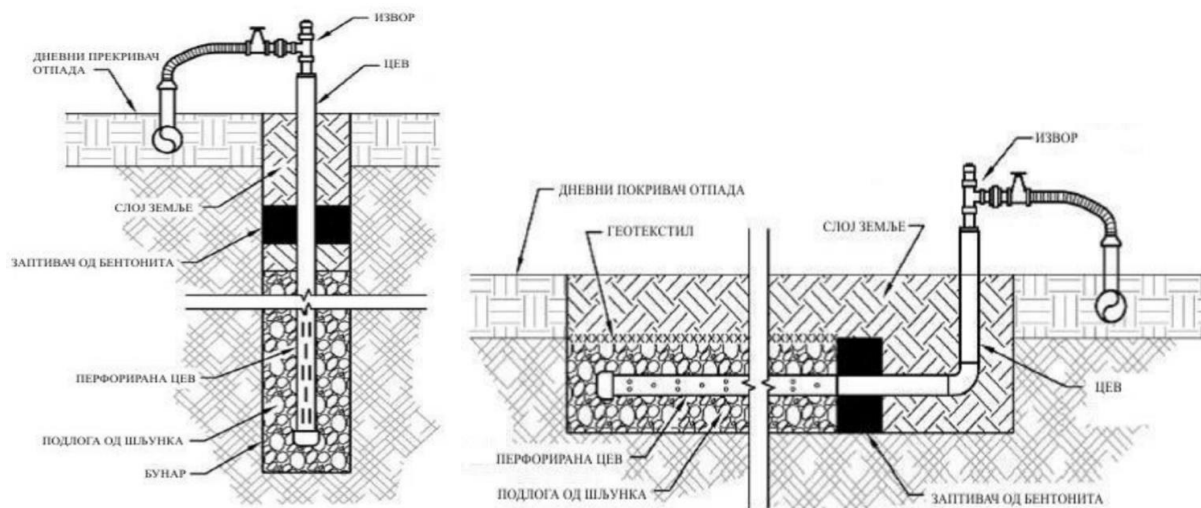
- испаравање,
- микробиолошка разградња и
- хемијске реакције између различитих компоненти отпада.

Из тог разлога, јако је важно правилно пројектовати систем за сакупљање и третман депонијских гасова.

Савремене санитарне депоније пројектују систем за дегазацију са следећим елементима [143]:

- мрежа хоризонталних цеви за спровођење депонијског гаса до постројења за третман,
- опрема за повезивање биотрнова на хоризонтални цевовод,
- шахт за издвајање кондензата,
- јединица за спаљивање депонијског гаса,
- когенеративно постројење.

На слици 5.10 приказан је део активног система за прикупљање депонијског гаса.



Слика 5.10 Део активног система за прикупљање депонијског гаса [57]

5.1.5. Систем за сакупљање процедних вода са депонија

Процедна депонијска вода представља течност која се филтрира кроз слојеве депонованог чврстог отпада и са собом сакупља издвојене, растворене и суспендоване честице [32]. За правилно пројектовање система за сакупљање процедних вода потребно је утврдити биланс вода депоније. У водни биланс депоније комуналног отпада улазе [144]:

- падавине,
- површински отицај,
- влага чврстог отпада и покривних материјала,

- испаравање са површине,
- транспирација кроз покривну вегетацију и
- отицање процедних вода са депоније.

Процедна вода која вертикално мигрира кроз медијум, у горњим слојевима депоније одговара падавинама које се инфилтрирају кроз покривне слојеве. У нижим слојевима депоније, процедна вода која мигрира вертикално представља воду која је природно присутна у одложеном отпаду, као и вода која је апсорбована из атмосфере или од падавина. Тако биланс воде на депонијама представља количину воде која улази на депонију, умањену за воду утрошену у хемијским реакцијама и на испаравање. На основу тога, биланс вода на депонији може се израчунати применом следеће једначине [54]:

$$W + IF = Q_o + ET + S \quad (5.1)$$

Или једначина:

$$\Sigma Q_o = W + \Sigma P - \Sigma R_o - \Sigma ET - S \quad (5.2)$$

Где је: W- почетни садржај влаге унутар отпада,
 IF- инфилтрација,
 Q_o- отицање процедних вода из депоније,
 ET- испаравање (евапотранспирација),
 S- маса воде коју апсорбује отпад,
 P- количина падавина,
 R_o- површински отицај.

Процедне воде које су настале од атмосферских падавина и воде везане у одложеном отпаду прихватају се системом за евакуацију [145]:

- дренажним слојем шљунка и
- хоризонталном цевном дренажом.

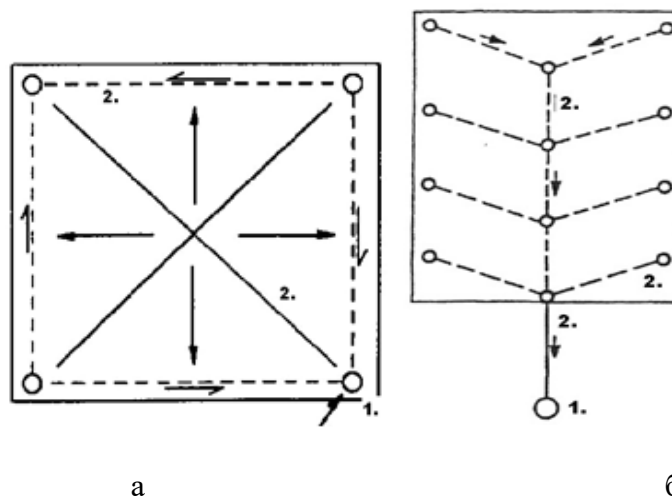
Хоризонтални систем за сакупљање и транспорт процедурне депонијске воде поставља се у најнижем делу дна санитарне депоније. У оквиру санитарне депоније може бити пројектовано више дренажних поља за прикупљање процедних вода. У средини сваког поља поставља се колекторска HDPE дренажна цев одговарајуће дужине и пречника.

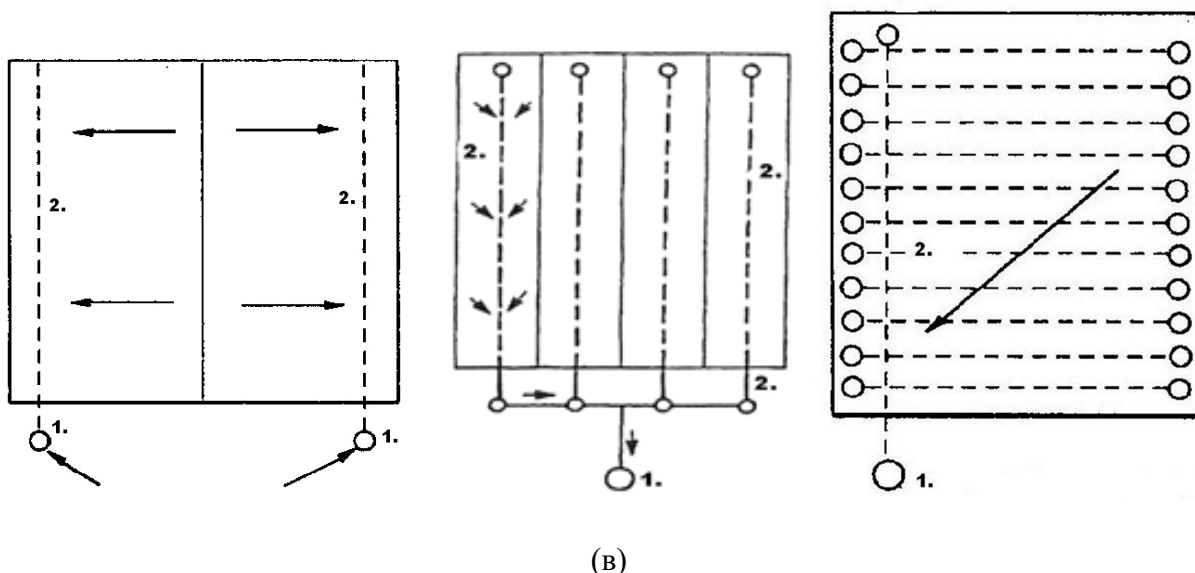


Слика 5.11 Изглед дренажних цеви за сакупљање процедних вода [54]

Дренажне цеви су обично перфориране по 2/3 од свог обима. Дренажне цеви се могу поставити разгранато, паралелно и лепезасто што је приказано на слици 5.12.

Дренажни колектор се поставља под одређеним падом обично око 5%, а попречни падови дна депоније гравитирају ка колектору износе минимално 3,0‰ [145]. Дужине дренажних колектора и тип система за сакупљање процедних вода у оквиру санитарне депоније су унапред одређене, зависно од положаја унутар тела депоније.





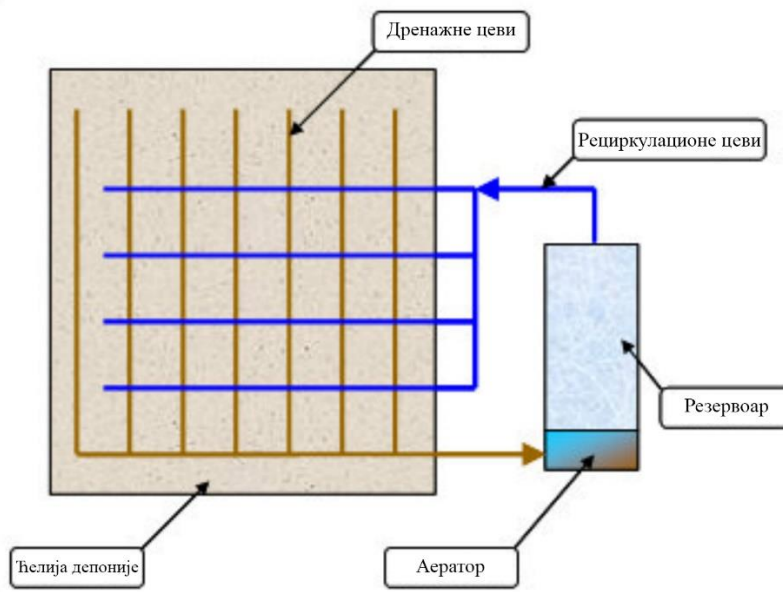
Слика 5.12 Изглед система дренажних цеви за сакупљање и транспорт процедурне воде до колектора; Разгранати тип (а), леззастии тип (б); паралелни тип (в)

1. шахт где се вода сакупља и касније одводи до места за третман, 2. сабирне перфориране цеви [54]

Код леззастог типа дренажних цеви граде се ревизиони отвори на растојању од 50 m. Ако се цеви постављају у више слојева, онда се подлога сваког прекривног слоја припрема на исти начин као и за цеви које су најниже постављене цеви за дренажу процедурних вода.

Ревизиони шахтови за процедурне воде су HDPE конструкције, унутрашњи пречник ревизионог шахта и дебљина зида одређује се на основу оптерећења које треба да поднесе. Шахтови се израђују са свим потребним прикључцима за ценоводе и осталим елементима за примену код процедурних вода. Могућа је и варијанта са армиранобетонским шахтовима.

Процедна вода, сакупљена дренажним системом и доведена до ревизионих шахтова за процедурне воде, посебним главним колектором за процедурне воде се транспортује до постројења за третман процедурних вода, односно до лагуна за процедурне воде. Уколико је главни колектор на неприступачном месту или је близу границе комплекса депоније, па тиме постоји немогућност изградње лагуна, тада се процедурна вода препумпава одговарајућом пумпом и потисним ценоводом до пумпне станице одакле се процедурна вода води до места где је лагуна изграђена. На слици 5.13 приказан је принцип третмана процедурних вода.



Слика 5.13 Систем третмана процедних вода [146]

Лагуне представљају биолошке базене у којима се врши процес аерације и мешања процедне депонијске воде. Уз помоћ аерације надокнађује се кисеоник који је потребан, а уз помоћ мешања се добија бољи контакт хранљивих материја са микорорганизмима, а производи који су настали се разграђују брже. Најчешће се до лагуне поставља и таложник где настаје процес бистрења доведене воде и долази до издвајања активног муља на самом дну таложника. Када се целокупан процес заврши, цевима за рецикулацију, могуће је воду вратити на тело депоније.

Рецикулацијом процедне воде постиже се повећање испаравања процедне воде и тиме се смањује њена запремина. Такође, враћањем прочишћене воде на тело депоније се унапређује процес разграђивања одложеног отпада. Уколико се процес рецикулације примењује на депонији потребно је да се константно мере падавине и температура на локацији депоније, да се води евиденција о дневним и недељним временским условима, да се врши контрола мириса. Такође потребно је и придржавати се правила да се рецикулација не врши док су у току падавине или је отпад сувише влажан, као и док висина отпада не пређе 2,5 m. Предности рецикулације процедне воде су бројне [54]: повећање влажности депоније, смањење запремине процедне воде која се третира, већа продукција биогаса, уједначавање колебања у биолошким и хемијским концентрацијама процедних вода, итд. Недостаци рецикулације процедних вода су: потенцијално процеђивање вода

кроз странице депоније, гомилање метала, соли и других нежељених састојака у процедурним водама, повећање количине процедурне воде уколико је количина падавина већа од испаравања.

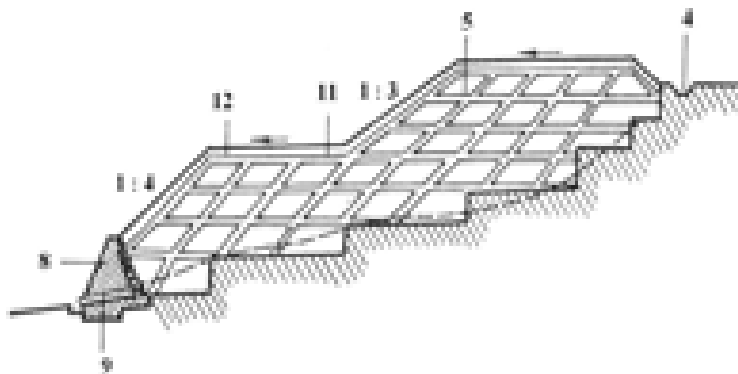
Испитивање концентрација различитих елемената у процедурним водама са депоније врше се у акредитованим лабораторијама. Лабораторије се могу налазити на самој локацији депоније или на неком другом месту где се допремају узорци процедурних вода [54].

Испитивање процедурних вода потребно је вршити редовно после сваке падавине. Када се узимају узорци пре свега се региструје температура процедурне вода, њен проток и температура ваздуха при узимању узорка. У лабораторијама опремљеним за испитивање процедурних депонијских вода анализирају се следећи елементи: рН, ВРК₅, НРК, суспендоване материје, феноли, хлориди, цијаниди, фосфати, сулфати, калијум, калцијум, гвожђе, манган, натријум, азот, жива, арсен, никл, хром, олово, нитрати, нитрити, итд.

Правном регулативом Републике Србије установљене су максималне дозвољене концентрације ових параметара у подземним, површинским, отпадним водама и у пијаћим водама и на тај начин се установљава да ли неке супстанце прелазе дозвољене вредности након чега се и предлажу наредни кораци како би се животна средина заштитила од потенцијалних полутаната [70], [72].

5.1.6. Бране на санитарним депонијама

У случајевима када је локација санитарне депоније у нагибу, пројектују се бране како би се сакупили процедурне воде са тела депоније по процедури и како би се осигурала стабилност масе одложеног отпада. Уколико је депонија већих димензија и у нагибу је може се пројектовати више брана са мањом висином између 4 m и 5 m или ако се пројектује једна брана у подножју депоније њена висина би требало бити максимално 30 m. На слици 5.14 приказана је брана на депонији која је у нагибу.



Слика 5.14 Брана на депонији која је у нагибу (4. заштитни канали за кишу, 5. тело депоније, 8. брана, 9. одвод дренажних вода, 11. дневни прекривни слој материјала, 12. завршни прекривни слој) [54]

Бране се обично граде од земље и пожељно је користити локални материјал који се налази у близини депоније. Како би се спречила филтрација процедних вода са тела депоније испод тела бране, језгро бране се укопава минимално 0.5 m у водонепропусни слој [54].

5.2. Депоновање отпада на санитарним депонијама

Одлагање отпада на санитарним депонијама може бити различито у зависности од тога каква су геоморфолошка и хидрогеолошка својства терена, каква је геолошка грађа терена и какве су геодинамичке појаве на терену. Према томе, депоновање отпада може бити:

- површинско,
- кањонско,
- рововско.

Површинско одлагање отпада врши се када је локација депоније таква да због високог нивоа подземних вода, ископавање ровова није погодно

Рововски начин одлагања отпада се примењује када ниво подземних вода на локацији дозвољава ископавање ровова. Дубина ископаног рова зависи од услова терена али је обично око 2,5 m, док је ширина ровова углавном од 7 m до 15 m [54].

Кањонски тип депоновања се примењује на локацијама где постоје веће косине депоније или странице депоније, па тиме депоновање може бити и комбиновано. Падови косина приликом депоновања отпада би требало максимално да имају вредност 1:4, а минимално 1:2.

Одлагање отпада се најчешће планира за годину дана, али се ради и месечни и недељни план одлагања отпада и одлагање отпада се реализује у неколико фаза. Површине за одлагање отпада су код мањих депонија од 10 m до 15 m, док код већих депонија ширина може бити и до 50 m.

6. МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА ПАРАМЕТАРА МИГРАЦИЈЕ ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА

Прорачуни миграције процедних вода на депонијама представљају важан аспект у области управљања отпадом и заштити животне средине. Методе прорачуна помажу у процени утицаја депонијских процедних вода на квалитет подземних вода, површинских вода и животну средину уопште [17], [21], [56], [112], [147] [148], [149].

Методе за прорачун миграције процедних вода могу бити [36]:

1. Хидрогеолошко моделирање

- *Модели биланса воде* који се користе за процену количине воде која улази, складишти се и напушта депонију. Овакви типови модела узимају у обзир падавине, евапорацију, инфилтрацију и површинско отицање.
- *Модели миграције процедних вода* који се користе за симулацију кретања процедних вода кроз депонију и околну средину. Ови модели укључују дифузију, адвекцију и дисперзију контаминаната.

2. Геохемијско моделирање

- *Анализа састава процедних вода* – врши се процена квалитета процедних вода у погледу рН вредности, концентрације контаминаната и других релевантних параметара.
- *Моделирање интеракције процедних вода са земљиштем* - процедне воде могу реаговати са земљиштем и стенама, укључујући адсорпцију и катјонску размену.

3. Механичко моделирање

- *Моделирање физичких карактеристика депоније* које укључује анализу структуре депоније, као што су баријерни слојеви и системи за сакупљање процедних вода, и њихов утицај на миграцију вода.
- *Симулација пропуштања и прекида рада заштитних баријера* – врше се прорачуни за сценарије где долази до оштећења или неисправности у заштитним слојевима дна депоније који могу узроковати неконтролисано пропуштање процедних вода.

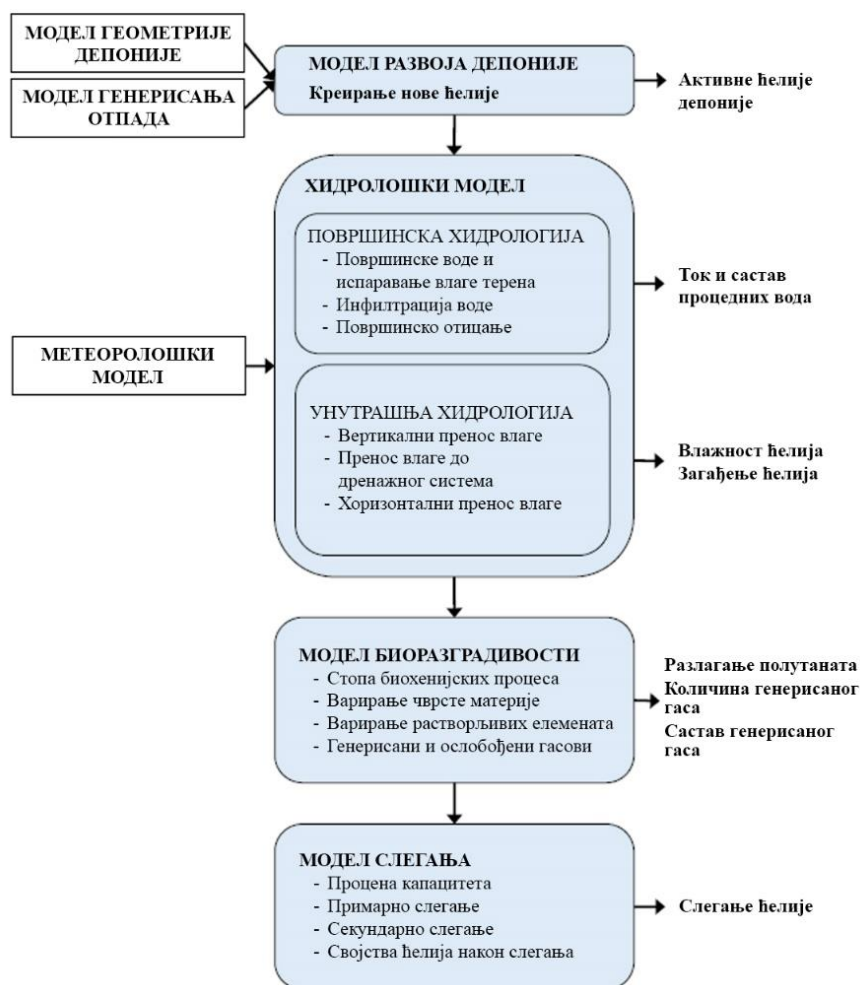
4. **Специјализовани софтверски пакети** – MODUELO, HELP, MODFLOW, HYDRUS, LandSim и др. - софтвери се користе за комплексно моделирање хидрогеолошких и геохемијских процеса који могу настати на депонијама.

Уз помоћ различитих софтверских алата ствара се детаљнији увид о томе како процедурне воде могу утицати на животну средину и како најбоље управљати ризицима који процедурне воде могу донети. Примена ових метода омогућава експертима у области управљања отпадом да развију ефикасне стратегије за минимизирање негативних утицаја депонијских процедурних вода на животну средину [53].

6.1. Метода прорачуна миграције процедурних вода софтвером MODUELO 4.0

MODUELO 4.0 је програм развијен на основу прегледа постојећих модела, прилагођавајући их тродимензионалном приказу депоније састављеном од слојева сачињених од ћелија квадратног хоризонталног пресека. MODUELO 4.0 процењује дневне податке о количини влаге у различитим деловима депоније, запремини и саставу процедурних вода, токовима воде кроз околину, количини и саставу гаса који се ствара у телу депоније [150].

На слици 6.1 приказан је дијаграм општег алгоритма софтвера. Корисник уноси податке о морфологији депоније, облику рада, локалним метеоролошким условима и карактеристикама депонованог отпада. Са овим информацијама, програм симулира раст и рад депоније током времена, хидролошке појаве на површини и унутар отпада, његову биоразградњу и његово слегање сабијањем и деградацијом. Као резултат, еволуција депоније се може анализирати током њеног животног века.



Слика 6.1 Шема општег алгоритма прорачуна софтвера MODUELO 4.0 [150]

Узимајући у обзир параметре о депонији и метеоролошке податке, врши се површинска хидролошка равнотежа и симулира се хидролошки ток унутар депоније како би се израчунала влажност отпада у свакој ћелији и проток процедне воде која се ствара на дневном нивоу.

Инфилтрација

За израчунавање инфилтрације у телу депоније, која обухвата падавине и отицање, користи се Хортонова формула [151]:

$$f = f_c + (f_o - f_c) * e^{-k*t} \quad (6.1)$$

Где је:

f - капацитет инфилтрације тла (mm/h),
 t - време протекло од почетка падавина (h),
 f_c - минимални капацитет инфилтрације тла, достигнут након одређеног времена (mm/h),
 f_0 - максимални иницијални капацитет инфилтрације тла, који се јавља када почну падавине (mm/h),
 e - порозност ћелије (запремина вакуума / укупна запремина).

Проток процедурне воде, екстраховане по јединици времена из сваке ћелије, процењује се на основу висине слободне површине ћелије и израчунава се формулом [151]:

$$Q = \pi \cdot K_H \frac{h_0^2 - h_p^2}{\ln(r_0/r_p)} \quad (6.2)$$

где је:

Q - проток процедурне воде (m³/s)
 h_0 - висина слободне површине ћелије на удаљености од резервоара (m)
 h_p - висина нивоа воде у резервоару (m)
 r_p - полупречник резервоара (m)
 K_H - засићена хоризонтална пермеабилност отпада (m/s)
 r_0 - радијус утицаја, узет као полупречник резервоара чија се површина поклапа са хоризонталном површином ћелије (m)

Проток процедурне воде једнак је висини воде акумулиране на непропусном дну депоније.

Запремина процедурне воде која се налази на дну депоније може се израчунати [151]:

$$Vol = \pi \cdot K_H \cdot r_p \frac{(1,25 \cdot H_{libre})^2}{\ln(r_0)} \Delta t \quad (6.3)$$

где је:

Vol - запремина процедурне воде на дну депоније (m³),
 H_{libre} - висина воде акумулиране на дну ћелије (m),
 Δt - временски интервал прорачуна.

Ови подаци служе као полазна тачка за прорачуне биоразградње, што резултира полутантнима које носи процедурна вода и генерисани биогас. Слегања се тада израчунава на основу преоптерећења и губитака масе. Коначно, успоставља се равнотежа управљања

процедним водама, у складу са стратегијом складиштења или рецикулације процедурних вода [151].

Софтверски пакет нема могућности процене утицаја различитих типова заштитних облога на количину и миграцију депонијских процедурних вода кроз засићену и незасићену зону.

6.2. Метода прорачуна миграције процедурне воде софтвером HELP

HELP (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance) је квази-двостепенски хидролошки модел за анализу миграције воде на депонијама. Модел прихвата податке о климатологији, карактеристикама земљишта и критеријумима пројектовања депоније [152]. Узима у обзир ефекте као што су површинско складиштење, отапање снега, површинско отицање, инфилтрација, евапотранспирација, раст биљака, складиштење влаге у земљишту, подземна бочна дренажа, рецикулација процедурних вода, вертикална дренажа у незасићеном току и цурење кроз земљу или гео-мембране [153]. Програм омогућава анализу водних биланса и процену отицања, евапотранспирације, дренаже, сакупљања процедурних вода и цурења по ободу у раду широког спектра депонија [151].

Инфилтрација воде са површине депоније може се израчунати следећом једначином [25]

$$I = P - E - R_{off} \quad (6.4)$$

где је:

I- количина воде која улази у тело депоније (m^3),

P- падавине (m^3),

E - испаравање (m^3),

R_{off} - површинско отицање са (m^3).

Количина процедурне воде - претпоставља се да се кретање процедурних вода депоније дешава само у засићеним условима, када инфилтрирана вода и садржај воде у отпаду премашују капацитет тела депоније, као што је представљеном следећом једначином [25]:

$$L = I + W_m - FC \quad (6.5)$$

где је:

L- Количина процедурних вода (m^3),

W_m - садржај влаге у отпад ,

FC- капацитет тела депоније.

Биланс воде на депонији се може израчунати једначином [144]:

$$L = P - ETa - R - D \pm \Delta S \quad (6.6)$$

где је:

L - брзина процедне воде (m³),

P – падавине (m³),

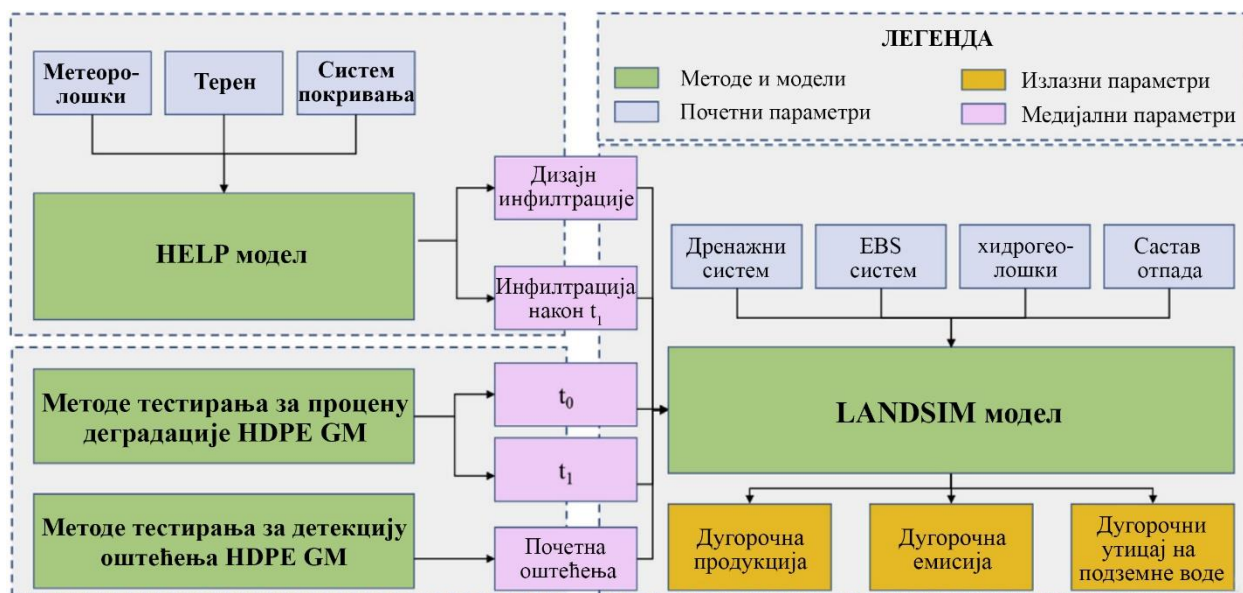
ETa - стварна евапотранспирација (m³),

R – отицање (m³),

D - бочна дренажа (m³),

ΔS - промена садржаја влаге у земљишту (mm/год).

Како овај модел нема оквир за процену ризика да специфицира критичне концентрације загађујућих материја у процедним водама да би се касније упоредили са концентрацијама загађујућих материја које улазе у циљно тело животне средине, овај модел се јако често користи у комбинацији са другим софтверима [154].



Слика 6.2 HELP и LandSim модели, параметри и процеси њиховог повезивања [31]

За предвиђање производње процедних вода, HELP модел се може користити за предикцију инфилтрације према сценарију пројектовања. Добијени подаци из овог модела се могу користити заједно са LandSim моделом којим се добијају други пројектни параметри за

симулацију производње и емисије процедурних вода, као и миграције и трансформације компоненти процедурних вода у засићеним и незасићеним зонама након цурења [31].

6.3. Метода прорачуна миграције процедурне воде софтвером LandSim

LandSim је модел вероватноће који користи технику Монте Карло симулације за насумичан одабир из, унапред дефинисаног, опсега могућих улазних вредности да би се креирали параметри за коришћење у прорачунима модела [132].

LandSim је специјализован софтверски алат намењен за прогнозирање и управљање утицајима депонија на животну средину. Овај софтвер се користи у различитим фазама развоја и управљања депонијама, пружајући детаљне анализе и прогнозе утицаја. LandSim се може користити приликом [155]:

- **пројектовања нових депонија** - у раним фазама планирања депонија, омогућава корисницима да моделују различите сценарије и процене потенцијалних утицаја депоније на животну средину,
- **процене утицаја на животну средину** - у оквиру процена утицаја на животну средину, LandSim пружа податке о потенцијалном ширењу контаминаната, помажући у изради извештаја о утицају,
- **мониторинга и управљања депонијама** - за већ постојеће депоније, LandSim помаже у мониторингу и анализи тренутних утицаја, као и у развоју стратегија за њихово ублажавање.

LandSim пружа детаљан увид у процесе који се одвијају унутар и око депонија, са могућношћу прилагођавања модела специфичним условима локације. Има интерактивни графички интерфејс, чиме омогућава лако уношење података и визуализацију резултата, што помаже у интерпретацији и разумевању сложених података.

Време је важан фактор који треба узети у обзир приликом израде сценарија за депонију. Утицај процеса који се дешавају у новоизграђеном објекту ће вероватно бити прилично другачији од учинка истог објекта, рецимо, 50 година након затварања. Време може да утиче на инфилтрацију (ако покривка подлегне оштећењу), на системске параметре (као нпр. степен у коме је дренажни покривач подлегао оштећењу) и састав процедурних вода.

Разумна процена о томе како ризик од депоније може еволуирати може се добити анализом система под три сета околности:

- пре затварања;
- одмах након затварања и рекултивације;
- 50 година након затварања.

Повезани ефекти са временом су приказани у табели 6.1.

Табела 6.1 Повезани ефекти на депонији у току времена [155]

Време	Сценарио	Захваћени параметри
Оперативна фаза депоније пре затварања	Пројектовани и изграђени системи раде како је предвиђено	Сви параметри имају иницијалне вредности
Одмах након затварања депоније	Покривка на месту смањује инфилтрацију, пумпање и пречишћавање процедних вода се наставља, део дренажног система блокиран миграцијом ситних честица.	Стопа инфилтрације Отказивање цеви Хидраулична проводљивост дренажног покривача
50 година након затварања депоније	Покривка на месту, али могуће деградиран, побољшан квалитет процедурне воде, велико биолошко загађивање	Стопа инфилтрације Концентрација процедурних вода Отказивање дренажних цеви Хидраулична проводљивост дренажног покривача

6.3.1. LandSim интерфејс

Прорачуни специфичних перформанси депоније у циљу заштите животне средине врше се на основу стопе инфилтрације на депонији, карактеристика дренажног система (ако постоји) и величине ћелија депоније. Елементи за процену миграције процедурних вода који се обрађују у оквиру софтвера су:

- извор настанка загађења (депоновани отпад),
- непропусне (заштитне) баријере и
- геосфера (унутрашњи слојеви у телу депоније који могу да формирају непропусне баријере и акумулационе зоне у отпаду).

На основу ових елемената, детаљнији улазни подаци LandSim модела дефинишу:

- геометрију депоније,

- инфилтрацију на локацији,
- дренажни система,
- тип пројектоване заштитне баријере (EBS) и
- хемијски састава процедних вода.

Геометрија депоније- LandSim моделира депонију или фазу као број идентичних ћелија. Важно је узети у обзир број појединачних ћелија на депонији јер то утиче на просечну удаљеност до резервоара за процедурне воде, што заузврат утиче и на висину процедурне воде која се ствара на дну депоније. LandSim претпоставља ортогоналну геометрију за облик ћелије који се дефинише. Површина базе ћелије се аутоматски израчунава на основу дужине улазне стране ћелије. Ова област треба да буде једнака подручју кроз које потенцијално долази до вертикалног цурења процедурних вода. Ако је површина бочних нагиба занемарљива у поређењу са површином хоризонталне основе депоније, могу се користити хоризонталне димензије основе. Међутим, ако површина бочних косина није занемарљива у поређењу са базом ћелије, требало би да се процени укупна површина која би потенцијално могла да садржи процедурну воду.

Инфилтрација коју захтева модел је ефективна количина падавина, али требало би да се узму у обзир и приливи течности у депонију осим ефективних падавина. То може укључивати:

- доток подземне воде у тело депоније,
- рецикулацију процедурних вода и
- доприносе од збрињавања течног отпада.

Дренажни систем омогућава дефинисање предложеног механизма за сакупљање процедурних вода са дна депоније. Конфигурације дренаже које се могу размотрити су депоније без пројектоване дренаже, депоније са дренажним покривачем и цевни дренажни систем.

У случају моделирања несанитарних депонија, може бити коришћена конфигурација депоније без пројектоване дренаже. У овом случају, висина процедурних вода на дну депоније се рачуна кроз:

- хидрауличку проводљивост отпада у m/s и

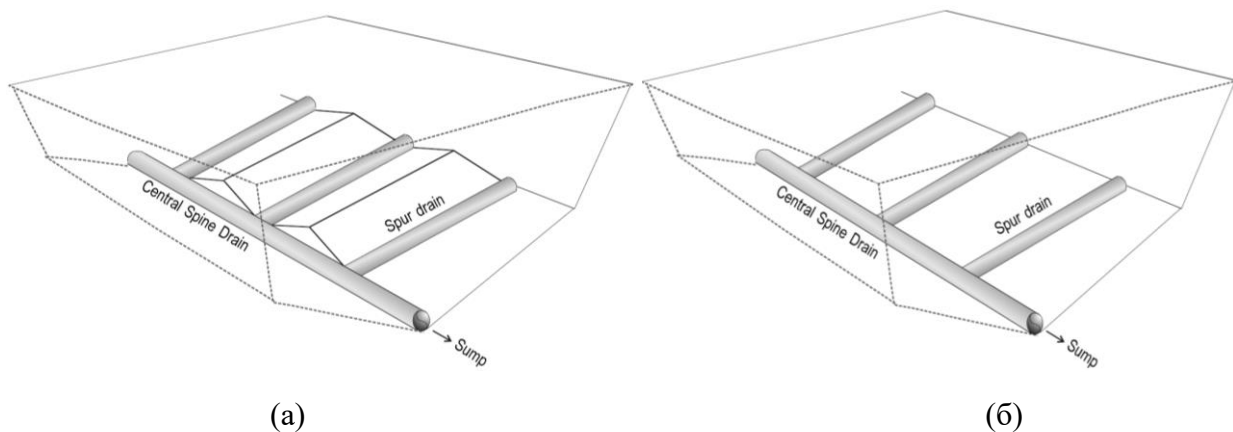
- нагиб базе депоније према резервоару за процедурне воде.

Основни нагиб је дефинисан као нагиб низ који тече процедурна вода.

Када депонија има пројектован дренажни покривач, висина процедурне воде на дну депоније се рачуна кроз:

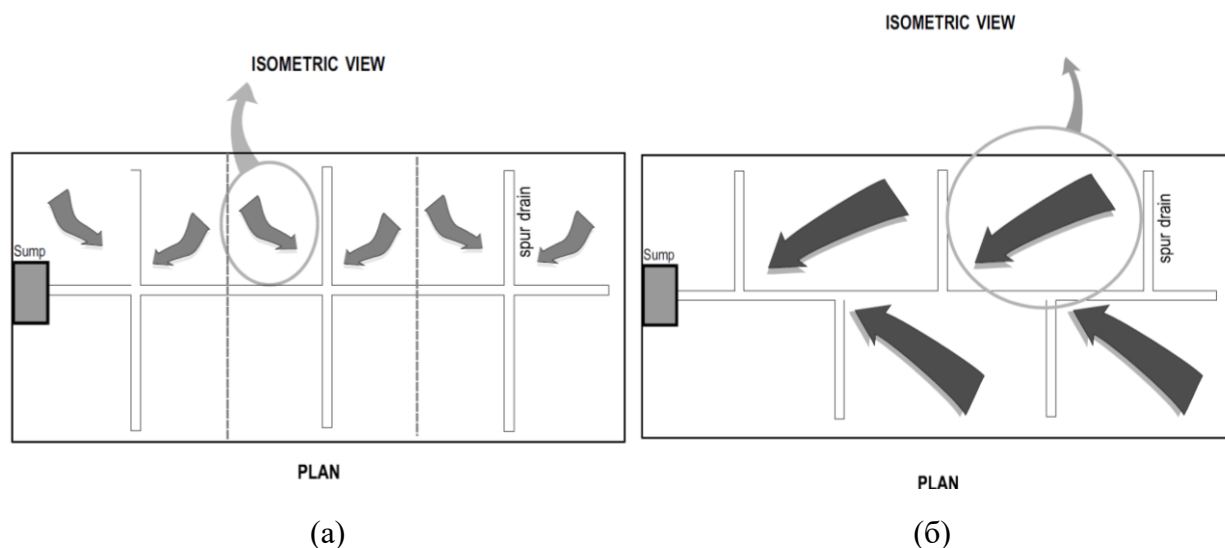
- проводљивост дрена у m/s;
- дебљина покривача у m;
- нагиб базе депоније према резервоару за процедурне воде.

За депоније са дренажним системима са цевоводима, постоје два типа конфигурације: са гребенастим нагнутим основама и оне са једноставним косим основама. У случају гребенастих косих основа, процедурна вода се одводи са обе стране цевних дренажа као што је приказано на слици 6.3а. У случају једноставних косих основа, распоред цеви је такав да се база нагиба према оси сваке цевне цеви у једном правцу као што је приказано на слике 6.3б.



Слика 6.3 Конфигурација система за одводњавање са гребеним базним цевима (нагиби у оба смера) (а) и конфигурација једноставног дренажног система са нагнутим основним цевима (нагиби у једном смеру) (б) [132]

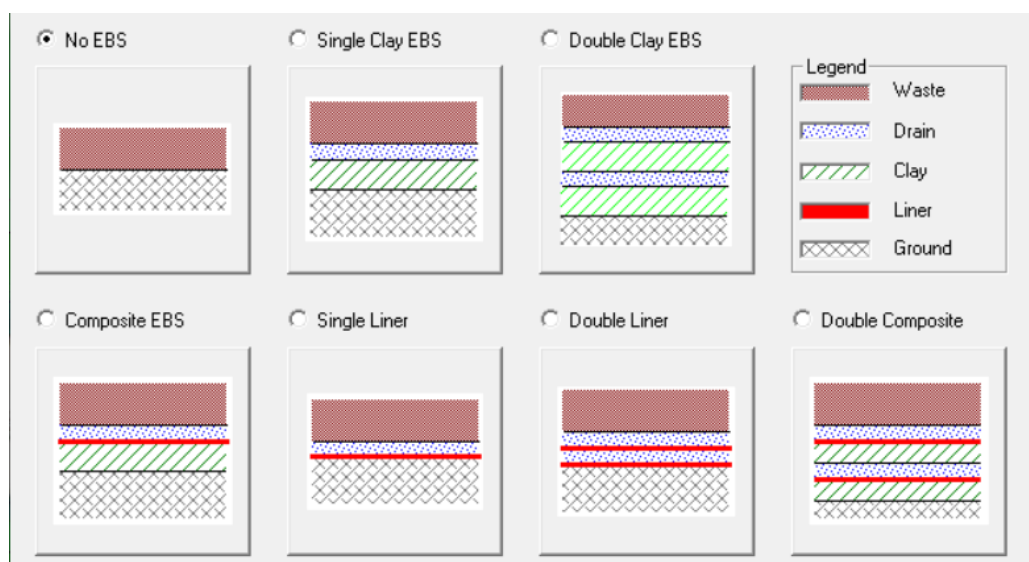
На слици 6.4 приказан је смер кретања процедурних вода у случају нагиба у оба смера (а) и смер кретања процедурних вода у случају нагиба у једном смеру (б).



Слика 6.4 Смер кретања процедних вода у случају нагиба у оба смера (а) и у случају нагиба у једном смеру (б) [132]

LandSim користи унос података у вези са уређењем дренаже да би се одредила висина процедне воде на дну тела депоније. LandSim затим користи висину процедне воде да би се израчунала стопа цурења процедних вода са депоније.

Систем заштитних облога (EBS) - опција пројектованог система баријере (EBS) омогућава да се дефинише тип система за задржавање процедних вода који постоји или који се предлаже.



Слика 6.5 Типови система заштитних облога (EBS) [132]

Као што се може видети са слике 6.5, постоји седам типова EBS који представљају опсег баријера који се могу моделовати помоћу LandSim-а и то су:

- систем без EBS-а,
- са једним слојем глине,
- са два слоја глине,
- композитна облога,
- једноструки мембрански слој,
- двоструки мембрански слој и
- двострука композитна облога која укључује минералну, мембранску облогу као и облогу од геосинтетичке глине.

У зависности од тога који тип депоније се истражује, може се одабрати и одговарајући EBS, на пример несанитарне депоније немају пројектован систем баријера, док савремене санитарне депоније најчешће пројектују двоструку композитну облогу са циљем заштитне дна депонија.

Састав процедурних депонијских вода – LandSim приказује компоненте процедурних вода које се могу моделовати. Иако се подразумевано сматра да су у процедурној води од компоненти присутни само амонијум (као азот), хлориди и жива, могуће је дефинисати које врсте процедурних вода су присутне или одсутне током симулације. Постоји могућност одабрати 48 врста компоненти који се могу наћи у процедурним водама али није препоручљиво узети у обзир све врсте због обима симулације. LandSim захтева минималне, највероватније и максималне вредности за сваку компоненту.

Незасићена зона представља део порозне пропусне геолошке јединице који се налази изнад нивоа воде.

Незасићена зона захтева четири улазна податка, а то су:

- геолошка јединица – која се не користи у прорачунима, али омогућава именовање зоне која формира незасићени пут,
- геометрија- изражава дужину незасићеног пута, порозност и садржај влаге,
- хидрауличка проводљивост- незасићене зонске хидрауличке проводљивости најбоље се добијају лабораторијским испитивањем језгара стена,

- модел протока- постоје две опције протока кроз средњу порозност и дуалну порозност. Проток са двоструком порозношћу може бити прикладан у случају напукнуте креде (fractured chalk) где је пропусност ниска. Међутим, то је неприкладно у случају ломљеног пешчара (fractured sandstone) који треба моделирати.

Програмски модели врше низ прорачуна:

1. Висину процедне воде на дну депоније, узимајући у обзир инфилтрацију и дренажни систем;
2. Брзину протока процедурних вода кроз тело депоније, на основу висине процедурних вода и присуство било које заштитне баријере;
3. Брзину миграције компонената испод тела депоније кроз незасићени пут, засићени пут и пут водоносног слоја;
4. Адвективно-дисперзивни транспорт компоненти за сваку компоненту присутну у процедурној води кроз сваки од ових путева и концентрације компоненти на рецепторима.

Излазни параметри из LandSim су :

- Стопа миграције процедурних вода (l/dan);
- Концентрација компоненти у процедурним водама на дну депоније (mg/l);
- Концентрација компоненти у процедурним водама на реципијенту (mg/l).

Прорачун миграције депонијске процедурне воде софтверским пакетом LandSim спроводи се помоћу симулација које се базирају на математичким моделима и једначинама како би се добили излазни параметри о саставу и миграцији процедурних депонијских вода.

6.3.2. Математички модели прорачуна миграције процедурних депонијских вода у софтверу LandSim

Инфилтрација представља један од значајнијих улазних параметара који касније дефинише висину процедурне воде на дну тела депоније и даље промене које се дешавају старењем депоније. LandSim инфилтрацију дефинише једначином [132]:

$$I_t = \left(\frac{I_g - I_d}{T_f - T_i} \right) \times (T_e - T_i) + I_d \quad (6.7)$$

где је:

- I_g - инфилтрације околног подручја (l/dan),
- I_d - инфилтрација у покривни слој (l/dan),
- T_f - време потпуне деградације покривног слоја (god),
- T_i - време почетка деградације покривног слоја (god),
- T_e - време трајања симулације (god).

Типично, током животног века депоније, физичке и хемијске карактеристике процедурне воде, која се генерише, ће се променити. Када се промене на депонији проучавају након дугих временских интервала, као што је неколико стотина година, апроксимација депоније као континуираног улазног извора може бити превише поједностављена. Један од разлога за промену концентрације процедурних вода је испирање полутаната док течност од инфилтрације пролази кроз депонију. Да би се објаснио овај процес, у LandSim је укључен модел опадајућег извора загађења. Ово претпоставља да је концентрација полутаната у било ком тренутку повезана са његовом почетном концентрацијом према функцији [132]:

$$C_t = C_0^{-\lambda t} \quad (6.8)$$

и

$$\lambda = \frac{i}{(W_{thickness} \cdot W_{fc})} \quad (6.9)$$

где је:

- C_t - концентрација у тренутку t [mg/l],
- C_0 - почетна концентрација [mg/l],
- t - време [god],
- i - инфилтрација [m/god.],
- $W_{thickness}$ - висина отпада [m],
- W_{fc} - капацитет поља за отпад [-].

Решења за израчунавање висине процедурних вода се могу апроксимирати аналитичким функцијама и може одредити за све вероватне геометрије ћелија путем линеарне интерполације или екстраполације. Висина процедурне воде на дну тела депоније се израчунава следећом једначином [132]:

$$Y = \frac{z}{L} \quad (6.10)$$

где је:

- Y - бездимензионална варијабла, карактеристична за висину процедурне воде;
- z - висина процедурне воде изнад заштитне баријере или базе отпада [m]
- L - карактеристична дужина [m]. Ово је показатељ просечне удаљености коју ће прећи процедурна вода до тачке одвода и зависи од типа дренаже.

Када на депонији нема пројектоване заштитне баријере, као што је случај на многим старијим депонијама, LandSim израчунава стопу цурења користећи Дарсијев закон [132]:

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad (6.11)$$

где је:

- Q - Стопа цурења процедурне воде по ћелији (m^3/s)
- K - хидрауличка проводљивост материјала незасићене зоне директно испод отпада (m/s);
- i - средњи вертикални хидраулични градијент (-);
- A - површина попречног пресека ћелије (m^2).

Избор хидрауличке проводљивости за незасићену зону није једноставан, јер у великој мери зависи од садржаја влаге. Ово ће се значајно променити како се основни материјал локације постепено влажи.

Хидрауличка проводљивост композитних облога контролише се квалитетом заварених спојева између појединачних лимова и оним што се дешава након постављања заштитне подлоге. На основу резултата аналитичког и експерименталног рада, предложена је следећа једначина за цурење процедурних вода кроз композитне подлоге [132]:

$$q = C_d \cdot i_{av} \cdot h^{0.9} \cdot a^{0.1} \cdot K^{0.74} \quad (6.12)$$

где је:

- q - стопа цурења процедурне воде по дефекту (m^3/s);
- C_d - константа која описује квалитет контакта између мембране и слојева испод;
- i_{av} - просечан вертикални хидраулични градијент;
- h - висина процедурне воде на дефекту (m);
- a - површина дефекта (m^2);

- K - хидрауличка проводљивост незасићеног материјала директно испод мембране (m/s).

Количина процедне воде која се добија као излазни параметар симулација у LandSimy добија се следећом формулом [132]:

$$L = \frac{-A_b + \sqrt{(A_b^2) + ((2 \times (\frac{V_{fd}}{W_t})) \times (A_s - A_b))}}{(A_s - A_b) / W_t} \quad (6.13)$$

где је:

- A_b - база депоније (m^2),
- A_s - Површина депоније (m^2),
- V_{fd} - Количина слободне воде у маси отпада (mg/l),
- W_t - Висина депонованог отпада (m).

Израчунавање запремине водоносног слоја кроз који процедна вода тече у тренутку продора у рецептор [132]:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot m \quad (6.14)$$

где је:

- V - запремина протока (m^3),
- r - растојање до рецептора (m),
- m - дебљина зоне мешања (m).

У дисертацији је коришћен софтверски пакет LandSim за истраживање кретања процедних вода кроз тело депоније, њихов квалитет, односно количине одабраних компоненти у процедним водама, временски ток кретања процедних вода кроз систем заштитних облога (EBS), разлике у количинама процедних вода кроз различите системе заштитних облога, као и стопе миграције процедних вода током дужег временског периода.

7. МЕРЕЊЕ И ОДРЕЂИВАЊЕ САСТАВА ПРОЦЕДНИХ ВОДА НА ДЕПОНИЈАМА ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

Састав процедних депонијских вода варира у зависности од врсте отпада који се одлаже на депонију, времена депоновања, климатских услова и других фактора. Састав процедних вода могу да карактеришу [156]:

Органске материје - оне су значајан део процедних вода. Укључују биодеградабилне супстанце као што су угљени хидрати, масти, протеини и мање биодеградабилне или неотопиве органске супстанце. Ове материје могу допринети високом ВРК (биохемијској потрошњи кисеоника) и НРК (хемијској потрошњи кисеоника), указујући на велику количину органске материје која може бити разложена.

Неорганске материје - укључују азот, фосфор, калијум, и др., који су често присутни у облику јона. Азот се може налазити у облику амонијума (NH_4^+), нитрата (NO_3^-) и нитрита (NO_2^-). Високи нивои азота могу бити забрињавајући због потенцијалног еутрофикацијског учинка на водена тела.

Тешки метали - укључујући олово (Pb), кадмијум (Cd), хром (Cr), арсен (As), живу (Hg), и др., могу бити изузетно токсични чак и у малим количинама. Тешки метали у процедним водама могу потицати из индустријског отпада, електронског отпада и других извора.

Патогени микроорганизми - бактерије, вируси, протозое и паразити могу бити присутни у процедним водама. Ово укључује организме који могу изазвати разне болести ако се вода не третира адекватно.

Фармацеутски производи и лична брига о производима - присуство фармацеутских производа, хормона, козметичких производа и других хемикалија може бити забрињавајуће. Ове супстанце се често не уклањају уобичајеним методама пречишћавања вода и могу утицати на водени екосистем.

Растварачи и пестициди - хемијски производи, који се често налазе у индустријском и пољопривредном отпаду, могу бити токсични за водени живи свет.

У табели 7.1 приказан је састав процедних вода и концентрације појединих компоненти у њиховом саставу на типичним санитарним депонијама.

Табела 7.1 Састав процедних вода и концентрације појединих компоненти у њиховом саставу [102]

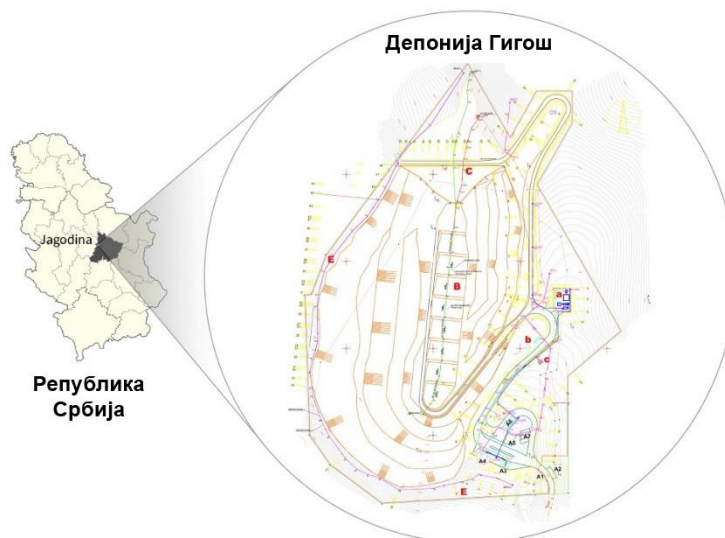
Поједине компоненте процедних вода	Мерна јединица	Типичне вредности концентрација
Температура	°C	18
pH вредност		6
Биохемијска потрошња кисеоника (БПК)	mg O ₂ /l	10 000
Хемијска потрошња кисеоника (ХПК)	mg O ₂ /l	6000
Укупни азот	mg/l	200
Нитрати	mg/l	25
Укупни фосфор	mg/l	30
Хлориди	mg/l	500
Сулфати	mg/l	300
Цијаниди	mg/l	0.2
Феноли	mg/l	2
Арсен	mg/l	0.05
Цинк	mg/l	0.1
Хром	mg/l	0.02
Кадмијум	mg/l	0.002
Гвожђе	mg/l	300
Манган	mg/l	0.05
Олово	mg/l	0.1
Жива	mg/l	0.001

У дисертацији је одређивање састава процедних вода санитарних депонија извршено узорковањем процедних вода из аерационих лагуна, пре третмана и то са локација регионалне санитарне депоније „Гигош“ у Јагодина и санитарне депоније „Метерис“ у Врању. Узорковање процедних вода вршило се квартално у периоду од пет година и то од 2018. године до 2022. године. Анализе састава процедних вода вршиле су се у Лабораторији за анализу процедних вода, Центар за сакупљање и селекцију отпада, „PWW Депонија“ д.о.о. Јагодина и у Лабораторији за анализу процедних вода на Санираној депонији „Метерис“, при Институту за јавно здравље у Врању.

7.1. Регионална санитарна депонија „Гигош“ у Јагодина

Град Јагодина се налази на 43° 59’ северне географске ширине и 24° 14’ источне географске дужине, са просечном надморском висином од 116 m, док је највиша тачка Ђурђево брдо са 213 m. Према познатим геолошким и сеизмолошким подацима, локација се карактерише честим и снажним сеизмичким активностима, са степеном сеизмичности од 8° МКС.

Јагодина је смештена у близини реке Велике Мораве, која је део коридора 10 и представља главни саобраћајни коридор у региону, повезујући мрежу регионалних путева.. На слици 7.1. приказан је положај регионалне санитарне депоније „Гигош“.



Слика 7.1 Положај регионалне санитарне депоније „Гигош“ [32]

Депонија "Гигош" је окружена шумским земљиштем и делом заузима катастарску општину Ланиште, под бројем 1600. Са источне стране граничи се са парцелом под бројем 1602 исте катастарске општине, док је са западне стране ограничена парцелом број 1599. На југу, депонија се налази уз парцеле које су намењене за пољопривреду.

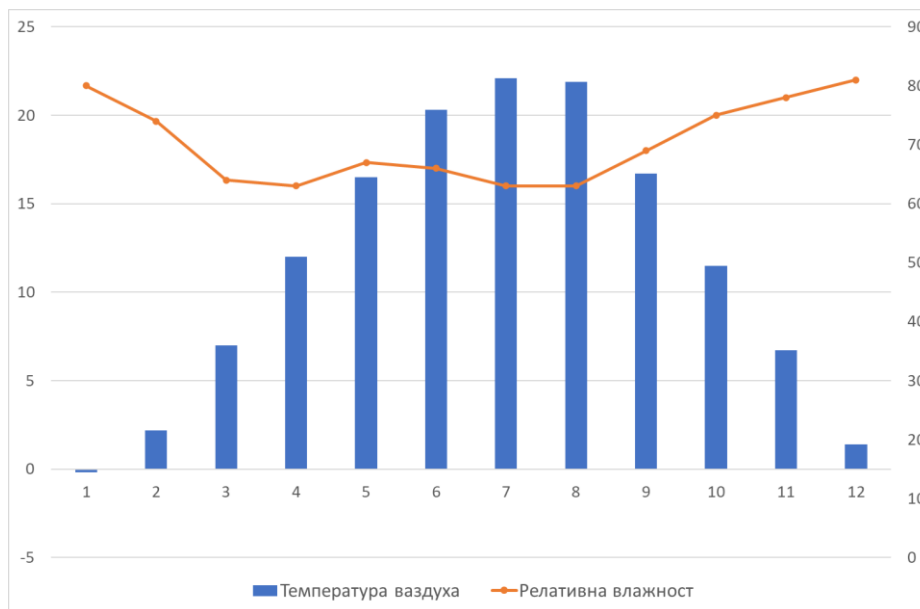
7.1.1. Климатске, хидролошке и геоморфолошке карактеристике локације

На подручју града Јагодине развијене су карактеристике умерено континенталне климе са хладним зимама и топлим летима, уз минорна одступања. Пролећа су топлија због већих струјања са југа која утичу на брже топљење снега, пораст водостаја и убрзани раст вегетације.

Метеоролошки подаци за подручје Јагодине преузети су из софтверског пакета Meteonorm 8. Представљене су просечне вредности најновијих доступних података за период од 2000. године до 2019. године.

Температура - просечна годишња температура се креће од 11,2°C до 11,7 °C. Просечне месечне температуре ваздуха варирају од минималних -0,2 °C у јануару до максималних

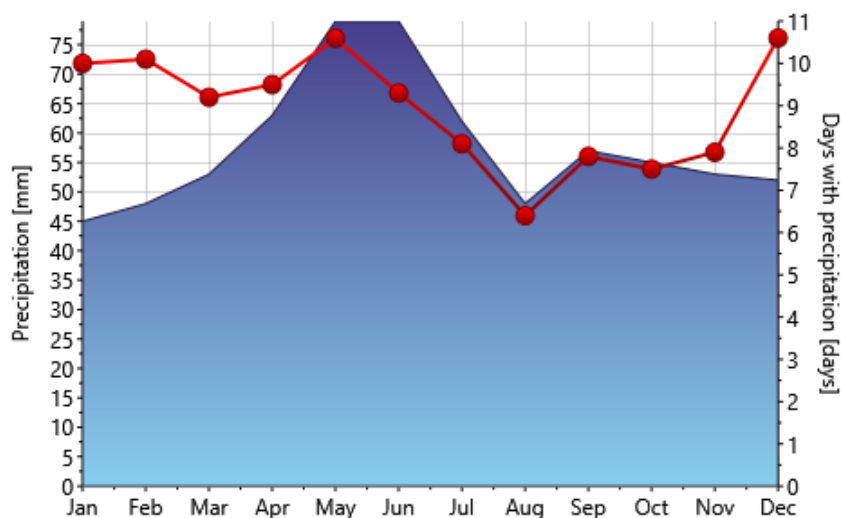
22,2 °C у јулу, што је последица проницања хладних ваздушних маса са севера и топлих са југа. На слици 7.2. приказане су просечне месечне вредности температуре и релативне влажности ваздуха за подручје Јагодине .



Слика 7.2 *Просечне месечне вредности температуре и релативне влажности ваздуха за подручје Јагодине*

Просечне месечне температуре су изнад 10 °C већ у априлу и остају такве све до новембра. У периоду од априла до октобра просечна месечна температура прелази 10°C. Релативна влажност ваздуха највећа је у зимском периоду и износи 81% у децембру, а најмања у пролеће и лето. Месеци који бележе исту, минималну, вредност релативне влажности ваздуха на годишњем нивоу су април, јул и август и она износи 63%.

Падавине - просечне годишње падавине на територији града Јагодине су 619 mm. Највеће просечне месечне вредности забележене су у мају и износе 83 mm, док су најмање просечне месечне вредности количине падавина забележене у јануару и износе 45 mm. На слици 7.3. приказане су просечне количине падавина и просечан број дана падавина по месецима за град Јагодину.



Слика 7.3. Просечне количине падавина и просечан број дана падавина по месецима за град Јагодину

Ветрови- Доминантни ветрови током године дувају из правца југозапада (228°), док се у периоду јуна и јула јављају чешће ветрови из правца запада (278°). Просечна брзина ветра на нивоу године износи $1,6 \text{ m/s}$. Највећа просечна брзина ветра је током марта месеца и износи $1,9 \text{ m/s}$, док је минимална просечна брзина ветра $1,3 \text{ m/s}$ током августа и септембра. Преовлађују периоди без ветра са $60,4\%$, док ветровити периоди чине $39,6\%$, што доприноси проветравању котлине од загађеног ваздуха и расејавању магле, али и манифестацији других временских појава.

Геоморфолошка и хидрогеолошка својства терена- На подручју локације изведено је истражно бушење терена са 29 бушотина дубине $8,00\text{--}10,00 \text{ m}$ и ископане су 4 истражне јаме. Геоелектрично сондирање изведено је са 15 геоелектричних сонди. Урађено је 5 пијезометарских конструкција. Такође је лабораторијски испитано укупно 29 узорка из истражних бушотина и 4 узорка из истражних јама.

На геотехничким пресецима терена издвојене су четири средине и то [157]:

1. насип,
2. прашинасто песковита глина,
3. грус и
4. кристаласти шкриљац.

Прашинасто песковита глина, делувијална - настала потпуном деградацијом основне стенске масе- кристаластих шкриљаца. Формирана је од површине терена до променљивих дубина. Према геоелектричном сондирању и истражном бушењу дубина овог слоја се креће од 0,70-7,50 m. Из овог слоја је лабораторијски испитано 15 узорака и констатовано је да по гранулометријским испитивањима садржи 2-4 % ситног до крупног шљунка, местимично и ситне одломке шкриљца. Садржи од 8-66 % песка, 32-83 % прашине и 7-14 % глине.

Испод делувијалних глина лежи слој груса који представља распадину основне стенске масе-шкриљца. Шљунковито песковита је, делом прашинаста са мањим процентом глине. Дебљина овог слоја је најчешће 1-3 m, мада понекад може имати дебљину и већу од 5,0 m. Према резултатима геоелектричног сондирања, знатно је мање хетерогености у односу на претходни слој. Лабораторијским испитивањем констатовано је да је садржи 7-60 % ситног до крупног шљунка, као и ситне одломке шкриљца. Садржи од 4-66 % песка, 13-60 % прашина и 1-10 % глине.

Кристаласти шкриљац представља основну стенску масу и појављују се на дубини између 2-11 m.

Јаруга на којој се налази тело депоније прикупља инфилтриране воде у терен и површинске воде, одводи их у већу јаругу, па даље ка Великој Морави. На почетку дубоке јаруге јавља се стална мања количина воде која њом отиче. Количина воде која се налази у јарузи варира у зависности од количине падавина и топљења снега. Инфилтриране воде у терен спорије се процеђују кроз слој делувијалне глине ка боље проводљивом грусу и кристаластим шкриљцима након чега се дренажују ка јарузи.

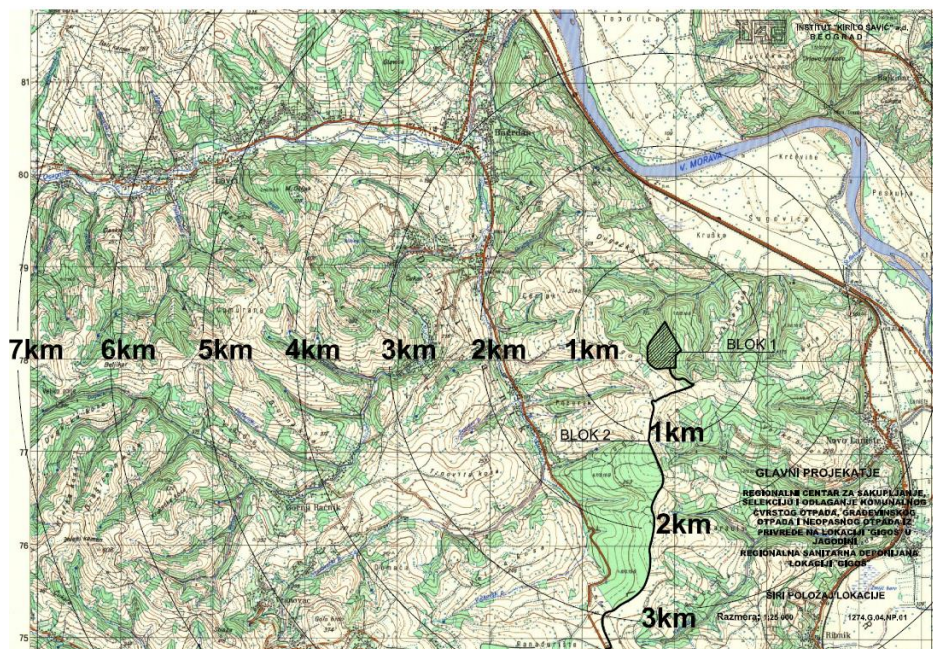
У пијезометрима није констатована подземна вода. Међутим, у грусу је има у мањим количинама у зависности од количина инфилтрације.

Лабораторијским испитивањем физичко механичких параметара појединих узорака тла добијене су следеће вредности коефицијента филтрације [157]:

- прашинасто песковита глина је средње пропустљиво тло које има вредности коефицијента филтрације: $k_f = 3,08 \times 10^{-7} - 4,98 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$;
- грус је релативно пропустљиво тло са вредностима коефицијента филтрације: $k_f = 1,35 \times 10^{-2} - 1,65 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$;

7.1.2. Опис локације регионалне санитарне депоније „Гигош“

Комплекс регионалне санитарне депоније у Јагодини пројектован је на локацији „Гигош“ која је удаљена 13 km северозападно од града Јагодине. Депонија се простире на површини од 11.83 ha и налази се у јаружном простору између два гребена, док се у окружењу налазе и друге јаружне морфолошке структуре. Терен је стрм са падовима до 50%. Најнижа тачка комплекса је на око 165 метара надморске висине, док највиша достиже приближно 284 метара надморске висине. У близини локације се налазе насеља: Ново Ланиште на отприлике 2.5 km, и Багрдан на 3 km удаљености. Река Велика Морава тече на 2 km од локације, док су железничка пруга која повезује Београд и Ниш, као и инфраструктурни коридор 10, удаљени око 1.5 km. Хајд учки поток налази се на око 150 m од депоније у који представља главни реципијент за испуштање воде које су обрађене на локацији депоније „Гигош“. Објекти културног значаја као што су црква и манастир Томић су на удаљености од 1.5, односно 2 km. Локални ветрови су у овом региону повољни. На слици 7.4 приказана је макролокација депоније Гигош.



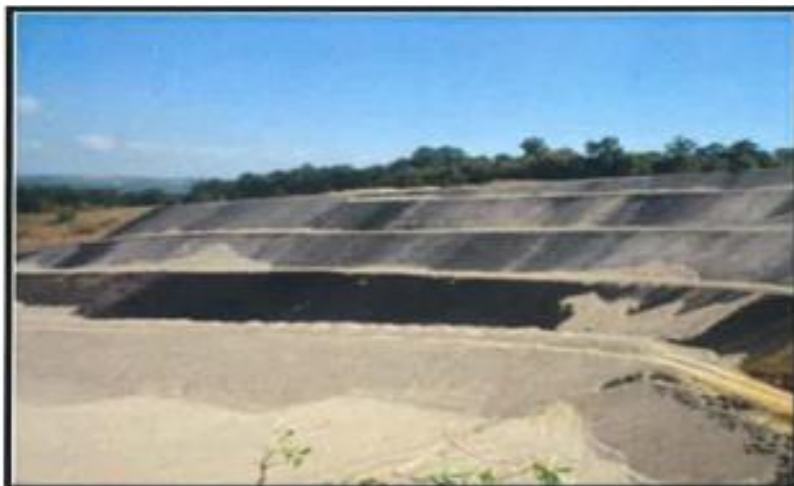
Слика 7.4 Макролокација регионалне санитарне депоније „Гигош“ [157]

Област која окружује депонију је већином шумовита, с тим да се јужне и северне границе деломично граниче са пољопривредним земљиштем. Приступ овој локацији је могућ преко пута који води од регионалног пута број 214, на релацији Јагодина - Багрдан, и протеже се до улаза у Регионални центар. Пут је дугачак око 4 km и изграђен до нивоа асфалтног покривача, са темељем од туцаника и уређеним банкама. На слици 7.5 приказан је изглед депоније „Гигош“ са околином.



Слика 7.5 Изглед депоније „Гигош“ са околином [158]

Депонија "Гигош" је почела са радом 2010. године и има капацитет од $1.500.000 \text{ m}^3$, што је довољно за 25 година одлагања отпада. Процес одлагања отпада је подељен у три фазе које се надовезују једна на другу све док се не испуни капацитет депоније. Након тога, у плану је да се изврши санирање и рекултивација целе локације. У плану је такође наведено да ће тело депоније и заштитни појас обухватити површину од 155.271 m^3 [158]. На слици 7.6 приказано је каскадно тело депоније Гигош.



Слика 7.6 Каскадно тело депоније „Гигош“ [158]

На локацији "Гигош" депоније налази се [157]:

- манипулативно - опслужни плато који укључује контејнере, систем за прање точкова камиона, паркинг простор за возила, простор за прање возила, као и паркинг за посетиоце и путничка возила. На улазу у комплекс, поред капије, смештен је објект намењен особљу, који садржи портирницу, канцеларије за раднике, просторије за одмор и мокри чвор,
- тело депоније,
- брана,
- интерне саобраћајнице,
- аерациона и таложна лагуна, намењене пречишћавању процедних вода,
- ободни канали за прикупљање атмосферских чистих вода,
- инфраструктурни објекти: резервоар за противпожарну и санитарну воду са запремином од 110 m³, трафо станица и дизел агрегат.

7.1.3. Депоновање отпада на локацији „Гигош“

У Центру за сакупљање и селекцију отпада, који је од депоније удаљен 13 km, врши се мерење отпада који пристиже на депонију. Провера отпада се обавља при доласку у центар, и уколико је исход провере задовољавајући, возило се упућује на мерење. Након мерења, камиони се шаљу на манипулативно- опслужни плато где се отпад истоварује, у складу са његовом врстом и пропратним процедурама транспорта за поновно искоришћење или

одлагање. Отпад који се не може поново искористити се сакупља у посебан контејнер и ако испуњава критеријуме за одлагање, одлаже се на депонију.

Дневна количина отпада која се одлаже на депонији "Гигош" у несабијеном облику износи 372 t/дан, или 114 m³ дневно у сабијеном стању, што отприлике износи 150 t/дан. Количине одложеног отпада на депонији „Гигош, из последње извештајне године, у периоду од 2015. године до 2022. године приказан је у табели 7.2, док је морфолошки састав отпада који се одлаже приказан је у табели 7.3.

Табела 7.2 Количина одложеног отпада на депонији „Гигош“ у периоду од 2015-2022. године [87]

Година	Количина (t)
2015	62.760
2016	74.113
2017	62.893
2018	61.660
2019	75.360
2020	69.042
2021	75.835
2022	80.276

Табела 7.3 Морфолошки састав отпада који се одлаже на депонији „Гигош“ [102]

	Компонента	Удео у укупној количини (%)
1.	Папир	10,8
2.	Стакло	6,78
3.	Пластика	7,31
4.	Гума	6,33
5.	Отпад са јавних површина	27,12
6.	Текстил	4,3
7.	Метални отпад	0,45
8.	Органски отпад	21,96
9.	Грађевински отпад	5,92
10.	Остало	9,04
	Укупно	100%

Отпад се након истовара систематски распростире и изравнава у слојевима дебљине од 0,1 m до 0,2 m и сабија се компактором до жељене густине. Након сваког сабијеног слоја, булдожером се поставља танак слој отпада преко изравнане површине, који се затим поново сабија компактором. Овај поступак се понавља током целог дана (или током периода депоновања), након сваке довезене количине отпада, све док се не достигне укупна висина радног слоја одложеног отпада. На крају се преко горње површине ћелије ставља слој

покривног материјала дебљине 0,2 m, док са бочних отворених страна ћелије дебљина слоја износи 0,6 m.

Формирање сваке ћелије завршава се на крају радног дана. Примена дневних прекривки је обавезна не само на крају радног дана, већ и у случајевима када се радни процес одлагања прекине током дана. Сав отпад мора бити у потпуности покривен на крају сваког радног дана.

За одређене типове отпада потребно је специјализовано руковање на радној површини. У таквим ситуацијама примењују се следећи поступци [158]:

- кабасти отпад, попут старог намештаја који се може сломити или исецкати, се депонује на дно радне површине и разбија булдожером како би се смањиле његове димензије;
- кабасти отпад се равномерно распоређује на дну радне површине, док се други чврсти отпад одлаже преко њега;
- специјални отпади који захтевају посебан начин одлагања се одлажу на, унапред предвиђеном, посебном делу депоније;
- отпад ниске густине, као што је зелени отпад, захтева посебан третман због тешкоће сабијања; овакав отпад се одлаже у танким слојевима и прекрива се са другим врстама отпада како би се омогућило ефикасно сабијање укупне масе отпада на радној површини.

За покривање отпада на "Гигош" депонији користе се различити материјали који су доступни, а највише се користи материјал добијен од ископа. Овај материјал се састоји од прашинастих глине, песковитих глина и шљунковитих глина и сматра се веома добрим материјалом за покривање. Овакав тип материјала спречава појаву инсеката, умањује продирање влаге у тело депоније, смањује непријатне мирисе, превенцију ширења болести и спречавање контакта птица и инсеката са отпадом [157].

Приликом покривања чврстог отпада инертним материјалом, води се рачуна да буде равномерно распоређен и добро утабан, како би се спречило застајање воде и ерозија. Грађевински шут као што су малтер, цигла и бетон се користе за прављење путева на

депонији. Као покривни материјал такође се користи ситни отпад као што су земља и пепео добијен сепарацијом отпада у Центру за селекцију и сакупљање отпада.

7.1.4 Тело депоније „Гигош“

Тело депоније се простира дуж целе западне стране комплекса. Површина тела депоније, укључујући брану, након њеног затварања, приближно је 71.000 m². Са северне стране, тело депоније је ограничено земљаним насипом, "насутом браном", чија максимална висина достиже 30 m.

На депонији "Гигош", као начин контролисаног одлагања неопасног отпада, примењена је "сендвич" технологија, односно систем слој по слој. Овај систем омогућава коначну диспозицију отпада уз највише стандарде заштите животне средине.

Изолација дна и косина формираног корита тела депоније изведена је са циљем да се спречи миграција течних вода и продирања гасова из депоније у земљиште и њихово неконтролисано ослобађање у околину. Неконтролисано ослобађање ових супстанци могло би довести до загађења земљишта, подземних и површинских вода, као и до могућности стварања гасова у експлозивним концентрацијама.

7.1.4.1. Системи заштите локације „Гигош“

Систем заштитних баријера дна депонијског тела се састоји од следећих слојева :

1. слоја синтетичке глине (бентонит) по дну и косинама тела депоније,
2. слоја HDPE фолије, обострано хрпаве,
3. слоја геотекстила произвођача SETCO и
4. слој каменог агрегата фракције 16-32 mm дебљине d= 50 cm

Техничке карактеристике синтетичке глине су следеће [158]:

- дебљина- 7 mm,
- маса по јед. површине- 4,670 g/m²,
- индекс бубрења- 24 ml/2g,
- губитак флуида- 18 ml/2g,
- максимална сила истезања-12.0 kN/12.0 m,
- издужења при кидању-10.0/6.0%,

- хидрауличка проводљивост 2×10^{-11} m/s.

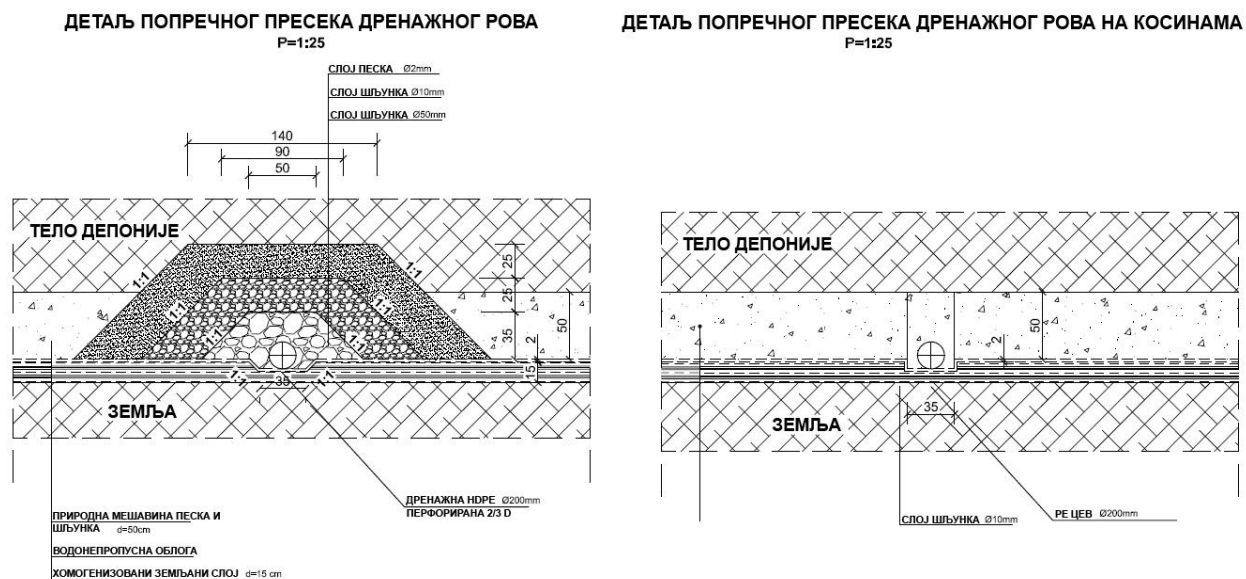
Техничке карактеристике слоја HDPE фолије су следеће [158]:

- дебљина- 2 mm,
- густина- 0.945 g/cm^3 ,
- апсорпција воде- $<0.1\%$,
- чврстоћа по издужењу- $5\% > 1100 \text{ N/50mm}$,
- савитљивост на ниским температурама- $t < -20 \text{ }^\circ\text{C}$,
- граница развлачења- 16 N/mm^2 ,
- издужење по кидању - 800% ,
- затезна чврстоћа- 30 N/mm^2 .

Техничке карактеристике слоја HDPE фолије су следеће [158]:

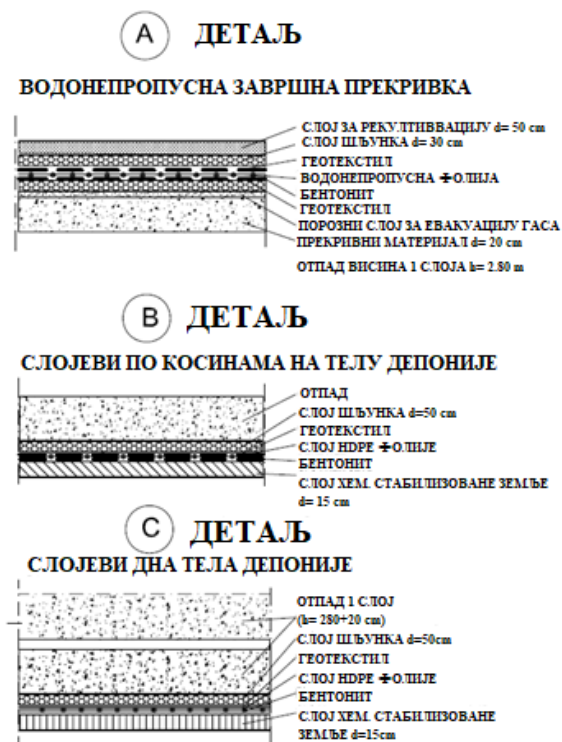
- грамажа- 1.200 g/cm^2 ,
- дебљина- 7,5 mm,
- отпорност на лонгитудинално истезање- 21.5 kN/m ,
- отпорност на трансферзално истезање- $40,0 \text{ kN/m}$,
- дозвољено лонгитудинално издужење- 130% ,
- дозвољено трансферзално издужење- 95% ,
- отпорност на пробијање- CDR 5 500 N.

На депонији "Гигиш", изнад другог слоја геотекстила постављен је дренажни материјал који служи као филтрирајући слој за процедурне депонијске воде. Шљунак се користи за заштиту дренажних цеви и хидроизолационе подлоге од оштећења која би могла настати услед употребе механизације. На слици 7.7. приказан је детаљ попречног пресека дренажног рова.



Слика 7.7 Детаљ попречног пресека тела депоније „Гигош“ [159]

На косинама тела депоније су постављени слојеви бентофикса, преко којих је додат слој шљунка, који се придржава уз постављање аутомобилских гума. Преко слоја шљунка се затим одлаже отпад. На слици 7.8 приказан је детаљ заштитних слојева дна тела депоније.



Слика 7.8 Детаљи заштитних слојева дна тела депоније [157]

Одлагање отпада на "Гигош" депонији врши се површинским методом, односно отпад се распоређује по површини припремљеног терена.

7.1.4.2. Дренажни систем локације „Гигош“

На комплексу депоније постоје три одвојене мреже за каналисање:

1. атмосферске воде,
2. процедурне воде са тела депоније и
3. санитарно-фекалне воде.

Атмосферске воде које се акумулирају на депонији, као и на саобраћајницама и манипулативно-опслужном платоу, одводе се преко два ободна канала, K1 и K2. Канал K1 сакупља воде са платоа за прање возила, које се затим преко шахте 10 и сепаратора масти и уља, испуштају у Хајдучки поток, који припада сливу Велике Мораве и класификован је као Класа II квалитета површинских вода. Испуштање ових вода се врши преко испуста 1.

Атмосферске воде које се сакупљају са приступних путева и из околног подручја одводе се каналом K2 и испуштају у исти поток преко шахти 12 и 13, као и преко испуста 2, али без претходног проласка кроз сепаратор масти и уља. Ове воде се одводе кроз ободне канале до армиранобетонског колектора, у коме се врши механички третман неорганског материјала као што је песак, земља и муљ, путем гравитационог таложења, пре њиховог коначног испуштања у Хајдучки поток.



Слика 7.9 Ситуација одвођења вода са комплекса депоније „Гигох“ [102]

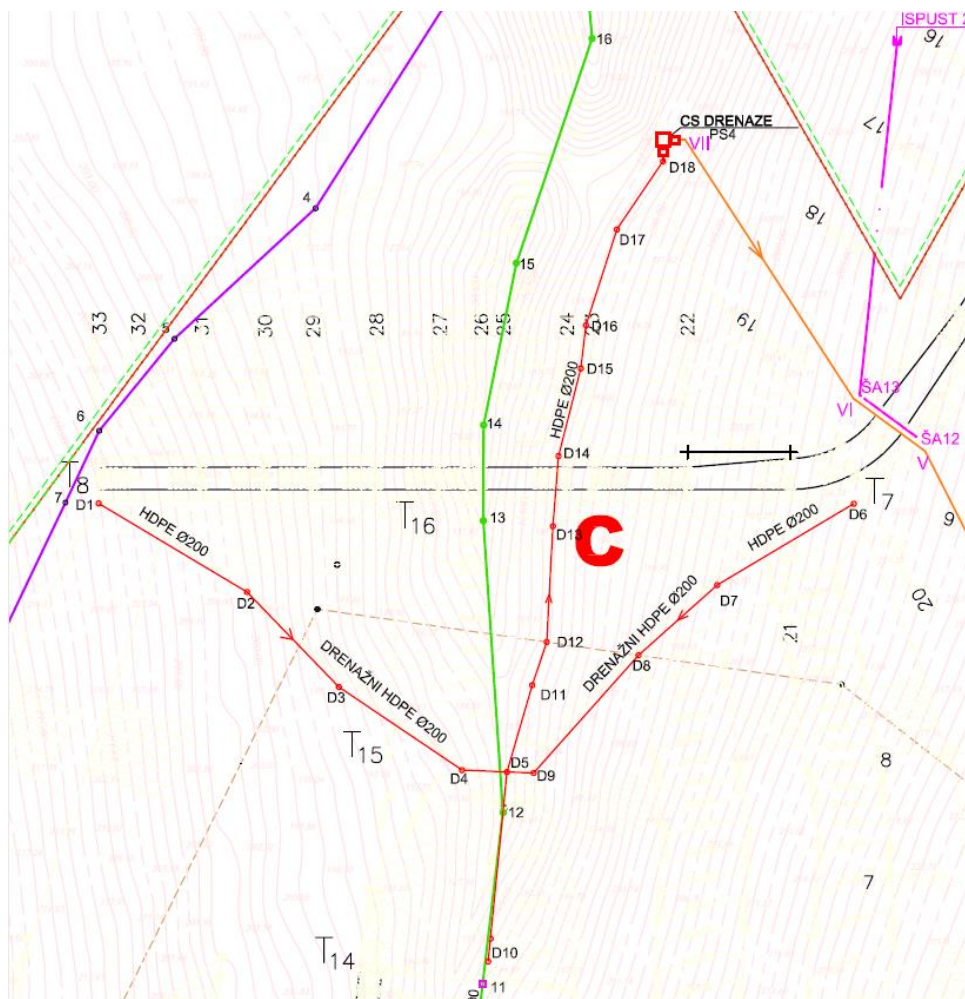
Процедне воде се сакупљају са тела депоније у најнижој каскади која је на надморској висини од 88,34 m. Одатле се ове воде преносе перфорираним цевима распоређеним у облику рибље кости до места где вода продире, па се потом гравитационо преводе до пумпне станице ПС4 која се налази на најнижој тачки локације на коти од 184,00 метара.

За сакупљање процедурних технолошких вода са тела депоније, пројектована је одговарајућа дренажна мрежа, која се састоји из два дела [158]:

1. Дренажна мрежа у телу депоније: ова мрежа је постављена у телу депоније и служи за сакупљање процедних технолошких вода. Пројектована је уградња HDPE цеви пречника 200 mm. Мрежу чине три канала, постављена на стратешким местима. Подужни канал D10-D5 дренажне канализације постављен је дуж најнижих кота дна првог платоа депоније у дужини од 30 метара. У чвору D5 предвиђена је уградња дупле рачве Ø200/200, преко које се врши прикључак бочних кракова дренаже D5-D1 и D5-D6 и одвод канала процедних вода до пумпне станице PS4.
2. Дренажни систем за каналисање процедних вода од чвора D5 до PS4: процедурне депонијске воде одводе се до пумпне станице PS4 кроз канализационе HDPE цеви Ø200mm које имају дужину 101.45 m. Дренажна цеви су постављене у рову са падом према изливу у PS4. Цеви су постављене на слоју песка, а затрпане су материјалом за насипање бране.

Такође, постоји и могућност испирања дренажног система преко бочних канала.

На слици 7.10 је приказан детаљ канала дренажне мреже, са чворовима D10-D5, D5-D1 и D5-D6 и одвод од D5 до PS4.



Слика 7.10 Детаљ канала дренажне мреже процедних вода на локацији [102]

Санитарно-фекалне воде са депоније се прикупљају у армирани бетонски септички резервоар који периодично одвозе цистерне ЈКП у градску канализацију.

7.1.5. Мониторинг рада депоније

Мониторинг метеоролошких параметара- мерења параметара врше се у депонијској лабораторији или се преузимају од најближе метеоролошке станице. Параметри који се мере су:

- количина падавина (дневно),
- температура (мин, макс. у 14:00),
- брзина и смер ваздушних струјања,
- испаравање и

- атмосферска влажност (у 14:00).

Мониторинг емисије гасова- на подручју депоније врши се контрола издвајања гаса кроз праћење његовог састава и количине, посебно метана CH_4 , угљен-диоксида CO_2 , и кисеоника O_2 .

Мониторинг количине падавина - на подручју депоније мери се количина падавина на комплексу тела депоније, на подручју објеката депоније и у њеној зони заштите.

Мониторинг стабилности тела депоније- на подручју депоније врши се мониторинг стабилности депоније кроз праћење података :

- структура и састав тела депоније – тренутно стање депоније, површина коју захвата одложен отад, количина и морфолошки састав одложеног отпада, врста депоновања, временски период депоновања отпада, преостали капацитет депоније за одлагање отпада и
- особине слегања нивоа тела депоније.

Мониторинг заштитних слојева дна депоније- праћење заштитних баријера кроз испитивања квалитета подземних вода.

Мониторинг површинских вода - праћење састава воде Хајдучког потока, који се налази у близини локације Гигош, где је главни испуст атмосферских вода. Узроковање вода спроводи се на минимум две локације, узводно и низводно од тела депоније, једном у годину дана. Квалитет ових вода пре испуштања у Хајдучки поток се мери на оба испуста.

Мониторинг подземних вода – врши се кроз пет пијезометара који су постављени на дубини од 20 - 27 m. Тренутно се користе 4 пијезометра, од којих један представља референтни пијезометар, постављен је изван локације депоније и на тај начин омогућено је праћене утицај депоније на околне подземне воде. На слици 7.11 приказане су локације пијезометара на подручју депоније „Гигош“.



Слика 7.11 Локације пијезометара на подручју депоније „Гигош“

Мониторинг подземних вода врши се узимањем узорака из пијезометара који су постављени тако да прате кретање подземних вода. Испитивања се врше у циљу утврђивања евентуалних акцидентних ситуација у заштитним слојевима тела депоније, односно утврђивања потенцијалног уливања процедних вода које су се процедиле кроз тело депоније и тиме нарушиле квалитет подземних вода.

7.1.6. Резултати количине и састава депонијских процедних вода на депонији „Гигош“

Процес генерисања, количине и састава процедурне воде на локацији се контролишу у лабораторији депоније. Мониторинг процедурне воде са депоније спроводи се на сваком локалитету где се процедурна вода одводи са депоније на потпуно контролисан начин. Количина процедурне воде се мери месечно, док се све остале анализе врше квартално.

Параметри за прорачун укупног хидрауличког оптерећења су [102]:

- Површина за прорачун процедурних вода,
- Коефицијент апсорпције за годишње падавине – $\kappa_1 = 0.09$,
- Коефицијент апсорпције за месечне падавине- $\kappa_2 = 0.02$.

Површина депоније која се користи за време експлоатационог периода износи укупно 66 127 m². Процес одлагања отпада планиран је у три различите фазе. За потребе прорачуна количине процедурне воде, као релевантна област усваја се трећина укупне површине депоније:

$$F_{1/3} = \frac{66\,127\,m^2}{3} = 22\,042\,m^2 \quad (7.1)$$

Просечна дневна количина процедурних вода са површине тела депоније, израчунава се на основу годишњих падавина. Количина годишњих падавина за локацију „Гигош“ је $i_1 = 619$ mm/год.

Просечна дневна количина процедурних вода на локацији „Гигош“ се израчунава на следећи начин [102]:

$$Q_{dp} = \frac{\kappa_1 \cdot F \cdot i_1}{T} = \frac{0.09 \cdot 22\,042\,m^2 \cdot 0.619\,m/god}{365} = 3.36\,m^3/dan \quad (7.2)$$

Максимална количина процедурне воде која се добија са површине тела депоније на дневном нивоу израчуната је на основу максималних дневних падавина за локацију „Гигош“. Максималне дневне падавине су $i_2 = 0.083$ m/dan.

Максимална дневна количина процедурне депонијске вода која се генерише на депонији „Гигош“ добија се формулом [102]:

$$Q_{dmax} = \kappa_2 \cdot F \cdot i_2 = 0.02 \cdot 22\,042\,m^2 \cdot 0.083\,\frac{m}{dan} = 36.6\,m^3/dan \quad (7.3)$$

Лабораторија која се користи при анализи процедурних вода, у којој се врши тестирање узорак узетих са локације, налази се у Центру за сакупљање и селекцију отпада, за који је надлежна компанија "РWW Депонија" д.о.о. Јагодина. Анализа узорак процедурних депонијских вода врши се на основу Правилника [66], који се односи на квалитет отпадних вода. Спровођење мониторинга процедурних депонијских вода врши се на основу референтних метода за [134]:

1. физичко- хемијске параметре:

- SRPS H.Z1.111: 1987- овом методом врши се мерење рН вредности и то спектрофотометријски,
- SRPS EN 872:2008 и SRPS H.Z1.160: 1987 - методе за мерење концентрација суспендованих материја филтрирањем кроз филтере стакленим влакнима и за гравиметријски,
- SRPS EN 27888:1993- метода за кондуктометријско мерење електропроводљивости;

2. органске параметре:

- SRPS EN 1899-1:2009 и SRPS EN 1899-2:2009- метода за одређивање BPK₅ разређивањем и методом за неразблажене узорке,
- SRPS ISO 6060:1989- метода титрације за одређивање хемијске потрошње кисеоника НРК;

3. неорганске параметре:

- SRPS EN ISO 17294-2:2009- ICP-MS, метода за мониторинг концентрација арсена, антимона, бакра, баријума, цинка, хрома, кадмијума, никла, гвожђа, мангана, молибдена, олова, селена и живе и то индукованом куплованом плазмом са масеном спектроскопијом,
- SRPS EN 1233:2008- AAS, метода атомско апсорпционе спектрометрије за испитивање хрома,
- SRPS EN ISO 11885:2011- ICP-AES, метода за мониторинг концентрација арсена, антимона, бакра, баријума, цинка, хрома, кадмијума, никла, гвожђа, мангана, молибдена, олова, селена, живе и то индукованом куплованом плазмом са атомско-емисионом спектроскопијом,
- SRPS ISO 12846:2013- AAS – метода за атомско апсорпциону спектрометрију живе, са и без обогаћивања,
- SRPS EN 12338:2008- метода за мониторинг концетрације живе обогаћивањем амалгамирања,
- SRPS EN 12260:2008- Укупна количина азота одређује се методом оксидације до оксида азота,

- SRPS EN 26777:2009- одређивање нитритних азота врши се методом спектрофотометрије,
- SRPS EN ISO 10304-1:2009- метода спектрофотометрије са сулфо-салицилном киселином, за одређивање нитратних азота,
- SRPS EN ISO 14403-1:2013 и SRPS H.Z1.139:1984- метода за мерење укупних цијанида проточном анализом односно спектофотометрисјки.
- SRPS ISO 9297-1:2007- меетода за мерење хлорида аргентометријском титрацијом,
- SRPS EN ISO 6878:2008- Спектрофотометријска метода са амонијум-молибдатом за одређивање укупног фосфора.

Анализа концентрације компонената депонијских процедурних вода вршила су се квартално пет година за редом од 2018. године до 2022. године. Измерено је укупно 36 параметара и то: општи параметри, нутријенти, салинитет, метали и органске супстанце присутне у процедурној депонијској води.

Узорковане су процедурне воде са депоније пре уласка у аерациону лагуну. У табели 7.4 приказане су концентрације компонената процедурне воде на регионалној санитарној депонији „Гигош“.

Табела 7.4 Концентрације компонената процедурне воде на регионалној санитарној депонији „Гигиш“ [160], [161], [162], [163], [164]

Година	2018.				2019.				2020.				2021.				2022.			
Параметар																				
	1. квартал	2. квартал	3. квартал	4. квартал	1. квартал	2. квартал	3. квартал	4. квартал	1. квартал	2. квартал	3. квартал	4. квартал	1. квартал	2. квартал	3. квартал	4. квартал	1. квартал	2. квартал	3. квартал	4. квартал
Температура воде, °C	7.9	21.5	16	/	10.6	/	25.7	11.3	9.2	20.9	24.5	7.8	8.6	24.2	19	4.3	4.2	21	20.1	10.8
pH	9	8	8.60	/	7.6	/	8.5	8.6	8.5	8.5	8.7	8.7	8.6	8.7	8.7	8.7	8.6	8.7	8.4	8.1
Суспендоване материје	27	18	122	/	452	/	102	76	104	267	200	254	110	162	214	58	116	326	244	136
Таложне материје након 10 мин	<0.2	<0.2	n.a.x	/	<0.2	/	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2	<0.2	<0.2	<0.2
ВРК ₅ , mg O ₂ /l	1300	1800	1880	/	1700	/	2300	3700	1100	2350	3628	3045	2396	980	970	2230	1850	2951	1652	2240
НРК ₅ , mg O ₂ /l	3661	6157	5250	/	4217	/	7850	13150	3620	6846	1354	9166	7265	2940	3395	6700	5643	12397	5381	4091
Укупни органски угљеник (ТОС)	871	1737	1190	/	/	/	2163	3910	2477	3305	4271	3361	2773	984	988	2369	4321	5221	5221	3006

Укупан азот, mg N/l	66	1176	16	/	641	/	606	1209	720	13	49	391	267	272	386	297	324	39.6	410	410
Нитрити,mgNO ₂ - l	<0.03	<0.03	<0.03	/	<0.03	/	<0.01	<0.03	<0.03	4.70	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Нитрати,mgNO ₃ - l	<0.05	5.20	<0.05	/	<0.05	/	0.64	<0.05	0.4	0.31	7	1.1	3.5	3.8	8	32	66	5.3	16.6	4.9
Амонијум јон, mg NH ₄ -N/l	59	921	14	/	434	/	476	997	541	5.5	35	208	187	179	266	176	178	23	264	21
Укупан фосфор, mg P/l	1.70	1.10	2.30	/	1.7		25	18	11	16	17	18	27	17	14	13	15	13	14	7.8
Хлориди	512	1933	2730	/	2417	/	3951	752	3405	5694	4900	4858.	2900	4361	4538	5013	2481	2493	2837	5318
Сулфати	63	88	3.6	/	56	/	527	191	27	407	720	318	920	865	938	256	366	461	1374	2230
Сулфиди	<0.5	<0.5	198	/	0.89	/	4	1	2.1	3.6	2.6	4	3.20	1.80	2.90	0.80	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Флуориди, F-x	<0.05	<0.05	<0.05	/	<0.05	/	<0.05	<0.05	2.2	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Електропроводљ ивост, µS/cm	11560	10658	14500	/	20540	/	22910	27040	19500	27500	33570	31490	18525	32310	42700	24640	21380	27540	38820	46400
Цијаниди	<0.01	<0.01	0.15	/	<0.01	/	2.10	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Укупна минерализација mg/l	4960	10230	10040	/	12324	/	12716	16224	11730	14500	20100	19349	11496	8993	39068	18582	11614	21580	23958	27980

Арсен, Asx	0.07	0.16	0.17	/	0.26	/	0.32	0.44	0.37	0.41	0.56	<0.02	0.25	0.44	0.49	0.3	0.39	0.39	0.4	0.92
Антимон, Sbх	<0.05	<0.05	<0.05	/	<0.05	/	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Бакар, Сux	0.02	0.18	0.06	/	0.06	/	0.13	0.17	<0.01	0.1	0.25	<0.01	0.1	0.16	0.2	0.1	0.07	0.05	0.08	0.21
Баријум, Вах	0.25	0.72	0.80	/	0.82	/	1.1	1	0.87	1.3	1.4	<0.1	0.85	0.7	0.72	0.72	0.9	1	1	1
Цинк, Znx	<0.05	0.32	0.20	/	0.16	/	0.21	0.39	0.23	0.27	0.38	<0.05	0.23	0.31	0.33	0.3	0.37	0.27	0.3	0.72
Хром укупни, Cr	0.22	1.30	1.10	/	1.6	/	1.9	2.1	1.7	2.4	4.4	0.15	1	1.9	2	1.8	1.8	1.8	1.8	3.7
Кадмијум, Cdх	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 5	/	<0.00 5	/	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5
Никл, Nix	0.06	0.33	0.30	/	0.42	/	0.44	0.54	0.44	0.47	0.78	0.04	0.33	0.71	0.69	0.47	0.42	0.42	0.58	0.95
Гвожђе укупно, Fe	1.30	3.40	16	/	12	/	11	15	5.6	16	18	0.65	4.5	11	16	11	8.1	8	11	13
Манган укупни, Mn	0.18	0.26	1.2	/	1.2	/	1.5	1.3	1	1	1	0.08	0.84	0.9	1.1	1.2	0.1	0.1	1.1	1.4
Молибден, Мох	0.01	<0.05	0.01	/	0.14	/	0.12	0.24	0.21	0.24	0.71	0.02	0.13	0.30	0.41	0.17	0.2	1.1	0.14	0.12
Олово, Pbх	<0.02	<0.01	<0.02	/	<0.02	/	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	0.07	0.07	0.28
Селен, Sex	<0.02	<0.02	<0.02	/	<0.02	/	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Жива, Hgx	<0.00 1	<0.00 1	0.002	/	<0.00 05	/	<0.00 05	0.001	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05	<0.00 05

Феноли	0.06	0.05	0.38	/	<0.00 1	/	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1
Минерална уља	<0.01	<0.01	<0.1	/	<0.1	/	<0.1	0.70	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Адсорбована хлорована органска једињења, АОХ, µg/l	<0.01	<0.01	<0.01	/	<0.5	/	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

*Параметри у складу са Интегрисаном дозволом [158]

н.а.х- није анализирано због црне боје раствора

/ -нема доступних података

У табели 7.4 приказане су вредности 36 компоненти депонијске процедурне воде са депоније „Гигош“. У 2018. години нема довољно података о вредностима компоненти у 4. кварталу и такође у 2019. године нема довољно података о вредностима компоненти за 2. квартал.

За даљу анализу састава депонијских процедурних вода на депонији „Гигош“ изабран је део параметара који има забележену велику значајност и утицај на животну средину [14], [16], [28], [149], [165].

Феноли представљају веома токсичне супстанце за водене организме. Њихово присуство у води је јако непожељно и чак и у малим концентрацијама могу да мењају органолептичке особине воде [117]. Неорганска једињења попут нитрата и нитрита су такође присутна у процедурним водама. У водоносним слојевима азотна једињења се јако дуго задржавају, јер нема њихових потрошача, што доводи до погоршавања стања квалитета воде. Конкретно нитрати показују велику мобилност у воденој средини.

Концентрације фосфора су такође веома важне приликом анализе састава процедурних депонијских вода, јер повећање концентрација може да указује на разлагање врло сложених органских материја и потенцијално загађење акватичних екосистема. Сулфати се најчешће узимају у обзир приликом анализе састава процедурних вода јер се сулфатни јон у анаеробним условима редукује до водоник-сулфида који представља јако токсичну гасовиту супстанцу [117]. Флуориди представљају такође један од важнијих параметара када се анализира квалитет воде, јер се сматра да и ниска количина флуорида може имати негативне последице по здравље људи.

Анализа тешких метала је веома значајна приликом утврђивања састава процедурних вода и њиховог утицаја на животну средину. Присутност метала у воденим срединама може довести до различитих биолошких, физичких и хемијских промена. Врло је важно поменути да токсичност метала не зависи искључиво од његове концентрације већ и од његовог хемијског облика у коме је присутан. Из тог разлога није довољна само контрола количине метала у водама према дефинисаним стандардима присутности метала у процедурној води већ је предложено и усвајање концепта нулте концентрације тешких метала у водама као један од најсигурнијих видова контроле и очувања акватичних екосистема. Најчешће присутни метали у процедурним водама су олово, жива, манган, хром, арсен, никл и гвожђе.

У дисертацији је анализирано 14 репрезентативних параметара, из групе:

1. органских супстанци:

- феноли;
2. нутријената:
- укупни азот,
 - нитрати,
 - нитрити.
3. салинитета:
- сулфати,
 - цијаниди,
 - флуориди.
4. метала:
- арсен,
 - хром укупни,
 - никл,
 - гвожђе,
 - манган,
 - олово и
 - жива.

Изабрани параметри су доступни за локације регионалне санитарне депоније „Гигош“ и санитарне депоније „Метерис“, као и у софтверском пакету LandSim у коме су симулирани предикциони модели депонија. Анализа параметара вршила се упоређивањем граничних вредности емисије отпадних вода и максималних вредности, добијених у току извештајних година.

7.1.6.1. Анализа концентрација параметара процедурних вода на депонији „Гигош“

Измерене максималне вредности концентрација компонената упоређивале су се са граничним вредностима емисије према Уредби [70], која се односи на граничне вредности емисије загађујућих материја које доспевају у воде. Праћене су промене концентрације компонената у временском периоду од 2018. године до 2022. године. Измерене максималне вредности у поменутом периоду приказане су у табели 7.5.

Табела 7.5 Максималне измерене вредности појединих компоненти на депонији „Гугош“

Поједине компоненте процедних вода	Измерене вредности					ГВЕ
	2018	2019	2020	2021	2022	
Укупни азот	1176	1209	720	297	410	70
Нитрити	<0.03	<0.03	4.7	<0.03	<0.03	2
Нитрати	5.2	0.64	7	32	66	70
Флуориди	0,05	0,05	2,2	0,05	0,05	50
Сулфати	88	527	720	938	2230	400
Цијаниди	0.15	2.10	0.05	0.04	0.01	0,2
Феноли	0.38	0.001	0.001	0.001	0.001	50
Арсен	0.17	0.44	0.56	0.49	0.92	0.1
Хром	1.3	2.1	4.4	2	3.7	0,5
Никл	0.33	0.54	0.78	0.71	0.95	1
Гвожђе	16	15	18	16	11	200
Манган	1.2	1.5	1	1.2	1.4	5
Олово	0.02	0.02	0.02	0.03	0.07	0.5
Жива	0.002	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.05

Концентрације укупног азота- максимална концентрација укупног азота измерена је у 2019. години и тада је износила 1209 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије ове компоненте је 70 mg/l. Како је приказано на слици 7.12, измерене вредности максималних концентрација премашују граничну вредност емисије у свим извештајним годинама.



Слика 7.12 Максималне годишње вредности концентрације укупног азота у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гугош“ у Јагодини

У 2018. години максимална вредност концентрације укупног азота је виша у односу на граничну вредност емисије 16,8 пута, у 2019. години 17,3 пута, у 2020. години 10,3 пута, у 2021. 4,3 пута и 2022. године је виша 5,8 пута. Концентрације укупног азота након 2020. године показују тренд опадања, што се може објаснити тиме да у зрелој фази депоније, када се активност разградње смањи, концентрација укупног азота може почети да опада.

Концентрације флуорида- максимална концентрација флуорида измерена је у 2020. години и износи 2,2 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије флуорида је 50 mg/l. На слици 7.13 приказане су измерене вредности максималних концентрација флуорида у односу на граничну вредност емисије.

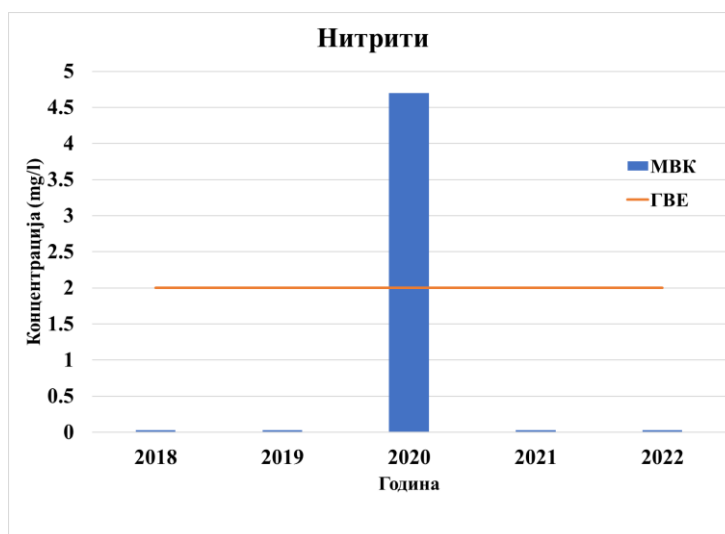


Слика 7.13 Максималне годишње вредности концентрације флуорида у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини

Како је приказано на слици 7.13 ни једна измерена вредност максималних концентрација не прелази граничну вредност емисије ни у једној извештајној години. У 2018., 2019., 2021. и 2022. години измерене максималне вредности концентрације флуорида износе 0,05 mg/l, што указује на константан тренд ове компоненте.

Нитрити- максимална концентрација нитрита измерена је у 2020. години и износи 4.7 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије нитрита је 2 mg/l. На слици 7.14 приказане

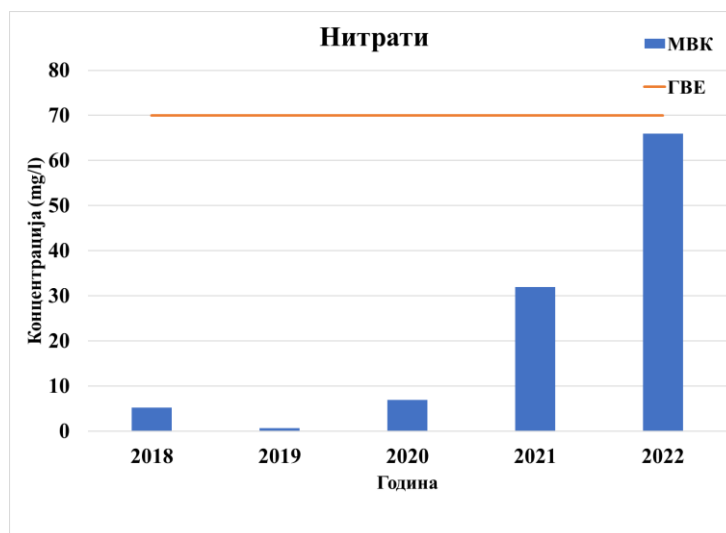
су измерене вредности максималних концентracија нитрита у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.14 Максималне годишње вредности концентracије нитрита у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гугош“ у Јагодини

Слика 7.14 приказује измерене вредности максималних концентracија нитрита које премашују граничну вредност емисије у једној од пет извештајних годинама. Вредности МБК нитрита у 2018., 2019., 2021. и 2022. години су у дозвољеним границама и износе 0.03 mg/l. Само у 2021. години МБК нитрита премашује дозвољену вредност и то 2.35 пута.

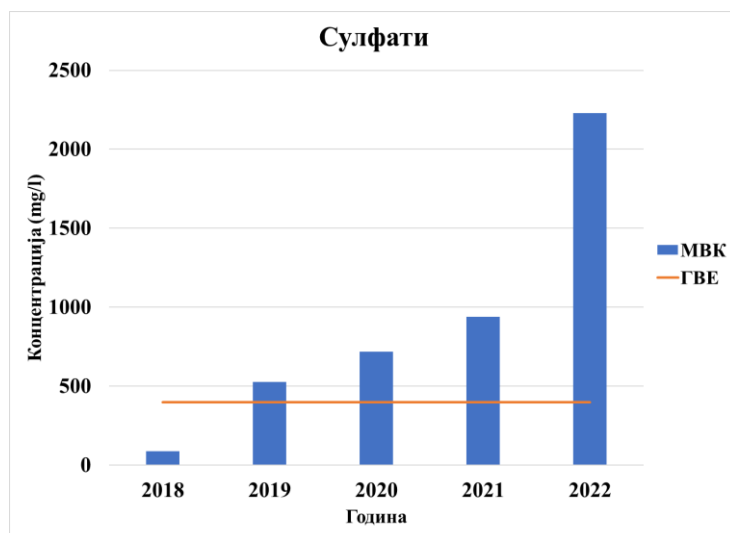
Нитрати- ни једна МБК нитрата у извештајним годинама не прелази дозвољену вредност од 70 mg/l. У 2022. години забележена је највиша концентracија нитрата од 66 mg/l. На слици 7.15 приказане су измерене вредности максималних концентracија нитрата у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.15 Максималне годишње вредности концентрације нитрата у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гизош“ у Јагодини

На слици 7.15 се јасно види да су концентрације нитрита у дозвољеним границама према Уредби [70], за свих пет извештајних година и износе 5.2 mg/l, 0.64 mg/l, 7 mg/l, 32 mg/l и 66 mg/l, респективно. Концентрације нитрата показују тренд раста, што може указивати на то да се у телу депоније још увек одвијају хемијске реакције при којима долази до ослобађања нитрата.

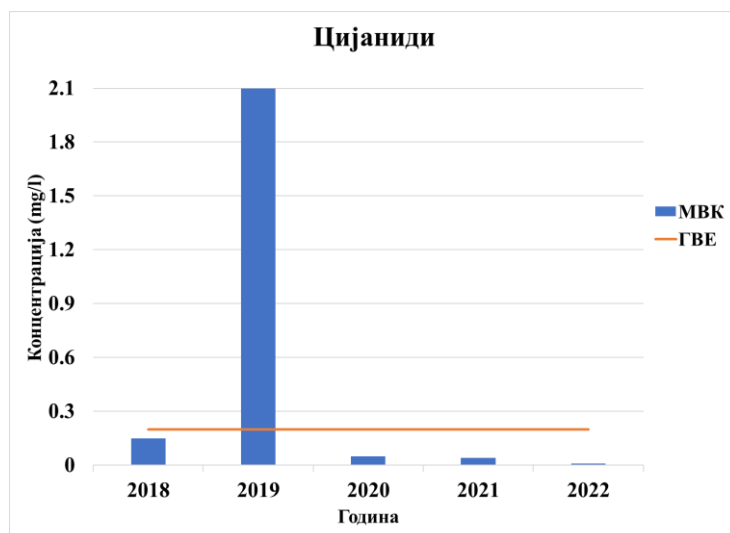
Сулфати- у 2022. години измерена је максимална концентрација сулфата од 2230 mg/l. Уредба [70], одређује граничну вредност емисије сулфата 400 mg/l. На слици 7.16 приказане су измерене вредности максималних концентрација сулфата у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.16 Максималне годишње вредности концентрације сулфата у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гугош“ у Јагодини

Слика 7.16 приказује измерене вредности максималних концентрација сулфата које премашују граничну вредност емисије у четири од пет извештајних година. Вредност MBK сулфата у 2018. години је у дозвољеним границама и износи 88 mg/l. Од тада се јавља тренд пораста концентрација сулфата. У 2019. години измерена MBK сулфата износи 527 mg/l, у 2020. години износи 720 mg/l, у 2021. години износи 938 mg/l и у 2022. години износи 2230 mg/l, што је 1.3, 1.8, 2.3 и 5.6 пута респективно виша концентрација у односу на граничну вредност емисије сулфата. Разлог тренда пораста концентрација сулфата може бити због процеса старења депоније и до смањења њеног капацитета да филтрира и неутралише контаминанте. То може довести до већег ослобађања сулфата у процедурне воде.

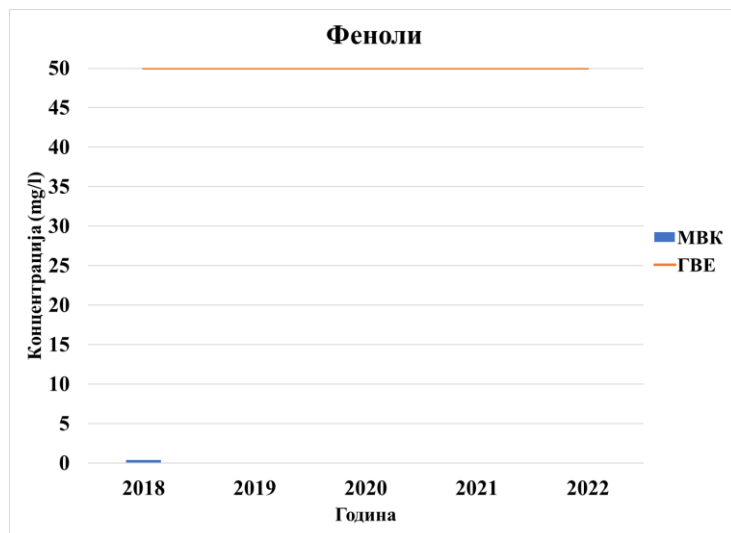
Цијаниди- максимална концентрација цијанида измерена је у 2019. години и износи 2,1 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије цијанида је 0,2 mg/l. На слици 7.17 приказане су измерене вредности максималних концентрација цијанида у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.17 Максималне годишње вредности концентрације цијанида у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гизош“ у Јагодини

На слици 7.17 су приказане измерене вредности максималних концентрација цијанида које не премашују граничну вредност емисије, осим МВК у извештајној години 2019. Вредност МВК цијанида у 2018. години је у дозвољеним границама и износи 0,15 mg/l. У извештајним годинама 2020, , 2021 и 2022 максималне вредности концентрације цијанида показују тренд пада, ннже су у односу на ГВЕ и износе 0.05 mg/l, 0.04 mg/l и 0.01 mg/l, респективно.

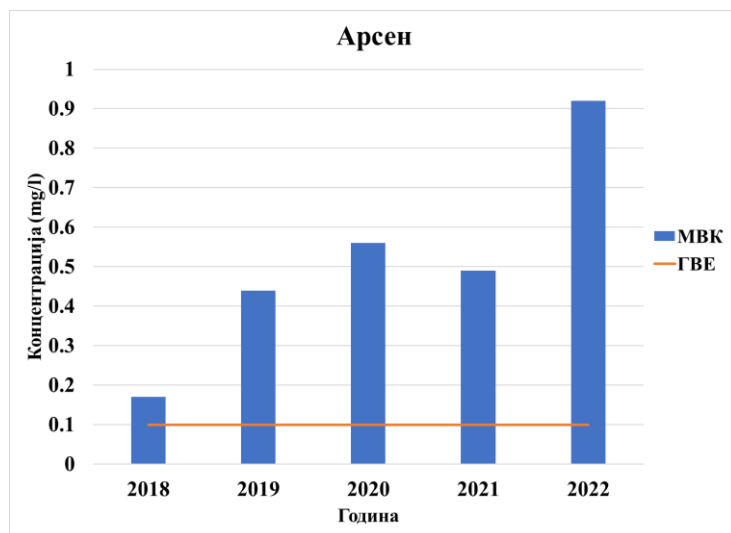
Феноли- измерене максималне вредности фенола у процедурним водама у свим извештајним годинама су врло ниске и у границама максимално дозвољених вредности. На слици 7.18 су приказане измерене максималне вредности у односу на ГВЕ која према Уредби износи 50 mg/l.



Слика 7.18 Максималне годишње вредности концентрације фенола у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гугош“ у Јагодини

Измерене максималне вредности фенола су 0,38 mg/l у 2018. години и у осталим извештајним годинама показују константне вредности од 0,001 mg/l.

Арсен- максималне вредности концентрације арсена показују тренд пораста кроз извештајне године. Највећа концентрација арсена измерена је у 2022. години и износи 0,92 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије арсена у отпадним водама је 0,1 mg/l. На слици 7.19 су приказане измерене МВК арсена у односу на ГВЕ.

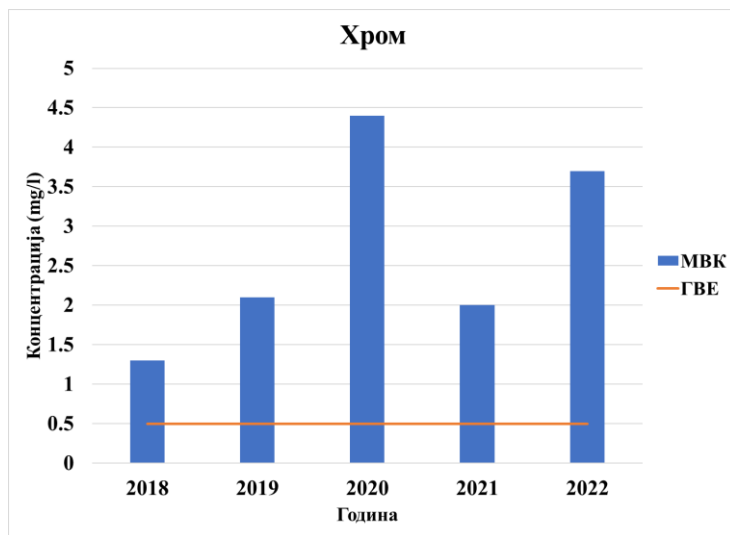


Слика 7.19 Максималне годишње вредности концентрације арсена у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гугош“ у Јагодини

У 2018. години измерена МВК износи 0,17 mg/l, у 2019. години износи 0,44 mg/l, у 2020. години је 0,56 mg/l и у 2021. години је 0,49 mg/l. МВК арсена у свим извештајним годинама прелазе ГВЕ и то 1,7 пута, 4.4 пута, 5.6 пута, 4,9 пута и 9.2 пута, респективно.

Како депонија стари, њен капацитет да неутралише или задржи токсичне супстанце, укључујући и арсен, може се смањити, што може довести до повећања њихових концентрација у процедурним водама.

Хром- измерене максималне вредности концентрација хрома у свим извештајним годинама прелазе граничну вредност емисије која износи 0,5 mg/l према Уредби [70]. Највећа количина хрома забележена је 2020. године када је износила 4,4 mg/l, док је најнижа вредност концентрације хрома измерена у 2018. години када је износила 1,3 mg/l. На слици 7.20 приказане су измерене вредности максималних концентрација хрома у односу на граничну вредност емисије.

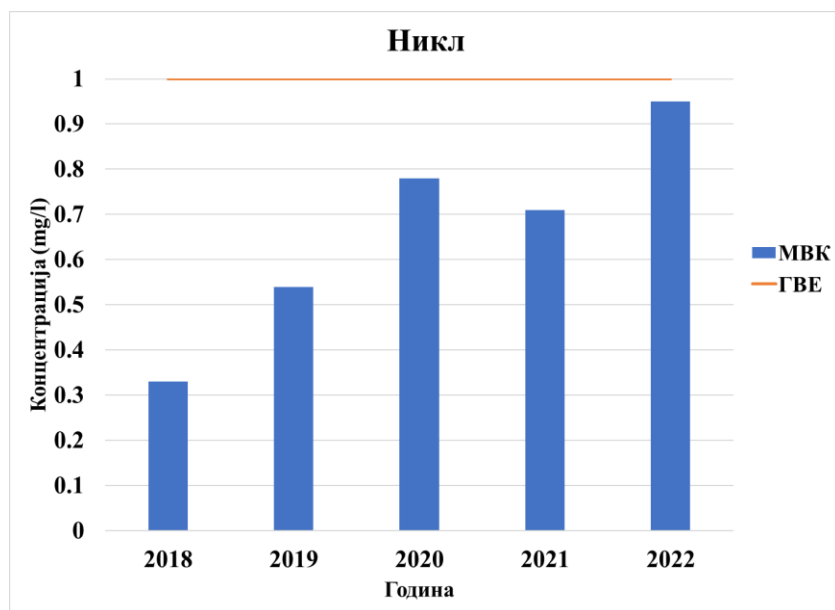


Слика 7.20 Максималне годишње вредности концентрације хрома у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини

Током времена може доћи до акумулације хрома у депонији, што може резултирати повећањем његове концентрације у процедурним водама када услови постану погодни за

његово ослобађање. Услови за његово ослобађање могу настати као последица хемијских, физичких промена или промена у хидрогеолошким условима на локацији депоније.

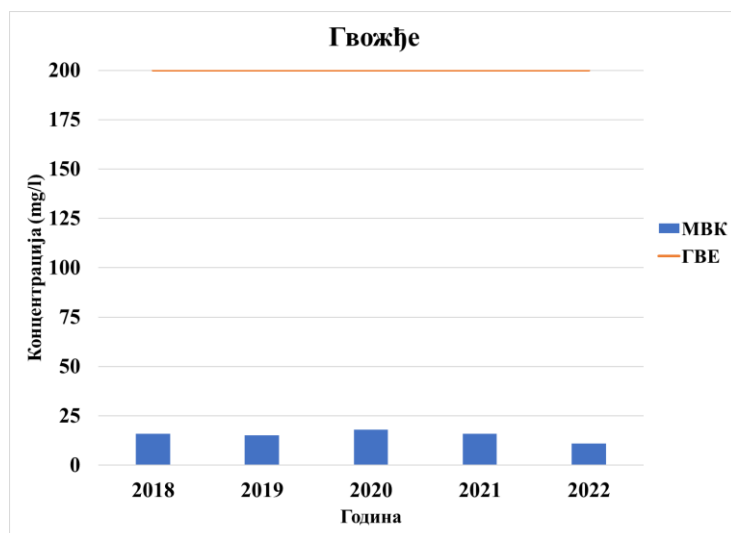
Никл – Максималне вредности концентрација никла у току извештајних година показују тренд раста. Најнижа вредност измерена је у 2018. години док је највиша у 2022. години, али ни једна вредност не прелази ГВЕ која је дата Уредбом и износи 1 mg/l.



Слика 7.21 Максималне годишње вредности концентрације никла у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигиш“ у Јагодини

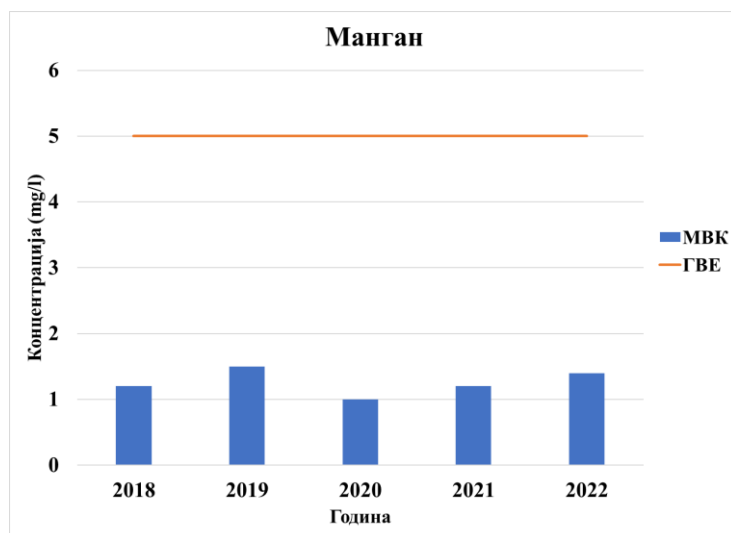
Измерене концентрације никла у процедурним водама у 2018. години износе 0,33 mg/l, у току 2019. године концентрација расте на 0.54 mg/l. Након тога у 2020. и 2021. години концентрације никла су и даље у порасту и износе 0,78 mg/l и 0,71 mg/l, редом, У 2022. години MBK достиже своју највећу вредност и износи 0,95 mg/l.

Гвожђе- измерене максималне концентрације гвожђа у свим извештајним годинама такође показују тренд константности и то 16 mg/l, 15 mg/l, 18 mg/l, 16 mg/l и 11 mg/l, респективно. Разлог томе може бити генерално мала способност миграције гвожђа па његове концентрације остају испод граничне вредности емисије од 200 mg/l и константне су. На слици 7.22 приказане су измерене вредности максималних концентрација гвожђа у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.22 Максималне годишње вредности концентрације гвожђа у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини

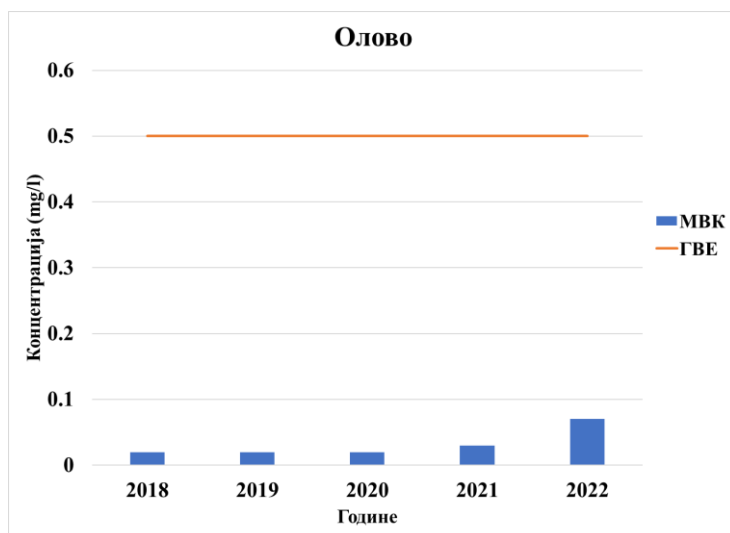
Манган- измерене вредности максималних концентрација мангана у свим извештајним годинама износе 1,2 mg/l, 1,5 mg/l, 1 mg/l, 1,2 mg/l и 1.4 mg/l, редом. На слици 7.23 приказане су MBK мангана у односу на ГВЕ која износи 5 mg/l.



Слика 7.23 Максималне годишње вредности концентрације мангана у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигош“ у Јагодини

Као што се са слике 7.23 може видети, ни једна измерена максимална вредност концентрације мангана не прелази граничну вредност емисије и релативно су константе.

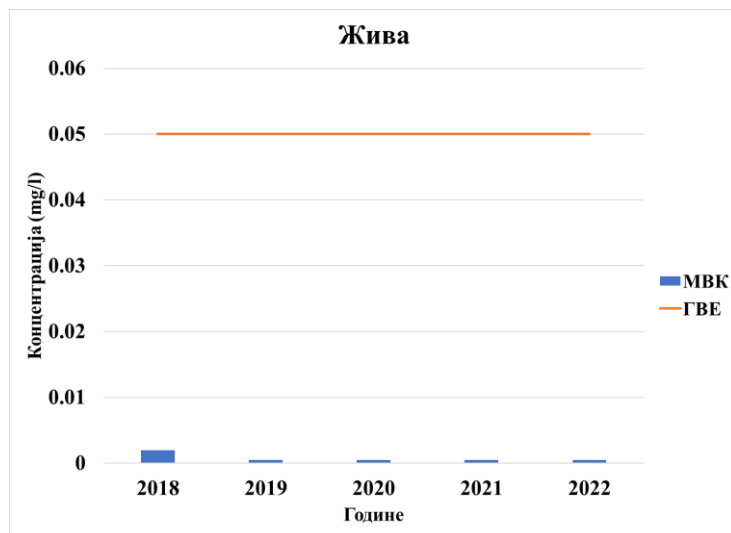
Олово- максималне вредности концентрација олова које су измерене у извештајним годинама показују тренд константности у 2018, 2019., и 2020. години, док од тада показују благи пораст, међутим ни једна вредност не прелази граничну вредност емисије која износи 0,5 mg/l. На слици 7.24 приказане су измерене вредности максималних концентрација олова у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.24 Максималне годишње вредности концентрације олова у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигиш“ у Јагодини

Измерене MBK по извештајним годинама су 0,02 mg/l у 2018. години, 2019. години и 2020. години, док је у 2021. години измерена MBK олова 0,03 mg/l и у 2022. години 0,07 mg/l. У киселом окружењу, олово може бити више растворљиво, док је у неутралном или алкалном окружењу, какво је у телу депоније са њеним старењем, ипак мање растворљиво.

Жива-максималне вредности концентрације живе које су измерене у извештајним годинама показују тренд константности. У 2018. години измерена MBK живе износила је 0,002 mg/l, док је у 2019. години, 2020. години, 2021. години и 2022. години износила 0,0005 mg/l у свим кварталима мерења. Гранична вредност емисије живе у отпадне воде је 0,05 mg/l, тако да измерене MBK живе не прелазе граничне вредности емисије живе. На слици 7.25 приказане су измерене вредности максималних концентрација живе у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.25 Максималне годишње вредности концентрације живе у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Гигиш“ у Јагодини

Од укупно 14 репрезентативних параметара, измерене вредности максималних концентрација 5 параметара прелазе граничне вредности емисије у отпадне воде дате Уредбом [70].

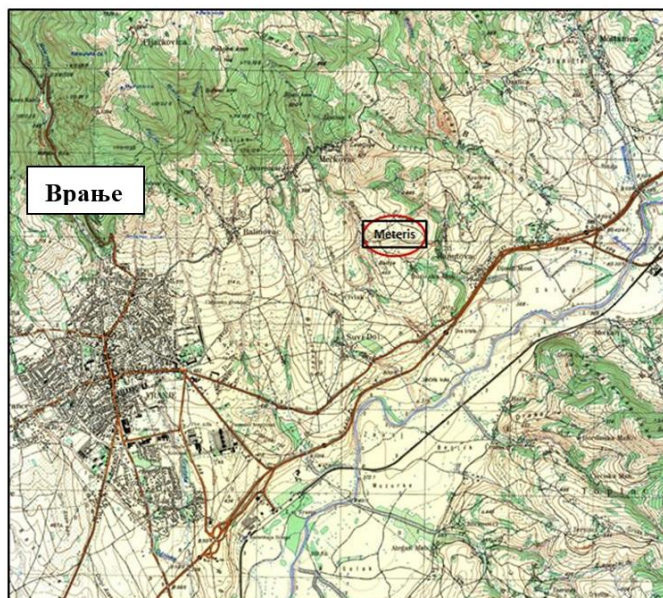
7.2. Санитарна депонија „Метерис“ у Врању

Врање је град у јужној Србији који представља седиште Пчињског округа. Према подацима из 2002. године, град Врање је имао 55.052 становника, док је укупан број становника у општини био 88.288. Град се налази у области Врањске котлине, уз Врањску реку, близу њеног ушћа у реку Јужну Мораву.



Слика 7.26 Географски положај града Врања

Локација Метерис се налази око 6 km источно од центра града Врања и приступ јој је могућ сеоским путем који пролази кроз село Ранутовац. Терен ове локације карактерише пад од севера ка југу, с тим што степен нагиба варира. Најмањи пад је источно од постојеће депоније. Равнији део терена налази се око 500 метара од ближих стамбених зграда. Такође, у близини се налазе и мале долине североисточно од ове локације [166]. На слици 7.27 приказана је макролокација депоније „Метерис“.



Слика 7.27 Макролокација депоније „Метерис“ [167]

Већина локације за потенцијални развој се простире на надморској висини између 460 и 530 метара. Постојећа депонија се налази на западном делу локације, с приступом са јужне стране. Овај приступни пут иде поред стамбених објеката који су удаљени око 400 метара од депоније. На слици 7.28 је приказан орто-фото снимак макролокације депоније „Метерис“.



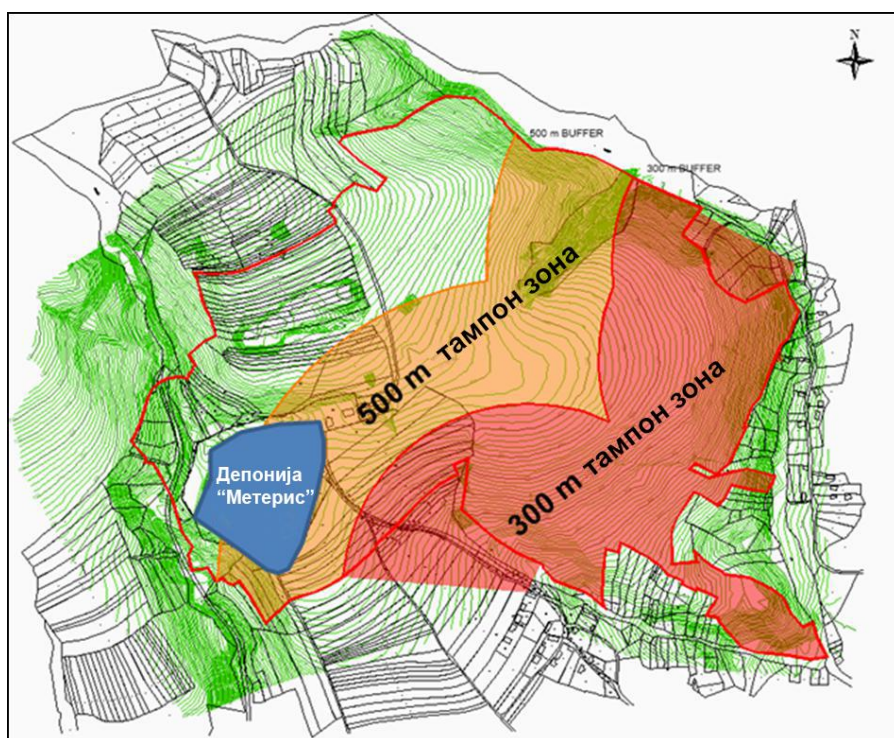
Слика 7.28 Орто-фото снимак макролокације депоније „Метерис“ [167]

Локација Метерис је на удаљености од 5.825 m од центра Враћа. Јужније од локације, на 1.250 m је пут који везује Враће и Врањску Бању. Југоисточно од Метерис депоније, на д 380 m је село Доринска Махала, док су прва насељена места Суви Дол и Ранутовац која су на удаљености од 1250 m.

Депонија "Метерис" се налази на надморској висини од 480 m. Висинска разлика у односу на град Враће је 15 m, док је у односу на Врањску Бању висинска разлика 64 m. Локација депоније се налази на левој страни Батлијског потока који је често без воде јер Пчињски округ припада подручју са ниском количином падавина, и само у веома кишним периодима има воде у потоку, Поток се улива у реку Јужна Морава на неких 1,6 km од локације депоније [168].

Локација депоније покрива површину од 6,23 ha, а само тело депоније 3,1 ha. У близини депоније, у кругу од 1,5 km, не постоје изворишта за водоснабдевање, културни споменици или заштићена природна добра. Такође, у кругу од 2 km нема медицинских установа, објеката прехранбене индустрије, железничких станица, културног наслеђа или споменика.

Између локације депоније и најближих кућа налази се зелени појас, што је приказано на слици 7.29.



Слика 7.29 Микролокација депоније „Метерис“ [169]

Далековод је удаљен 150 m. Нема оближњих приповршинских подземних вода.

7.2.1. Климатске, хидролошке и геоморфолошке карактеристике локације „Метерис“

У региону Враћа преовладава умерено континентална клима. Међутим, услед разноликости рељефа, постоје локалне климатске разлике. У котлинама се налази такозвана "жупска" клима, док су на вишим планинским врховима карактеристичне планинска или субпланинска клима. Пролеће и јесен су прелазна годишња доба у овом региону. Лета су углавном умерено до врло топла док су зиме, с друге стране, умерено хладне, што значи да су температуре релативно благе у поређењу са оштријим континенталним зимама.

Температура- У граду Враће, средња годишња температура ваздуха је око 10,8 °C. Најхладнији месец у години је јануар, са просечном температуром од -0,7 °C, док је јул најтоплији месец са просечном температуром од 20,7 °C. Годишња амплитуда температуре, која представља разлику између најниже и највише просечне месечне температуре, износи

око 21,4 °C [166]. У табели 7.6 приказане су средње и екстремне вредности температуре у граду Врање.

Табела 7.6 Средње и екстремне вредности температуре-станица Врање [166]

	јан	феб	мар	апр	мај	јун	јул	авг	сеп	окт	нов	дец	год
Средња макс	3	6.2	11.3	16.7	21.6	24.8	27.3	27.6	24	18	10.6	4.6	16.3
Средња мин	-3.9	-1.8	1.3	5.4	9.6	12.6	13.9	13.8	10.5	6	1.8	-2.2	5.6
Нормална вредност	-0.7	2	6.1	11	15.6	18.6	20.7	20.6	16.9	11.6	5.9	1	10.8
Апсолутни макс	16.1	21.7	26	31.5	32.4	37	39.7	38	35.6	30.6	25	16	39.7
Апсолутни мин	-25	-22	-13	-4.3	0	2.3	5	4.5	-2.4	-7	-12.6	-17.7	-25
Ср.бр. мразних дана	24	18.4	10.9	1.5	0	0	0	0	0.1	2.6	10.3	20.9	88.7
Ср.бр. тропских дана	0	0	0	0	0.5	2.6	8.4	10	2.6	0.1	0	0	24.2

Ова значајна разлика у температурама током године и износ екстремних температура сугеришу на типично континенталне карактеристике климе у овом региону. Континентална клима карактерише се већим годишњим амплитудама температуре и израженијим разликама између топлих и хладних периода године.

Падавине- У региону Врања, просечна годишња количина падавина износи око 647 mm, а просечан број дана са падавинама у току године је 138,6. Ове вредности нису посебно високе, указујући на умерено влажну климу. Месец са највећом количином падавина је јуни, са просечном количином од 70,9 mm, док јануар има највећи број падавинских дана, укупно 14 дана. С друге стране, јануар је месец са најмањом количином падавина (41,4 mm), а август и септембар имају најмањи број дана са падавинама, само 8 дана у сваком месецу. У табели 7.7 приказане су средње и екстремне вредности падавина у граду Врање.

Табела 7.7 Средње и екстремне вредности падавина- станица Врање [166]

	јан	феб	мар	апр	мај	јун	јул	авг	сеп	окт	нов	дец	год
Ср. месечна сума (mm)	41.4	43.4	46	51.7	65	70.9	50.4	38.7	45.4	46.2	62.9	52	647
Макс. дневна сума (mm)	39.9	29.7	43.1	32	34.7	51.3	61.7	73.6	73.8	56	44.6	27.3	73.8
Ср. бр. дана ≥ 0.1 (mm)	14.1	13.3	12.8	13	13.7	12.7	8.1	7.7	7.5	8.4	12.3	15	138.6
Ср. бр. дана ≥ 10 (mm)	0.8	1.1	1.3	1.7	2.1	2.1	1.7	1.3	1.4	1.5	2.2	1.3	18.5
Бр. дана са снегом	11.7	9.3	6.1	0.8	0	0	0	0	0	0.3	3.2	8.8	40.2
Бр. дана са снежним покривачем	15.1	10.4	3.7	0.1	0	0	0	0	0	0.1	3.1	10.7	43.2
Бр. дана са маглом	6.1	3.8	1.2	1.3	3	2.8	2.1	2.7	5.1	6.9	6.9	8.4	50.3
Бр. дана са градом	0	0	0	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0	0	0.1	0	1.4

Просечно, у току године има 18,5 дана са јаким падавинама, односно са количином преко 10 mm. Што се тиче снега, он пада од октобра до маја, с просечним годишњим бројем од око 40 дана, и траје у просеку 43 дана годишње.

Максимум падавина у овом региону се јавља у периоду од априла до јула, након чега следи сувљи период који траје од августа до септембра.

Метеоролошки подаци за Врање показују пораст просечне годишње количине падавине. Просечна годишња количина падавина период 2010. – 2019. измерена је до 647 mm. Година са највише падавина у последњих десет година била је 2014. са 898 mm што је приказано у табели 7.8.

Табела 7.8 Годишњи подаци о падавинама за град Врање [167]

Година	Падавине (mm)
2010.	832.5
2011.	335.9
2012.	335.9
2013.	605.1
2014.	898.1
2015.	682.2
2016.	809.9
2017.	611
2018.	647.4
2019.	506.5
Просек	647.72

За израчунавање количине процедних вода на депонијама, јако су важни подаци о падавинама како би се добили што прецизнији прорачуни о процедурним водама.

Геоморфолошка и хидролошка својства терена- У току геотехничких истраживања извршено је бушење шест истражних бушотина, чије су дубине варирале од 6 до 20 метара испод нивоа терена.

Кроз лабораторијску анализу узорак земљишта добијених из ових бушотина, дошло се до закључка да је терен изграђен од миоплиоценских седименета који се састоји од шљунка, песка и глине у њиховом међусобном смењивању. Површински слој земљишта на локацији углавном чини нископластична неорганска глина. Ова глина је обогаћена хумусом и има разноврсан гранулометријски састав, укључујући честице које варирају од прашине до песка, а простиру се до дубине од око 3-4 m. Испод овог слоја глине, у дубљим слојевима земљишта, налазе се слојеви шљунка, затим и слојеви песка.

Током ових истраживања утврђено је да је коефицијент пропустљивости глине који је забележен на овој локацији и он се кретао у распону од 10^{-3} cm/s до 10^{-7} cm/s. Овакав

коэффициент пропустљивости указује на то да не постоји ефикасна баријера која би спречила загађење евентуалних подземних вода.

Коефицијенти филтрације терена на испитиваној локацији су следећи [166]:

- Глине на испитиваном терену не поседују услове за формирање издани - $K_f = 10^{-5} \text{ cm/s}$ - 10^{-6} cm/s (што одговара водонепропусним седиментима),
- Пескови $K_f = 10^{-4} \text{ cm/s}$ - 10^{-6} cm/s , (што одговара полуводопрпусним до водонепропусним седиментима).
- Подинске високопластичне глине имају вредности коефицијената филтрације реда величине $K_f = 1,21 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ до $2,72 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ (што одговара водонепропусним седиментима).

Током извођења истражних радова на локацији, постављено је шест пијезометара. У кишним периодима, површинске воде пониру и напајају подземље, тако да је констатовано да се загађење које настаје на депонији може потенцијално проширити и до локалних изворишта воде, које су лоциране на котама нижим од локације.

У хипсометријски најнижем делу терена, у изведеној истражној бушотини (449,97mm) утврђено је присуство подземне воде са нивоом од 19 до 20 m, односно котом нивоа подземне воде од 430, 77mm. Локација депоније припада 9° Меркалијеве скале, па се из тог разлога ово подручје третира као турсно.

7.2.2. Опис локације санитарне депоније „Метерис“

Депонија "Метерис" представља прву санитарну депонију у Републици Србији, која је изграђена 2002. године и која служи потребама града Врања и Врањске Бање. Смештена је у североисточном делу града Врања, у подручју насеља Суви Дол и Ранутовац. Избор локације депоније је стратешки, у складу са потребама управљања отпадом у региону и захтевима за заштиту животне средине. Локација депоније карактерише се благим нагибом терена према потоку, што је значајно за процес одлагања отпада. Одлагање отпада се врши на терену који је специјално припремљен за ту сврху. На слици 7.30 приказан је изглед депоније „Метерис“.



Слика 7.30 Изглед депоније „Метерис“ [169]

Комплекс депоније "Метерис" је добро структуриран и обухвата различите зоне са укупном пројектованом површином од 62.250 (m²) и запремином од 254.000 m³. Детаљи о различитим деловима комплекса су следећи [167]:

1. Површина за депоновање отпада (тело депоније): Заузима 30.670 m², што је највећи појединачни део комплекса,
2. Манипулативно – опслужни плато: Ово подручје обухвата 3.800 m² и служи за манипулацију и опслуживање депоније,
3. Плато са постројењем за пречишћавање отпадних вода: Покрива 600 m² и важан је за обезбеђивање еколошки прихватљивог управљања отпадним водама,
4. Комуникације (саобраћајнице): Обухватају 1.860 m², омогућавајући приступ и транспорт унутар комплекса,
5. Рециклажни плато: површина од 1.000 m²,
6. Радна зона: простире се на 37.930 m², укључујући све оперативне активности депоније,
7. Заштитно зеленило: Заузима 23.720 m² и служи као еколошка баријера и простор за зеленило,
8. Паркинг за путничка возила: Одвојени простор од 600 m² за паркирање,
9. Заштитна зона: простире се на 24.320 m², штитећи околину депоније.

Такође, комплекс је обезбеђен жичаном оградом висине 2,1 m са окцима пречника 50 m. Ова ограда спречава расипање отпада и неауторизовани улазак људи и животиња, што доприноси безбедности и контроли унутар комплекса.

7.2.3. Депоновање отпада на локацији „Метерис“

Одлагање отпада на депонији се врши по површини претходно припремљеног терена. Возило које довози отпад, пролази кроз капију и преко манипулативног платоа долази до позиције одређене за радну површину и истоварује отпад. Количина укупног отпада који се одлаже на депонији „Метерис“ у несабијеном стању износи 220,4 m³, док у сабијеном стању износи 74,52 m³. Средња густина отпада после сабијања компактором углавном износи 0.8 t/ m³. На основу претходних истраживања, утврђен је морфолошки састав комуналног отпада за подручје региона Врање и који се одлаже на депонију Метерис, и приказан је у табели 7.9.

Табела 7.9 Морфолошки састав комуналног отпада који се одлаже на депонију Метерис [145]

Компонента	Масени удео у укупној количини (%)
Баштенски отпад	10
Остали бпоразградив отпад	31.2
Папир/картон	8.1
Пластика	11.5
ПЕТ	4.4
Стакло	2.9
Текстил	1.4
Метал	2.1
Остало (укључујући и опасни отпад)	18.9

Према подацима из Регионалног плана управљања отпадом за Пчињски округ за период 2013-2023 године, на територији Града Врања годишње се генерише око 19.126 тона (t) комуналног отпада. У истом извештају наведено је да је услугом сакупљања отпада у Врању и Врањској бањи обухваћено око 90% становништва, што представља око 60% укупног становништва на територији Града Врања [145]. У табели 7.10 приказана је укупна количина депонованог отпада на депонији „Метерис“ за 2021. годину.

Табела 7.10 Укупна количина депонованог отпада на депонији „Метерис“ за 2021. годину [170]

2021	Комунални отпад		Комерцијални отпад		Индустријски отпад		Укупно депоновано	
	m ³	t	m ³	t	m ³	t	m ³	t
Јануар	5021	1596.7	630	97.0	742	114.3	6393	1808.0
Фебруар	5133	1509.2	663	102.1	854	131.5	6650	1742.8
Март	5981	1870.8	743	114.4	1015	156.3	7739	2141.5
Април	5915	1843.9	1148	176.8	1022	157.40	8085	2178.1
Мај	6032	1832.9	784	120.7	966	148.8	7782	2102.4
Јун	5797	1878.2	825	127.1	1162	178.9	7784	2184.2
Јул	6415	1639.0	773	96.4	994	120.8	8182	1856.2
Август	6484	1675.5	749	81.4	889	98.1	8122	1855.0
Септембар	6455	1776.4	770	66.2	966	97.9	8191	1940.5
Октобар	5711	1755.5	721	68.1	854	102.3	7286	1925.9
Новембар	6448	1669.7	812	65.9	924	90.3	8184	1825.9
Децембар	6064	1595.0	777	78.8	924	97.2	7765	1771.0
Укупно	71456	20642.8	9395	1194.9	11312	1493.8	92163	23331.49

Одређена насеља која се налазе у околини Врања, као и неки делови самог града, посебно на периферијама где инфраструктура није развијена, нису покривена услугама сакупљања отпада. На депонији "Метерис", процес одлагања отпада је веома организован и систематичан. Отпад који стигне на депонију се прво распоређује и изравнава у слојевима дебљине од 0,1 до 0,2 m помоћу булдожера. Након тога се компактором отпад сабија до потребне густине. После сабијања једног слоја, компактор додатно распрострањује нови танак слој отпада преко већ изравнане површине и сабија га. Овај процес се наставља док се не постигне жељена висина радног слоја.

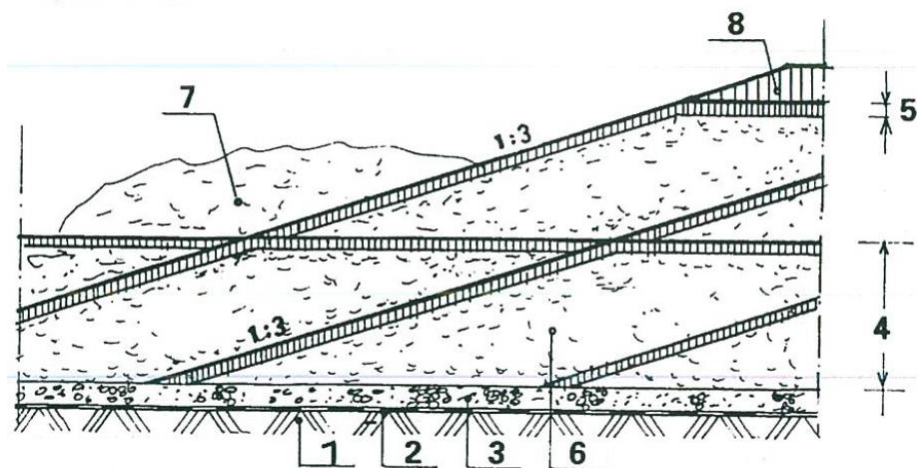
Када се цео радни слој формира, на његову горњу површину се разастире слој прекривног материјала дебљине 0,20 m, а на бочним странама 0,6 m. Свака ћелија отпада се формира на крају радног дана. Током дана, сав отпад који се изравна и сабије на радној површини на крају се покрива инертним материјалом који се такође сабија, чиме се формира једна ћелија. Ове ћелије у једном хоризонталном реду чине слој висок око 2,5 m [171].

Димензије ћелије са прекривним материјалом су 6,3 m x 6,3 m x 2,5 m. План попуњавања депоније строго дефинише редослед ћелија и слојева који се дневно попуњавају, а сама депонија се развија одоздо према горе, почевши од најниже тачке депоније и напредујући ка највишој [167].

7.2.4. Тело санитарне депоније „Метерис“

Тело депоније „Метерис“ заузима средишњи део комплекса и простире се у смеру од југа ка северу. Нагиб депоније, под којим се отпад одлаже, је 1:3, што обезбеђује стабилност тела депоније, али и безбедну манипулацију и кретање механизације. Прилаз до тела депоније је са манипулативно-опслужног платоа, саобраћајницом која повезује плато са системом за пречишћавање отпадних депонијских вода.

На депонији "Метерис", као начин контролисаног одлагања неопасног отпада, је такође примењена "сендвич" технологија, односно систем слој по слој, што је приказано на слици 7.31.



Слика 7.31 Пресек кроз тело депоније „Метерис“ 1. Збијени слој тла; 2. HDPE фолија; 3. Дренажни слој шљунка; 4. Висина ћелије (слоја); 5. Висина прекривног материјала; 6. Ћелија; 7. Радно чело; 8. Завршни рекултивациони слој [171]

Изолација дна и косина формираног корита тела депоније изведена је такође са циљем да се спречи миграција течних вода и продирања гасова из депоније у земљиште и њихово неконтролисано ослобађање у околину.

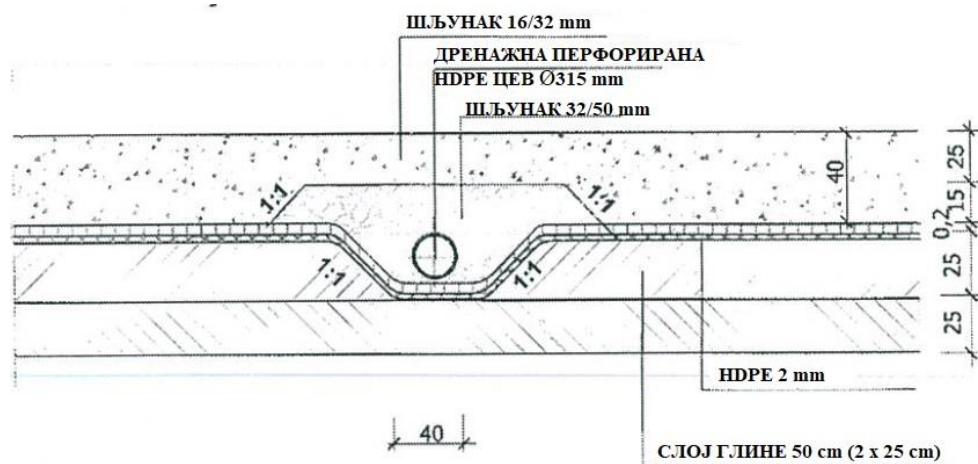
7.2.4.1. Системи заштите локације „Метерис“

Систем заштитних баријера дна депонијског тела се састоји од следећих слојева [171]:

1. слоја глине по дну тела депоније,
2. слоја HDPE фолије, обострано глатке,
3. слој каменог агрегата фракције 16-32 mm дебљине $d = 30 - 50$ cm.

На дну тела депоније је збијени слој тла и глине, затим је постављена је HDPE фолија са глатком горњом и доњом површином, дебљине 2 mm. Након полагања фолије на дно депоније, варење је извршено специјалном машином тако да су делови фолије спојени тако да преклоп има ширину минимално 10 cm. Варење трака фолије је вршено дворедно, а квалитет је испитиван тако што је вршено убацивање ваздуха под притиском у простор између варова.

Преко HDPE фолије постављен је дренажни слој шљунка у који су постављене цеви за дренажу и прикупљање процедних депонијских вода пречника Ø315 mm. Дренажни слој има двоструку улогу, прво, служи као слој за филтрирање процедних вода, и друго, као заштитни слој за цеви и фолију од притиска или од других непредвиђених оптерећења. На слици 7.32 приказан је детаљ полагања дренаже у тело депоније.



Слика 7.32 Детаљ полагања дренаже у телу депоније „Метерис“ [171]

Као што је приказано на слици 7.32 на само дно депоније постављен је слој глине дебљине 50 cm, затим заштитна HDPE фолија дебљине 2 mm и преко тога филтрациони слој шљунка који је дебљине од 30 cm до 50 cm у који су постављене дренажне цеви. Изнад и око дренажних цеви ручно је сложен крупни шљунак, а потом су постављена и три филтерска слоја одговарајуће гранулације. Након тога се одлаже отпад правећи висину слоја од 2,5 m, преко кога се поставља рекултивациони слој у висини од 50 cm.

7.2.4.2 Дренажни систем локације „Метерис“

На комплексу депоније постављене канализационе мреже за [171]:

1. атмосферске воде,
2. процедурне воде са тела депоније и
3. санитарно-фекалне воде.

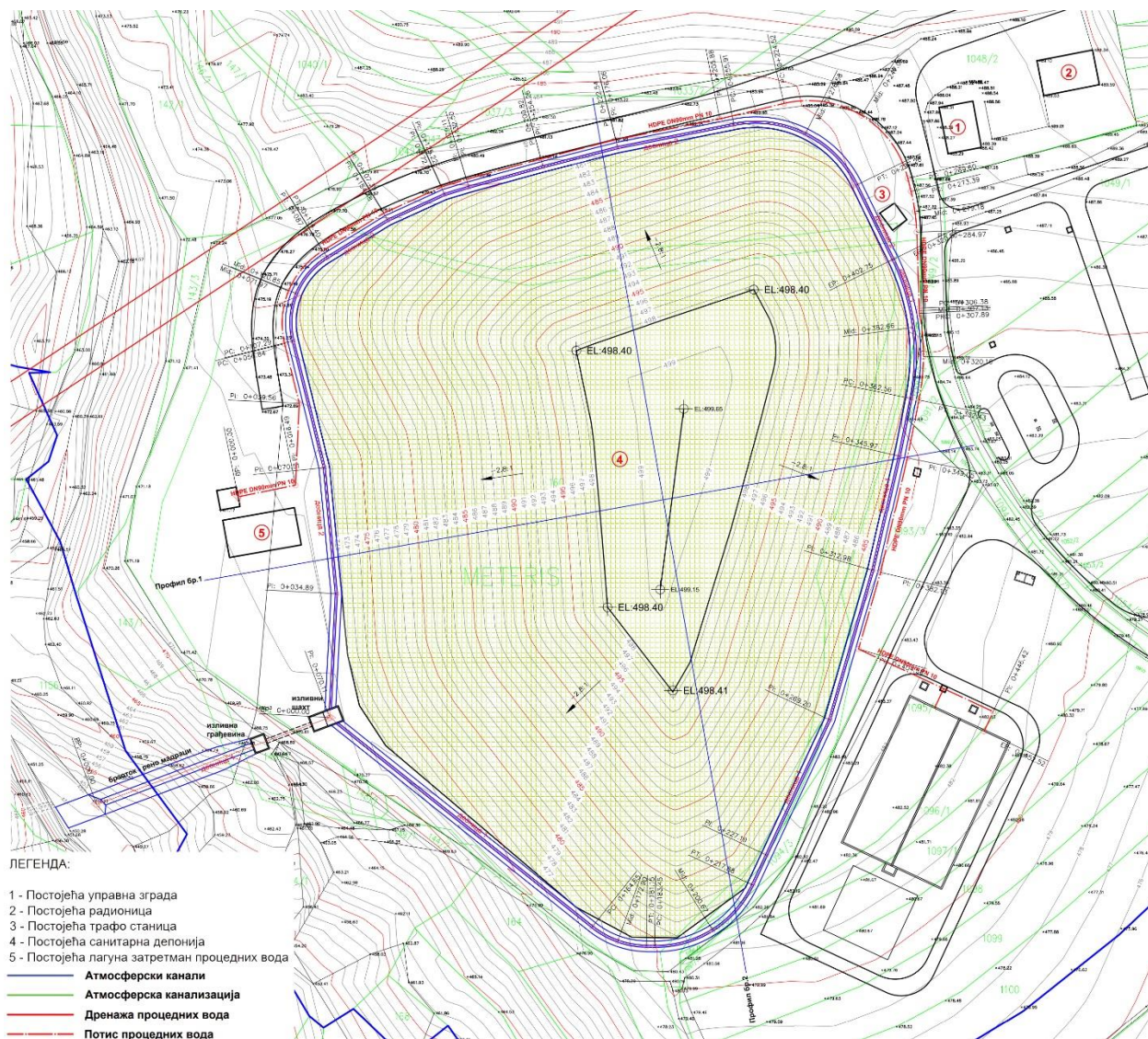
На комплексу депоније имплементиран је систем за сакупљање и управљање атмосферским водама.

Атмосферска вода са заштитног појаса депоније, због великог пада, слива се у ободни канал између манипулативно услужног платоа и тела депоније, који контролисано прикупља атмосферске воде и спроводи их системом сливника и атмосферске канализације директно у најнижу тачку депоније, одакле се путем дренажне канализације спроводи у сабирни шахт. Овај канал служи и као путни јарак уз интерну саобраћајницу, лоциран на северној страни саобраћајнице.

Атмосферска вода се из отвореног канала, близу места где интерна саобраћајница скреће према југу, усмерава у двокоморни шахт. Прва комора овог шахта функционише као сепаратор масти и уља и таложник за неорганске материје. Одатле се вода преводи у другу комору, која је разделни шахт. Из разделног шахта, један крак цевовода води испод коловоза до најближег шахта фекално-техничке канализације. Овај крак је предвиђен за потребе разблаживања загађених вода. Други крак цевовода води атмосферске воде које су пречишћене у претходној комори, у суву јаругу која се налази источно од депоније.

Процурне отпадне воде са депоније "Метерис" се сакупљају и одводе коришћењем специјализованог дренажног система. Овај систем укључује дренажне цеви направљене од керамике и обложене филтерским слојем састављеним од три различите фракције: пречника 50 mm, 10 mm и 2 mm, постављеним изнад цеви. Поред тога, постоји и дренажни слој дебљине 0,30 метара направљен од природне мешавине песка и шљунка, који се налази на дну и бочним странама дренажног система.

Овај ефикасно дизајниран систем дренаже сакупља процедурне воде и води их до сабирног шахта. У овом шахту, процедурне воде се мешају са фекално-техничким водама, које долазе из службених просторија и сервиса за прање и дезинфекцију, и које се такође одводе помоћу фекално-техничке канализације. Након што се ове две врсте вода сједине у сабирном шахту, оне се затим помоћу пумпе доводе до аерационе лагуне. На слици 7.33 приказан је потис и дренажање процедурних депонијских вода са тела депоније.



Слика 7.33 Процедне и атмосферске воде са депоније „Метерис“ [166]

На комплексу депоније "Метерис" реализована је и канализациона мрежа намењена каналисању фекалних и техничких отпадних вода. Ова мрежа омогућава да се отпадне воде одводе до сабирног шахта, у којем је инсталирано пумпно постројење. Одатле се воде, заједно са процедним водама са депоније, одводе до постројења за пречишћавање.

Фекалне воде из објекта за особље, чија је процењена количина $1,58 \text{ m}^3/\text{dan}$, одводе се помоћу канализационих цеви које су постављене са одговарајућим падом. Техничке воде које настају од прања и дезинфекције возила, процењене на $17,0 \text{ m}^3/\text{dan}$, пре уласка у канализациони систем пролазе кроз механички третман у сепаратору. У овом процесу, масти и уља се издвајају, а неоргански материјали као што су блато, земља и песак, који

настају од прања возила, таложе се на дну. Отпадна вода са отвореног простора за прање возила се сакупља у бетонски канал, који је покривен типском ливено-гвозденим решетком, а затим се одводи у систем фекално-техничке канализације [171].

7.2.5 Мониторинг рада депоније

На локацији депоније „Метерис“ програм мониторинга квалитета животне средине састоји се од свакодневне визуелне контроле :

- истоварене количине отпада и врсте допремљеног отпада,
- квалитета спровођења технолошког процеса експлоатације депоније,
- одржавање депоније и њених саобраћајница,
- квалитета одржавања транспортних возила,
- присуства узрочника потенцијалних зараза.

Поред визуелних контрола, врши се и мониторинг животне средине путем лабораторијских мерења и анализе узорака на основу којих се региструје:

- количина и састав процедурних депонијских вода,
- квалитет подземних вода,
- састав и количина депонијског гаса.

Мониторинг количине и састава процедурних депонијских вода врши се на основу узорака прикупљених процедурних вода пре уласка у аерациону лагуну, свакодневно или повремено за основне параметре процеса а то су: температура на улазу у аерациону лагуну и температура околног ваздуха (једном дневно), рН вредности на улазу и излазу из аерационе лагуне (једном дневно) и ВРК на улазу и излазу из аерационе лагуне (минимум једном недељно). Остала лабораторијска мерења врше се углавном квартално где се одређује присуство нутријената, салинитета, метала и осталих релевантних параметара.

Мониторинг подземних вода- врши се на основу узорака воде из три пијезометра који су постављени један изнад тела депоније, један низводно од депоније и један југозападно од тела депоније према јарузи, а у близини ограде.

Мониторинг депонијског гаса- врши се једном у три месеца и то на основу праћења количина метана (CH₄), угљен диоксида (CO₂) и азота (N₂).

7.2.6. Резултати количине и састава депонијских процедурних вода на депонији „Метерис“

Просечна дневна количина процедурне воде рачуна се према обрасцу [171]:

$$Q_{dp} = \frac{k P_m}{30} \quad (7.4)$$

Где је:

Q_{dp} - просечна дневна количина процедурне воде, m^3/dan ,

k - коефицијент способности апсорпције падавина,

P_m - укупна месечна количина падавина на дату површину депоније, $m^3/месец$.

Максимална дневна количина процедурне воде на локацији „Метерис“ рачуна се према обрасцу [171]:

$$Q_{dm} = k P_{dm} \quad (7.5)$$

P_{dm} - максимална дневна количина падавина на дату површину депоније.

Усвојена укупна површина тела депоније је $F = 30.670 m^2$. Просечна месечна количина падавина, добијена на основу просечне годишње количине падавина (0,647 м/год)

$$i_1 = \frac{0.647}{12} = 0.0539 m/mesec \quad (7.6)$$

Усвајајући да је вредност коефицијента апсорпције k при просечним падавинама $k_1 = 0.18$ и при максималним падавинама $k_2 = 0.04$ [171], за укупну површину фазе депоније „Метерис“, израчуната је просечна дневна количина процедурне воде и износи [171]:

$$Q_{dp} = \frac{k_1 \cdot F \cdot i_1}{T} = \frac{0.18 \cdot 30670 m^2 \cdot 0.0539 m/mesec}{30} = 9.92 m^3/dan \quad (7.7)$$

Максимална дневна количина процедурне воде на депонији „Метерис“ израчунава се на основу максималне дневне количине падавина $i_2 = 0.0738 m/dan$ и износи [171]:

$$Q_{dmax} = k_2 \cdot F \cdot i_2 = 0.04 \cdot 30670 m^2 \cdot 0.0738 m/dan = 90.5 m^3/dan \quad (7.8)$$

Узорковање отпадних процедних вода са тела депоније „Метерис“ вршило се на сабирном шахт – пре третмана и аерациони базен , а испитивања су се одвијала у лабораторији на самој депонији.

Испитивање састава процедних депонијских вода са депоније „Метерис“ вршено је на основу Правилника [66], који се односи на квалитет отпадних вода и на основу Уредбе [70], која се односи на граничне вредности емисија у отпадне воде.

Начин узорковања и руковање узорком вршено је методама:

- SRPS EN ISO 5667-1:2008 - квалитет воде- Узимање узорка- део 1: смернице за израду програма узимања узорка и поступке узимања узорка,
- SRPS EN ISO 5667-3:2017 квалитет воде- узимање узорака, део 3: смернице за заштиту и руковање узорцима воде,
- SRPS EN ISO 5667-10:2017 2008, квалитет воде- узимање узорака- део 10: смернице за узимање узорака отпадних вода.

Опрема за узорковање је телекопски узоркивач и пластична кофа са широким грлом од инертног материјала.

У табели 7.10 приказане су концентрације компонената процедне воде на санитарној депонији „Метерис“.

Табела 7.11 Концентрације компонената процедне воде на санитарној депонији „Метерис“ [172]

Година	2018.				2019.				2020.				2021.				2022.			
Параметар																				
	1.квартал	2.квартал	3.квартал	4.квартал	1.квартал	2.квартал	3.квартал	4.квартал	1.квартал	2.квартал	3.квартал	4.квартал	1.квартал	2.квартал	3.квартал	4.квартал	1.квартал	2.квартал	3.квартал	4.квартал
Температура воде, °C	/	9	19	18.5	9	13.5	15	10	/	10	15	17	11	15	20	14	5	6.1	20.4	14
pH	9.2	9.3	9.1	9	9	9.1	9.4	9.1	/	8.6	9	9.3	9.17	9.26	9.39	9.36	6.8	9	9.35	9.14
Суспендоване материје	892	916	184.8	234	234	260	198	191.8	/	374	1930	421	379	224	170	219.6	162	24.6	142	187
Седименте материје	0.6	0.6	1.6	1.4	0.7	0.5	0.6	0.5	/	0.3	0.4	0.4	0.4	0.2	0.1	2	7	0.5	0.3	0.8
Укупна минерализација	4998	9305	10805	8681	2582	3214	2983	3189	/	5873	5343	4094	5678	4003	3541	6623	4053	1450	2691	2871
ВРК ₅ , mg O ₂ /l	231	246	254.3	203.9	142.8	127	553	567.8	/	529	612.2	278	215.2	218	171	255.9	365	267	178	117.6
НРК ₅ mg O ₂ /l	1279. 2	2460	1920	2952	688.8	936	2952	1968	/	2952	4920	1968	1895	1180. 8	1290. 4	2460	3936	690.4	688.9	984
Растворени кисеоник	<1	<1	<1	<1	1.25	1	3.5	2.7	/	2.1	3.3	2	1.4	1	1	1.5	0.6	0.9	2.5	2.1

Укупан азот, mg N/l	148.4 5	204.7	932.7	660.7 1	741.8	655.8	695.5 7	241.8	/	578.6	464.4 7	538.4	184.8 1	161.8 8	169.3 5	157.6 1	960.5 1	123.3 9	77.42	24.17
Нитрити,mgNO ₂ - l	5.6	10.7	3.51	12.13	5.07	5.07	4.51	6.77	/	4.2	6.151	0.338	0.59	0.58	0.85	0.672	37.2	0.151	0.15	0.179
Нитрати,mgNO ₃ - l	127.1	180.5	904	632.8	723.2	632.8	542.4	136.8	/	380	290.4	452	161.8	122.6	139.9 4	144.6	135.3	105.6 7	72.32	19
Амонијум јон, mg NH ₄ -N/l	15.75	13.5	25.2	15.8	13.5	19.1	148.6 6	98.3	/	194.4	167.9	86.1	22.4	38.7	28.56	12.34	787.7	17.57	4.95	4.95
Укупан фосфор, mg P/l	11.6	11.5	7.48	4.91	9.28	10.4	7.59	8	/	5.6	12.3	6.4	6.8	6.8	4.6	7.06	7.96	7.17	13	15.8
Водоник сулфид (H ₂ S)	0.83	2	0.84	0.305	0.83	1.86	0.364	0.72	/	0.38	1.62	1.15	0.586	4.91	1.61	4.9	0.763	0.073	0.658	0.56
Сулфатих	272.3	226.9	319.6	308.9	112.9	140	399.4	344.7	/	420.8	471.4	344.6	179.8	156.4	277	240.2	220.2	98.4	90	32.5
Флуориди, F-x	13.71	15.5	14.3	7.07	1.81	1.6	9.33	2.9	/	5.09	5.7	2.35	3.3	24.4	20	31.1	20	2.85	4.57	7.74
Електропроводљ ивост, μS/cm	8420	1687	14010	11510	4820	6260	5000	4780	/	7061	10260	8032	8780	7000	6692	10004	7400	2610	4820	4380
Цијаниди	0.042	0.05	0.09	0.068	0.066	0.043	0.88	0.078	/	0.37	0.35	0.22	0.69	6.39	0.06	0.09	0.078	0.069	0.207	0.077
Арсен, Asx	0.05	0.05	/	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	/	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	0.05	/	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Кобалт, Со	/	/	/	/	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	/	<0.05	<0.05	<0.05	/	/	/	0.1	0.08	0.05	<0.05	0.05
Бакар, Сих	0.1	0.13	0.55	0.2	0.06	<0.03	0.25	0.06	/	0.32	0.23	0.21	0.32	0.03	0.14	0.07	<0.03	0.06	1	1.63

Баријум, Вах	0.5	0.5	/	/	<0.05	0.5	<0.05	0.44	/	0.5	<0.05	<0.5	/	/	/	0.2	0.4	0.05	<0.05	0.05
Цинк, Znx	0.25	0.28	0.71	0.51	0.1	0.2	0.3	0.17	/	0.56	0.3	0.28	0.35	0.05	0.25	0.3	0.14	0.11	0.15	0.11
Хром укупни, Cr	0.6	0.98	1.6	0.6	0.02	0.02	0.25	0.77	/	1.8	1.5	1.64	2.3	0.85	1.52	1.73	1.8	0.03	<0.02	0.02
Кадмијум, Cdx	0.002	0.002	0.002	0.002	<0.00 2	<0.00 2	<0.00 2	<0.00 2	/	<0.00 2	<0.00 2	<0.00 2	0.007	0.002	/	0.02	0.02	0.02	<0.02	0.04
Никл, Nix	0.11	0.15	0.45	0.26	0.3	0.2	0.21	0.19	/	0.22	0.2	0.23	0.21	0.02	0.23	0.3	0.08	0.07	0.07	0.18
Гвожђе укупно, Fe	1.66	2.16	11.4	12.2	0.3	1.4	2.6	1.6	/	2.4	2.6	2.25	2.7	0.1	2.29	2.9	4	0.16	1.3	1.33
Манган укупни, Mn	0.26	0.25	/	/	<0.05	<0.05	0.28	0.15	/	0.3	<0.05	<0.05	/	/	/	0.3	0.24	0.05	0.09	0.26
Калај, Sn	/	/	/	/	<0.05	<0.5	0.5	0.5	/	<0.5	<0.5	<0.5	/	/	/	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5
Олово, Pbх	0.01	0.01	0.05	0.03	<0.1	<0.1	0.1	0.1	/	<0.1	0.1	0.1	0.2	0.02	0.02	<0.02	0.07	0.02	<0.02	0.1
Жива, Hgx	0.001	0.001	0.001	0.001	<0.00 1	<0.00 1	<0.00 1	0.002	/	<0.00 1	<0.00 1	0.05	0.001	0.001	0.005	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5	<0.00 5
Феноли	0.45	0.498	1.8	1.64	1.88	4.1	2.47	1.96	/	1.32	1.55	1.81	1.62	4.35	3.26	3.92	3.08	0.812	0.658	0.665

/ -нема доступних података

У табели 7.4 приказане су измерене вредности 32 параметара депонијске процедурне воде са депоније „Метерис“.

За даљу анализу састава депонијских процедурних вода на депонији „Метерис“ изабран је део параметара који има забележену велику присутност у процедурним водама, значајност и утицај на животну средину.

У дисертацији је анализирано 14 репрезентативних параметара, из групе:

5. органских супстанци:

- феноли;

6. нутријената:

- укупни азот,
- нитрати,
- нитрити.

7. салинитета:

- сулфати,
- цијаниди,
- флуориди.

8. метала:

- арсен,
- хром укупни,
- никл,
- гвожђе,
- манган,
- олово и
- жива.

Анализа параметара вршила се упоређивањем граничних вредности емисије процедурних вода дате Уредбом [70] и измерених максималних вредности, добијених у току извештајних година.

3.2.6.1. Анализа концентрација параметара процедурних вода на депонији „Метерис“

Промене концентрација компонената у процедурној води на депонији Метерис праћене су у временском периоду од 2018. године до 2022. године. Измерене максималне вредности у поменутом периоду приказане су у табели 7.12.

Табела 7.12 Максималне измерене вредности појединих компоненти на депонији „Метерис“

Поједине компоненте процедурних вода	Измерене вредности					ГВЕ ¹
	2018	2019	2020	2021	2022	
Укупни азот	932.7	695.57	578.6	184.8	960.5	70
Нитрити	12.13	6.77	6.151	0.85	37.2	2
Нитрати	904	723.2	452	161.8	135.3	70
Флуориди	15.5	9.33	5.7	31.1	20	50
Сулфати	319.6	399.4	471.4	277	220.2	400
Цијаниди	0.09	0.88	0.37	0.69	0.207	0,2
Феноли	1.8	2.47	1.81	4.35	3.08	50
Арсен	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1
Хром	1.6	0.77	1.8	2.3	1.8	0,5
Никл	0.45	0.3	0.23	0.23	0.18	1
Гвожђе	12.2	2.6	2.6	2.9	4	200
Манган	0.26	0.28	0.3	0.3	0.26	5
Олово	0.05	0.1	0.1	0.2	0.1	0.5
Жива	0.001	0.002	0.05	0.005	0.005	0.05

Концентрације укупног азота- максимална концентрација укупног азота измерена је у 2019. години и тада је износила 960.5 mg/l. Према Уредби [70], гранична вредност емисије ове компоненте је 70 mg/l. Како је приказано на слици 7.34, измерене вредности максималних концентрација премашују граничну вредност емисије у свим извештајним годинама.



Слика 7.34 Максималне годишње вредности концентрације укупног азота у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

У 2018. години максимална вредност концентрације укупног азота је виша у односу на граничну вредност емисије 13,3 пута, у 2019. години 9,9 пута, у 2020. години 8,3 пута, у 2021. 2,64 пута и 2022. године је виша 13,7 пута. Концентрације укупног азота генерално показују тренд опадања, јер су у 2., 3 и 4. кварталу 2022. године концентрације укупног азота испод 150 mg/l.

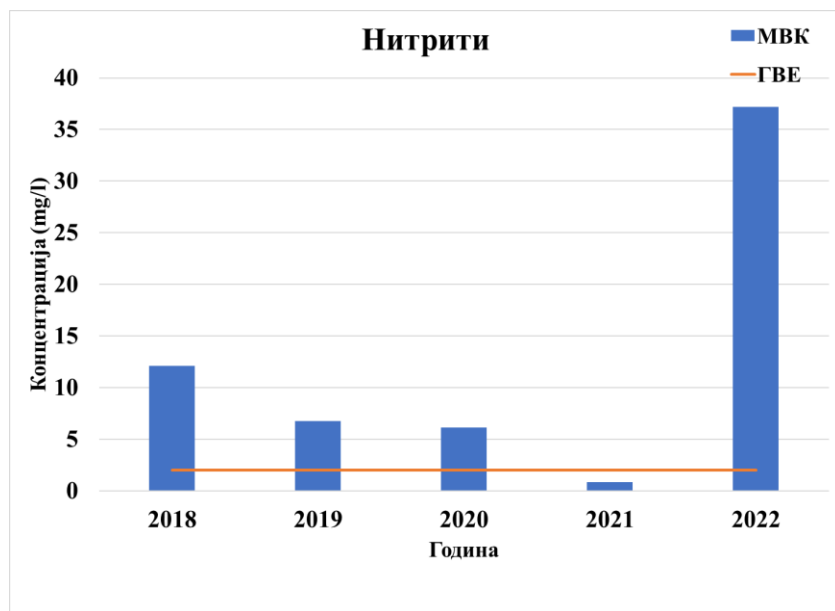
Концентрације флуорида- максимална концентрација флуорида измерена је у 2021. години и износи 31,1 mg/l. Према Уредби, гранична вредност емисије флуорида је 50 mg/l, тако да концентрације флуорида у процедурној води не прелазе ГВЕ ни у једној извештајној години. На слици 7.35 приказане су измерене вредности максималних концентрација флуорида у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.35 Максималне годишње вредности концентрације флуорида у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

У току извештајних година вредности компонената се крећу од минималних 5,7 mg/l у 2020. години до максималних 31.1 mg/l у 2021. години. У 2018. години забележена концентрација флуорида у процедурној води је била 15,5 mg/l, у 2019. години је 9.33 mg/l и у 2022. години је била 20 mg/l.

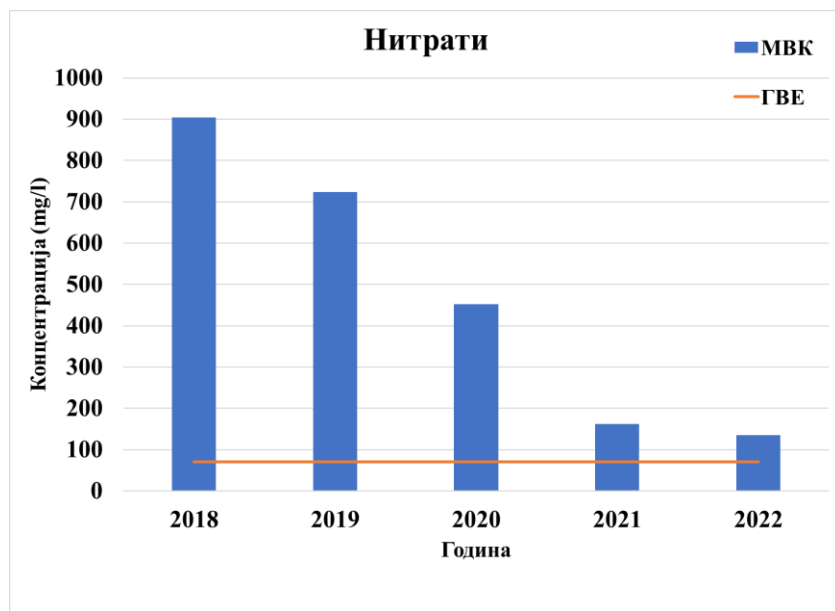
Нитрити- максимална концентрација нитрита измерена је у 2022. години и износи 37,2 mg/l. Према Уредби, гранична вредност емисије нитрита је 2 mg/l. На слици 7.36 приказане су измерене вредности максималних концентрација нитрита у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.36 Максималне годишње вредности концентрације нитрита у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Слика 7.36 приказује измерене вредности максималних концентрација нитрита које премашују граничну вредност емисије у четири од пет извештајних годинама. Вредности МВК нитрита у 2018., 2019., 2020. и 2022. години нису у дозвољеним границама и износе 12,13 mg/l, 6,77 mg/l, 6,151 mg/l и 37,2 mg/l, респективно. МВК нитрита су у односу на ГВЕ дате Уредбом повећане 6 пута у 2018. години, 3,38 пута у 2019. години, 3,07 пута у 2020. години и 18,6 пута у 2022. години. Само у 2021. години МВК нитрита не премашује ГВЕ и износи 0,85 mg/l.

Нитрати- у току извештајних година све измерене МВК нитрата прелазе дозвољену вредност од 70 mg/l која је дата Уредбом. У 2018. години забележена је највиша концентрација нитрата од 932,7 mg/l. На слици 7.37 приказане су измерене вредности максималних концентрација нитрата у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.37 Максималне годишње вредности концентрације нитрата у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

На слици 7.37 се јасно види да концентрације нитрата прелазе дозвољену границу, према Уредби, за свих пет извештајних година. У 2018. години измерена МВК је 904 mg/l што је 12,9 пута више у односу на ГВЕ. У 2019. години измерена МВК нитрата је 723,2 mg/l и виша је у односу на ГВЕ 10,33 пута. У 2020. години забележен је благи пад концентрације нитрата у процедурној води и износи 452 mg/l, што је 6,46 пута више у односу на ГВЕ. У 2021. и 2022. години концентрације нитрата показују значајан пад и износе 161,8 mg/l и 135,3 mg/l, респективно, што указује на повећану концентрацију нитрата у процедурним водама 2,3 пута у 2021. години и 1,9 пута у 2022. години.

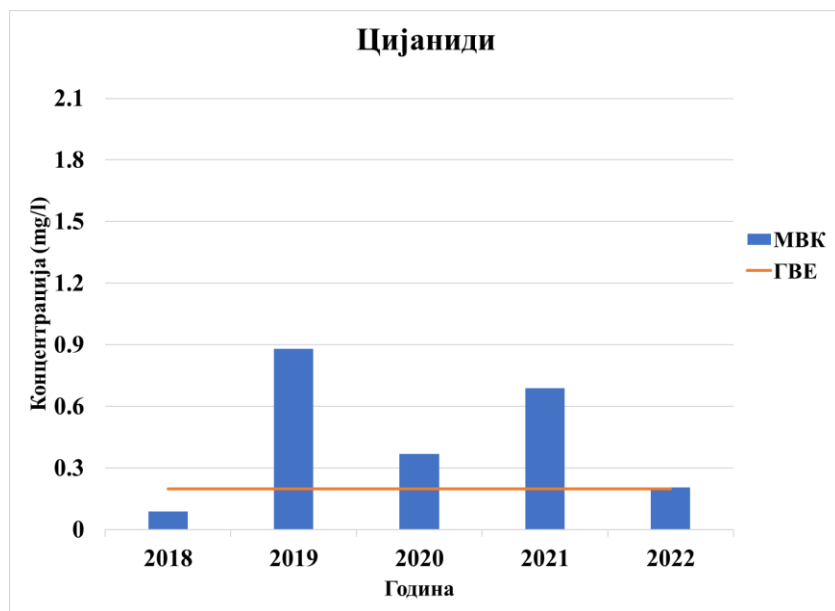
Сулфати- у 2020. години измерена је максимална концентрација сулфата од 471.4 mg/l. Уредба одређује граничну вредност емисије сулфата од 400 mg/l. На слици 7.38 приказане су измерене вредности максималних концентрација сулфата у односу на граничне вредности емисије.



Слика 7.38 Максималне годишње вредности концентрације сулфата у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Слика 7.38 приказује измерене вредности максималних концентрација сулфата које премашују граничну вредност емисије у две од пет извештајних година. Вредност MBK сулфата у 2018. години је у дозвољеним границама и износи 319,6 mg/l. Од тада се јавља тренд пораста концентрација сулфата. У 2019. години измерена MBK сулфата износи 399.4 mg/l што је на самој граници са ГВЕ која је дата Уредбом. У 2020. години концентрација сулфата у процесној води износи 471,4 mg/l, што је 1,18 пута више у односу на ГВЕ. У 2021. и 2022. години концентрације су испод 300 mg/l и не прелазе ГВЕ дате Уредбом.

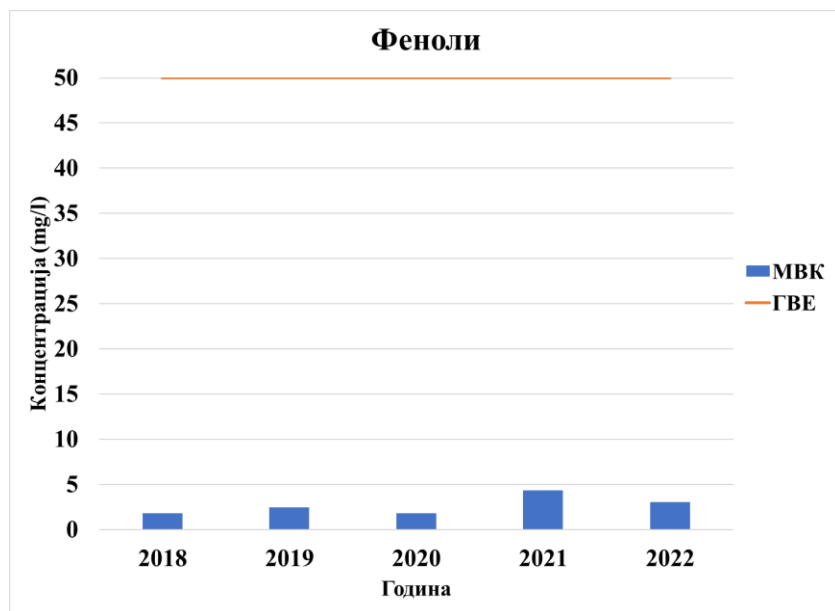
Цијаниди- максимална концентрација цијанида измерена је у 2019. години и износи 0.88 mg/l. Према Уредби гранична вредност емисије цијанида је 0,2 mg/l. На слици 7.39 приказане су измерене вредности максималних концентрација цијанида у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.39 Максималне годишње вредности концентрације цијанида у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

На слици 7.39 приказане су измерене вредности максималних концентрација цијанида које премашују ГВЕ у четири од пет извештајних година. У 2018. години измерена МВК износи 0,09 mg/l и не прелази ГВЕ дате Уредбом. До 2019. године забележен је тренд раста концентрације цијанида у процедурним водама и тада износи 0,88 mg/l што је више од дозвољене границе 4,4 пута. У 2020. години измерена МВК цијанида је 0,37 mg/l што је 1,85 пута више у односу на ГВЕ. У току 2021. године МВК цијанида је 0,69 mg/l и виша је од ГВЕ 3,45 пута. Измерена МВК у 2022. години је на самој граници и износи 0,207 mg/l

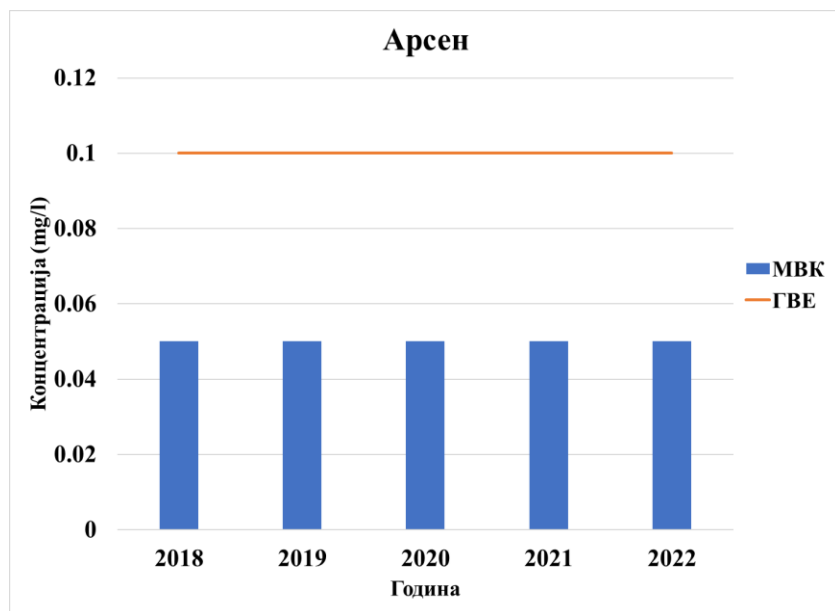
Феноли- измерене максималне вредности фенола у процедурним водама у свим извештајним годинама су врло ниске и у границама максимално дозвољених вредности. На слици 7.40 су приказане измерене максималне вредности у односу на ГВЕ која према Уредби износи 50 mg/l.



Слика 7.40 Максималне годишње вредности концентрације фенола у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

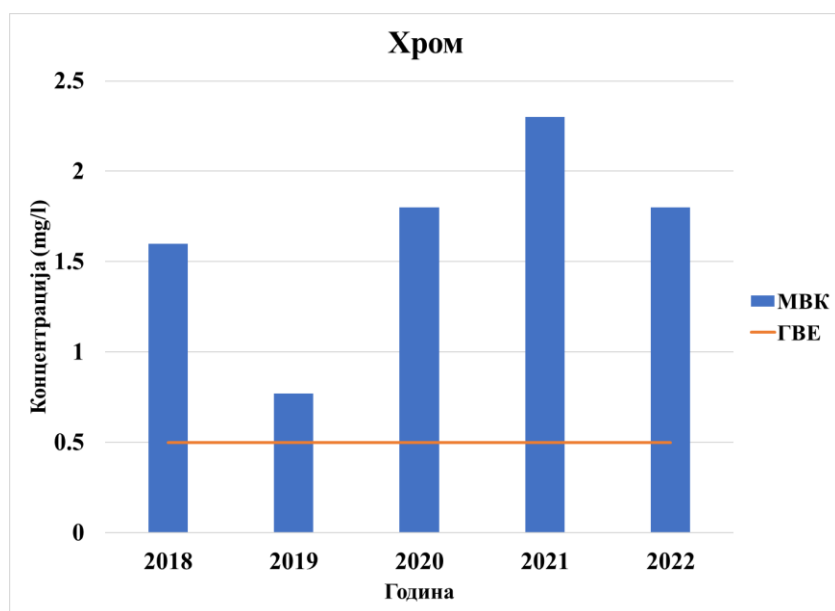
Измерена највиша концентрација фенола у процедурној води је 4,35 mg/l у 2021. години, док је најнижа од 1,8 mg/l у 2018. години и у 2020. години. Генерално концентрације фенола у свим извештајним годинама остају ниске и показују тренд константности.

Арсен- максималне вредности концентрације арсена показују тренд константности кроз извештајне године. Највеће концентрације арсена износи 0,05 mg/l. Према Уредби, гранична вредност емисије арсена у отпадним водама је 0,1 mg/l. На слици 7.41 су приказане измерене МВК арсена у односу на ГВЕ.



Слика 7.41 Максималне годишње вредности концентрације арсена у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

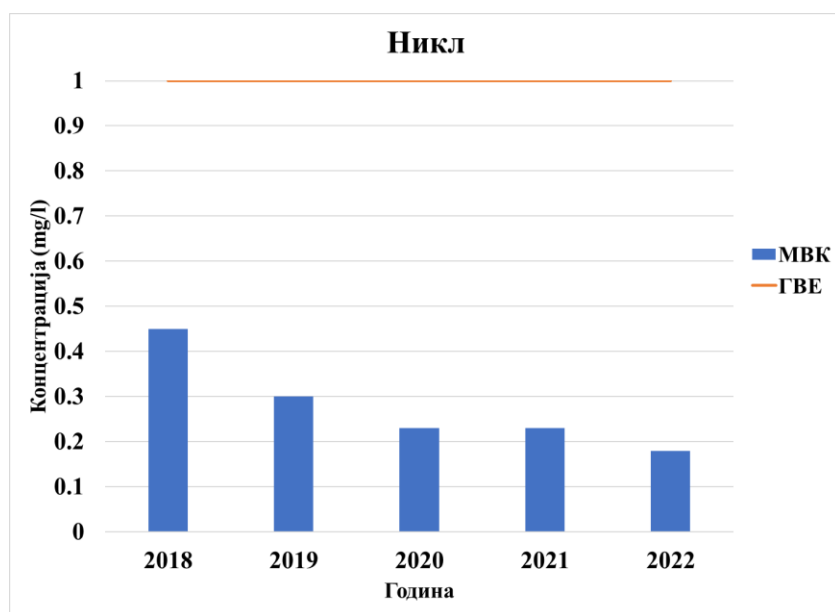
Хром- измерене максималне вредности концентracија хрома у свим извештајним годинама прелазе граничну вредност емисије која износи 0,5 mg/l према Уредби. Највећа количина хрома забележена је 2021. године када је износила 2.3 mg/l, док је најнижа вредност концентрације хрома измерена у 2019. години када је износила 0.77 mg/l. На слици 7.42 приказане су измерене вредности максималних концентracија хрома у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.42 Максималне годишње вредности концентрације хрома у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Као што се може видети са слике 7.42, МВК хрома у свим извештајним годинама су више у односу на ГВЕ, и то у 2018. години 3,2 пута, у 2019. години 1,54 пута. Након 2019. године концентрације хрома су у порасту, па у 2020. години МВК хрома износи 1,8 mg/l, што је 3,6 пута више од ГВЕ. У 2021. години концентрација хрома се повећава до максималних 2,3 mg/l и виша је у односу на ГВЕ 4,6 пута. Година 2022. бележи МВК хрома у износу од 1,8 mg/l, и виша је 3,6 пута од ГВЕ хрома у отпадним водама.

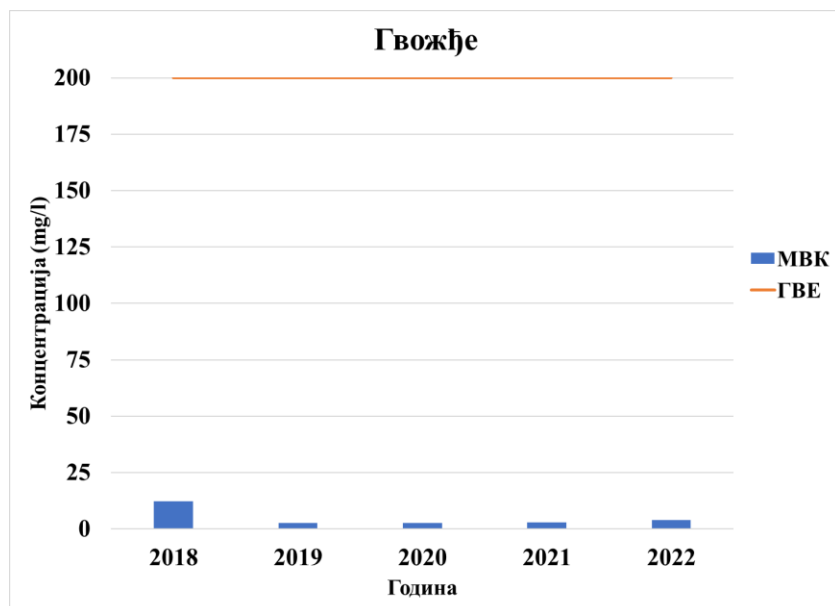
Никл- Измерене МВК никла у процедурним водама у току свих извештајних година показују тренд опадања концентрација и остају испод граничне вредности од 1 mg/l која је дата Уредбом. На слици 7.43 приказане су МВК никла у односу на ГВЕ никла у отпадним водама.



Слика 7.43 Максималне годишње вредности концентрације никла у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Као што се види на слици 7.43, највиша забележена вредност концентрације никла у процедурној води измерена је у 2018. години и износи 0.45 mg/l, након тога концентрације никла опадају и у 2019. години износи 0.3 mg/l. У 2020. години и у 2021. години концентрације никла су исте и износе 0.23 mg/l, док је у 2022. години измерена најнижа вредност концентрације никла у односу на остале извештајне године и износи 0,18 mg/l.

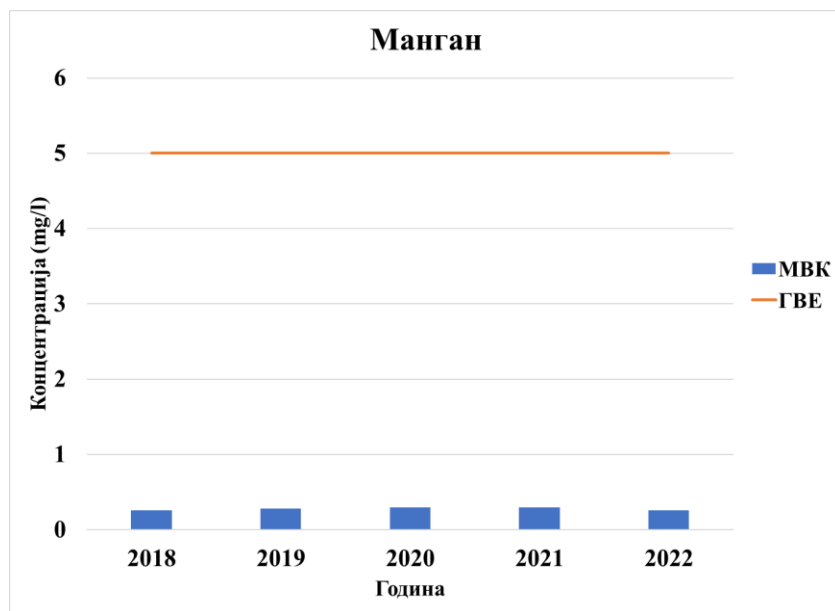
Гвожђе- измерене максималне концентрације гвожђа у свим извештајним остају испод граничне вредности емисије од 200 mg/l и генерално показују тренд константности. На слици 7.44 приказане су измерене вредности максималних концентрација гвожђа у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.44 Максималне годишње вредности концентрације гвожђа у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Највиша концентрација гвожђа у процедурним водама забележена је 2018. године и износи 12.2 mg/l, док су од тада концентрације гвожђа ниже и крећу се од 2,6 mg/l у 2019. години до 4 mg/l у 2022. години.

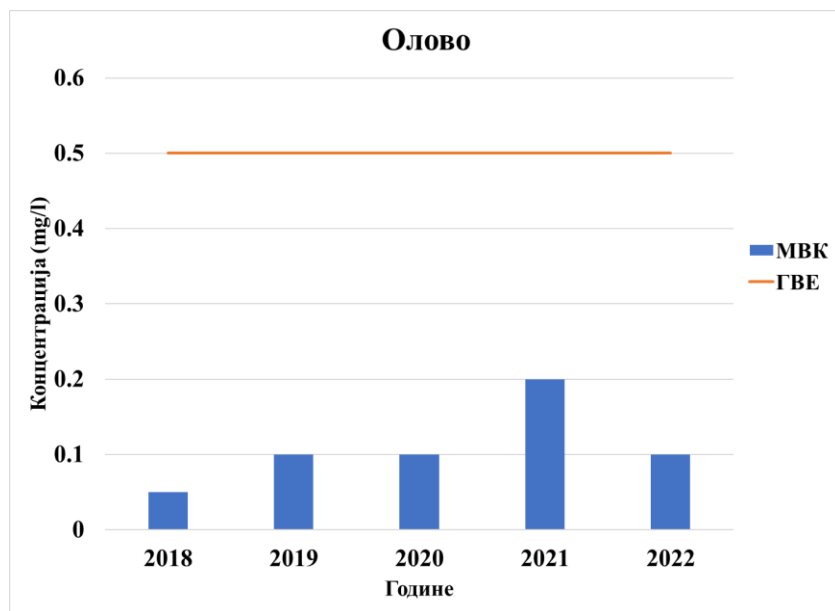
Манган- измерене вредности максималних концентрација мангана у свим извештајним годинама износе 0,26 mg/l, 0,28 mg/l, 0,3 mg/l, 0,3 mg/l и 0,26 mg/l, редом. На слици 7.45 приказане су МВК мангана у односу на ГВЕ која износи 5 mg/l.



Слика 7.45 Максималне годишње вредности концентрације мангана у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Као што се са слике 7.45 може видети, ни једна измерена максимална вредност концентрације мангана не прелази граничну вредност емисије и концентрације остају релативно константе током времена.

Олово- максималне вредности концентрација олова које су измерене показују тренд благог пораста у току извештајних година, али ни једна вредност не прелази граничну вредност емисије која износи 0,5 mg/l. На слици 7.46 приказане су измерене вредности максималних концентрација олова у односу на граничну вредност емисије.

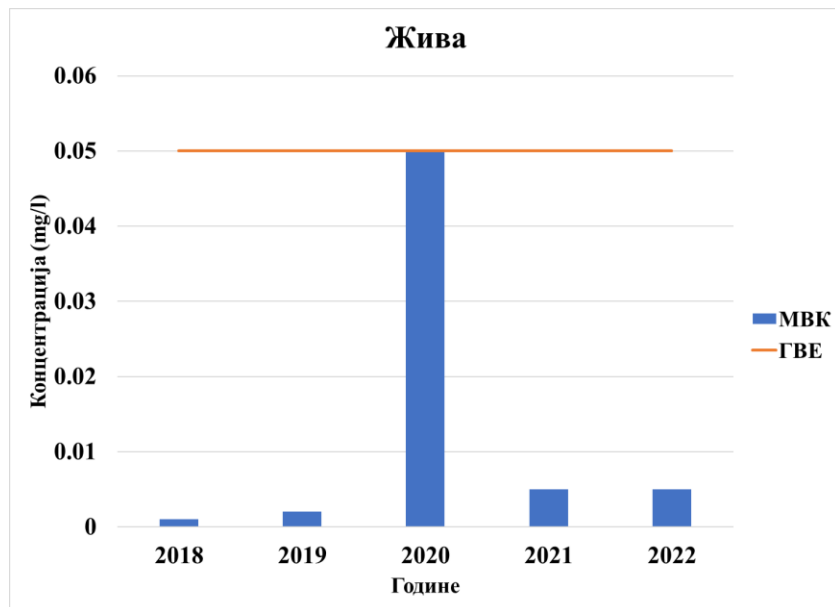


Слика 7.46 Максималне годишње вредности концентрације олова у односу на ГВЕ на санитарној депонији „Метерис“

Измерене МВК су 0,05 mg/l у 2018. години, у 2019. години, 2020. години и 2022. години МВК олова износи 0,1 mg/l, док је у 2021. години измерена највиша концентрација олова од свих извештајних година и износи 0,2 mg/l. У киселом окружењу, олово може бити више растворљиво, док је у неутралном или алкалном окружењу, какво је у телу депоније са њеним старењем, олово мање растворљиво, па то може бити разлог ниских и релативно константних концентрација олова у процедурним водама.

Жива-максимална вредност концентрације живе измерена је 2020. године и износи 0,05 mg/l, колико износи и ГВЕ која је дата Уредбом. У свим осталим извештајним годинама МВК живе у процедурним водама показују тренд константности. У 2018. години измерена МВК живе износила је 0,001 mg/l, док је у 2019. години 0.002 mg/l. Након тога у 2020. години достиже своју максималну забележену концентрацију од 0,05 mg/l и након тога показује тренд опадања. У 2021. години, као и у 2022. години МВК живе износи 0,005 mg/l у свим кварталима мерења. Гранична вредност емисије живе у отпадне воде је 0,05 mg/l, тако да измерене МВК живе не прелазе граничне вредности емисије живе. На слици 7.47

приказане су измерене вредности максималних концентрација живе у односу на граничну вредност емисије.



Слика 7.47 Максималне годишње вредности концентрације живе у односу на ГВЕ на регионалној санитарној депонији „Метерис“

Од укупно 14 репрезентативних параметара, измерене вредности максималних концентрација 6 параметара прелазе граничне вредности емисије у отпадне воде дате Уредбом [70] и то: укупан азот, нитрити, нитрати, сулфати, цијаниди и хром.

Поменуте компоненте прелазе граничне вредности које су дате Уредбом и оне се односе на граничне вредности емисија загађујућих материја у отпадне воде. Из тог разлога процедурне депонијске воде подлежу третману на самој депонији, при чему се побољшава њихов квалитет и даље се испуштају у реципијент по процедури или се рецикулацијом враћају на тело депоније. На овај начин се спречава испуштање загађених процедурних вода у реципијенте.

8. СОФТВЕРСКО МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА И СИМУЛАЦИЈЕ МИГРАЦИЈЕ ПРОЦЕДНИХ ВОДА

У овом поглављу дисертације, представљени су резултати истраживања који се односе на моделирање реалног стања депонија, које има заштитну облогу на дну тела депоније (са ЕБС) и акцидентног стања депоније, без заштитне облоге на дну тела депоније (без ЕБС) на депонијама комуналног отпада „Гигош“ и „Метерис“ као и резултати симулирања миграције процедних вода кроз унутрашње слојеве у телу депоније, са аспекта количине концентрација компонената у софтверском алату LandSim у дужем временском периоду.

Истраживана су предикциона стања на санитраним депонијама комуналног отпада и то:

- Стопа миграције процедне воде,
- Концентрације компонената у процедним водама након дужег временског периода на дну тела депоније,
- Концентрације полутаната компонената у пријемном водном телу након дужег временског периода.

Санитарне депоније састоје се од мембранских и/или минералних слојева песка обогаћеног глином и бентонитом, заједно са дренажним системом, како би се минимизирао притисак процедних вода изнад заштитне баријере. Мембрана је синтетички материјал (као што је HDPE) произведен и инсталиран као облога на дну ћелије депоније како би се смањила стопа миграције процедне воде (и њиховог уласка подземне воде). Композитна облога је облога која се састоји од две или више одвојених компоненти, али обично укључује минералну облогу и геотекстилну мембранску облогу [132].

Различите депоније користе различите врсте баријера, а неке старије депоније можда уопште немају баријеру или су већ подлегле оштећењима.

Због препознатих ограничења у технологији заштитног баријерног система (ЕБС), одређена количина процедних вода кроз базу депоније је неизбежна. Количина процедне воде која мигрира кроз тело депоније и потенцијално пролази кроз базу депоније зависи од инфилтрације воде у тело депоније, карактеристика система облоге и хидрауличке проводљивости материјала испод тела депоније [32].

У случају несанитарних депонија или настанка нежељеног акцидентног стања на санитарним депонијама као што су земљотрес, пожар, поплава, експлозија депонијског гаса, бомбардовање, терористички напади и слично, систем заштитних облога се оштећује или више и не постоји, па се у том случају приказује предикциони модел без ЕБС.

8.1. Модели регионалне санитарне депоније „Гигош“

Укупна површина локације „Гигош“ за оперативни период износи 66.127 m². Одлагање отпада је планирано у три фазе. Тренутно, 1/3 укупне површине се усваја као релевантна област за израчунавање количине процедурне воде, што износи 22.042 m².

Одређивање количине процедурних вода заснива се на следећим претпоставкама [32]:

- Извор инфилтрације су падавине које достижу на тело депоније као и вода која настаје као производ хемијских и биолошких реакција разградње чврстог комуналног отпада;
- Сав контакт површине воде са тереном око комплекса депоније се одводи на контролисан начин кроз дренажне канале;
- Подземне воде не могу да инфилтрирају тело депоније ни са страна ни са дна, односно подтла депоније;
- Кретање воде кроз тело депоније је усмерено вертикално наниже.

Просечна дневна количина процедурних вода са површине тела депоније се рачуна на основу годишњих падавина у Јагодини и износи 3,36 m³/dan. Максимална дневна количина процедурних вода са површине тела депоније се рачуна на основу максималних дневних падавина у Јагодини, које износе 36,6 m³/dan.

У дисертацији, истраживање је спроведено на основу 14 репрезентативних параметара и то: феноли, укупни азот, нитрати, нитрити, сулфати, цијаниди, флуориди, арсен, хром, никл, гвожђе, манган, олово и жива.

8.1.1. Валидација података добијених софтвером LandSim поређењем са лабораторијским анализама узорака процедурних вода са депоније „Гигош“

Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Гигош“ [173], добијени су на основу лабораторијских анализа у Центру за сакупљање и селекцију отпада Јагодина приказани су у табели 8.1.

Табела 8.1 Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Гигош“

Улазни параметри	Вредност			Извор
Инфилтрација				
Инфилтрација на површини депоније (mm/год)	619			[102]
Геометрија депоније				
Дужина основе депоније (m)	170			[102]
Ширина основе депоније (m)	180			[102]
Површина основе депоније (ha)	3.06			[102]
Површина депоније (ha)	3.72			[102]
Висина отпада (m)	30			[102]
Вредности компонентата у процедурним водама				
	Мин	Просечна	Макс	
Укупни азот (mg/l)	16	419.33	1176	[160]
Нитрати (mg/l)	0.05	1.77	5.2	[160]
Нитрити (mg/l)	0.01	0.02	0.03	[160]
Сулфати (mg/l)	3.6	51.5	88	[160][160]
Флуориди (mg/l)	0.03	0.04	0.05	[160]
Цијаниди (mg/l)	0.01	0.05	0.15	[160]
Арсен (mg/l)	0.07	0.13	0.17	[160]
Олово (mg/l)	0.01	0.015	0.02	[160]
Жива (mg/l)	0.001	0.0015	0.002	[160]
Хром (mg/l)	0.22	1.1	1.3	[160]
Никл (mg/l)	0.06	0.23	0.33	[160]
Гвожђе (mg/l)	1.3	6.9	16	[160]
Манган (mg/l)	0.18	0.26	1.2	[160]
Феноли (mg/l)	0.05	0.16	0.38	[160]
Дренажни систем				
Кондуктивност (m/s)	0.0003 - 0.003			[102]
Висина (m)	0.5			[102]
Систем заштитних баријера (ЕБС)	Композитни ЕБС (HDPE)			
Висина минералног слоја (m)	1 - 1.5			[102]
Хидрауличка проводљивост (m/s)	2·10 ⁻¹¹			[132]
Лонгитудинална дисперзивност (m)	0.1 – 0.15			10% од висине минералног слоја [132]
Незасићена зона	Седименти			

Дужина (m)	8 - 10	[102]
Хидрауличка проводљивост (m/s)	$1 \cdot 10^{-11}$ - $1 \cdot 10^{-8}$	[132]
Засићена зона		
Хидрауличка проводљивост (m/s)	0.0002, 0.002, 0.02	[132]

У дисертацији су, коришћењем LandSim софтверског пакета, извршене симулације у циљу предикције концентрација различитих компонената у процедурним депонијским водама. Такође је спроведена упоредна анализа података који су добијени лабораторијским анализама узорак процедурних вода са депоније Гигош и података добијених симулацијама LandSim софтверским пакетом за петогодишњи период од 2018. године до 2022. године.

За проверу одступања симулираних вредности LandSim предикционих модела од измерених лабораторијских вредности, коришћен је t -тест за зависне узорке. Парни t-тест је погодан за овакве анализе јер омогућава упоређивање две повезане групе података, као што су реалне и симулационе вредности за исту компоненту [174]. Анализа је спроведена како би се утврдило да ли постоје значајне статистичке разлике између реалних и симулационих вредности концентрација компонената у процедурним депонијским водама.

У табели 8.2 приказани су резултати концентрација компоненти у процедурним водама депоније „Гигош“ добијених лабораторијским анализама и резултати концентрација компоненти добијених LandSim симулацијама.

Табела 8.2 Резултати концентрација компоненти у процедурним водама депоније „Гигош“ добијених лабораторијским анализама и резултати концентрација компоненти добијених LandSim симулацијама

Р. бр.	Компонента	Резултати лабораторијских анализа (mg/l)					Резултати LandSim симулација (mg/l)				
		2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
1	Укупни азот	419.3333	818.6667	293.25	305.5	295.9	462.93	458.709	456.302	454.311	451.523
2	Нитрити	<0.03	<0.02	<0.03	<0.03	<0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
3	Нитрати	5.2	0.64	2.2025	11.825	23.2	2.87814	2.87814	2.87814	2.87814	2.87814
4	Сулфати	51.53333	258	368	744.75	1107.75	182.609	180.881	180.512	179.414	178.472
5	Флуориди	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.03364	0.033535	0.033506	0.033401	0.033265
6	Цијаниди	<0.01	2.1	0.05	0.035	<0.01	0.012321	0.012308	0.012295	0.012282	0.012269
7	Арсен	0.133333	0.34	0.446667	0.37	0.525	0.395634	0.394738	0.393321	0.392045	0.391472
8	Хром	0.873333	1.866667	2.1625	1.675	2.275	1.63862	1.62375	1.609	1.59604	1.58758
9	Никл	0.23	0.466667	0.4325	0.55	0.5925	0.379886	0.377918	0.374945	0.372266	0.370979
10	Гвожђе	6.9	12.66667	10.0625	10.625	10.025	9.06438	9.06438	9.06438	9.06438	9.06438
11	Манган	0.546667	1.333333	0.77	1.01	0.675	0.974459	0.974459	0.974459	0.974459	0.974459
12	Олово	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.1125	0.043714	0.04352	0.043222	0.042929	0.042809
13	Жива	<0.001	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.000759	0.000759	0.000758	0.000758	0.000757
14	Феноли	0.163333	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.046693	0.043567	0.040649	0.037927	0.035387

Приликом спровођења парног t-теста, упоређена су два сета података који су међусобно повезани, реалне вредности и симулационе вредности за исту компоненту. Израчуната је разлика између парова података (реална вредност - симулациона вредност за сваку годину), а затим је проверено да ли је просечна разлика значајно различита од нуле користећи t-статистику [174].

p-вредностима се утврдило да ли је резултат теста статистички значајан, тј. да ли постоји вероватноћа да се посматрани подаци (или екстремнији од посматраних) јављају под претпоставком да је нулта хипотеза тачна. Нулта хипотеза је да не постоји разлика између средњих вредности концентрација компоненти добијених лабораторијским анализама и симулираних вредности у предикционом моделу LandSim софтвера.

Уобичајени праг за статистичку значајност p-вредности је 0.05, и све вредности веће од те указују на то да разлике између реалних и симулираних вредности нису статистички значајне, односно нема довољно доказа да се одбаци нулта хипотеза која тврди да не постоји значајна разлика између реалних и симулираних вредности концентрација компоненти порцедних вода.

На основу добијених резултата, приказаних у табели 8.3, закључује се да статистички значајно одступање постоји у вредностима нитрита, флуорида и живе. Разлог томе су измерене константне вредности ових компонената лабораторијским анализама па је стандардна девијација минимална у ова три случаја. Осталих 11 компоненти показују да нема статистички значајних одступања у реалним вредностима од вредности које су добијене симулацијама.

Ово указује на висок ниво поузданости симулационих модела у односу на реалне вредности концентрација компонената добијених лабораторијским анализама.

Табела 8.3 Статистичка валидација реалних и симулираних вредности компонената процедурне воде на депонији „Гугош“

		Укупни азот	Нитрити	Нитрати	Сулфати	Флуориди	Цијаниди	Арсен	Хром	Никл	Гвожђе	Манган	Олово	Жива	Феноли
Измерене вредности	m	426.530	0.014	8.614	506.007	0.025	0.439	0.363	1.771	0.454	10.056	0.867	0.031	0.000	0.033
	SD	201.643	0.002	8.239	375.817	0.000	0.831	0.132	0.496	0.126	1.849	0.278	0.041	0.000	0.065
Симулиране вредности	m	456.755	0.020	2.878	180.378	0.033	0.012	0.393	1.611	0.375	9.064	0.974	0.043	0.001	0.041
	SD	3.886	0.000	0.000	1.401	0.000	0.000	0.002	0.018	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
	t	0.292	4.012	1.280	1.552	21.989	0.966	0.441	0.599	1.142	1.006	0.736	0.592	5.250	0.242
p- вредност		0.777	0.004	0.236	0.159	0.000	0.362	0.671	0.566	0.287	0.344	0.483	0.570	0.001	0.815
RMSE		202.20	0.01	10.04	498.29	0.01	0.93	0.14	0.53	0.15	2.10	0.30	0.04	0.00	0.06
PRMSE		0.47	0.45	1.17	0.98	0.34	2.13	0.38	0.30	0.33	0.21	0.34	1.41	1.56	1.90

m- медијана, просечна вредност

SD- стандардна девијација

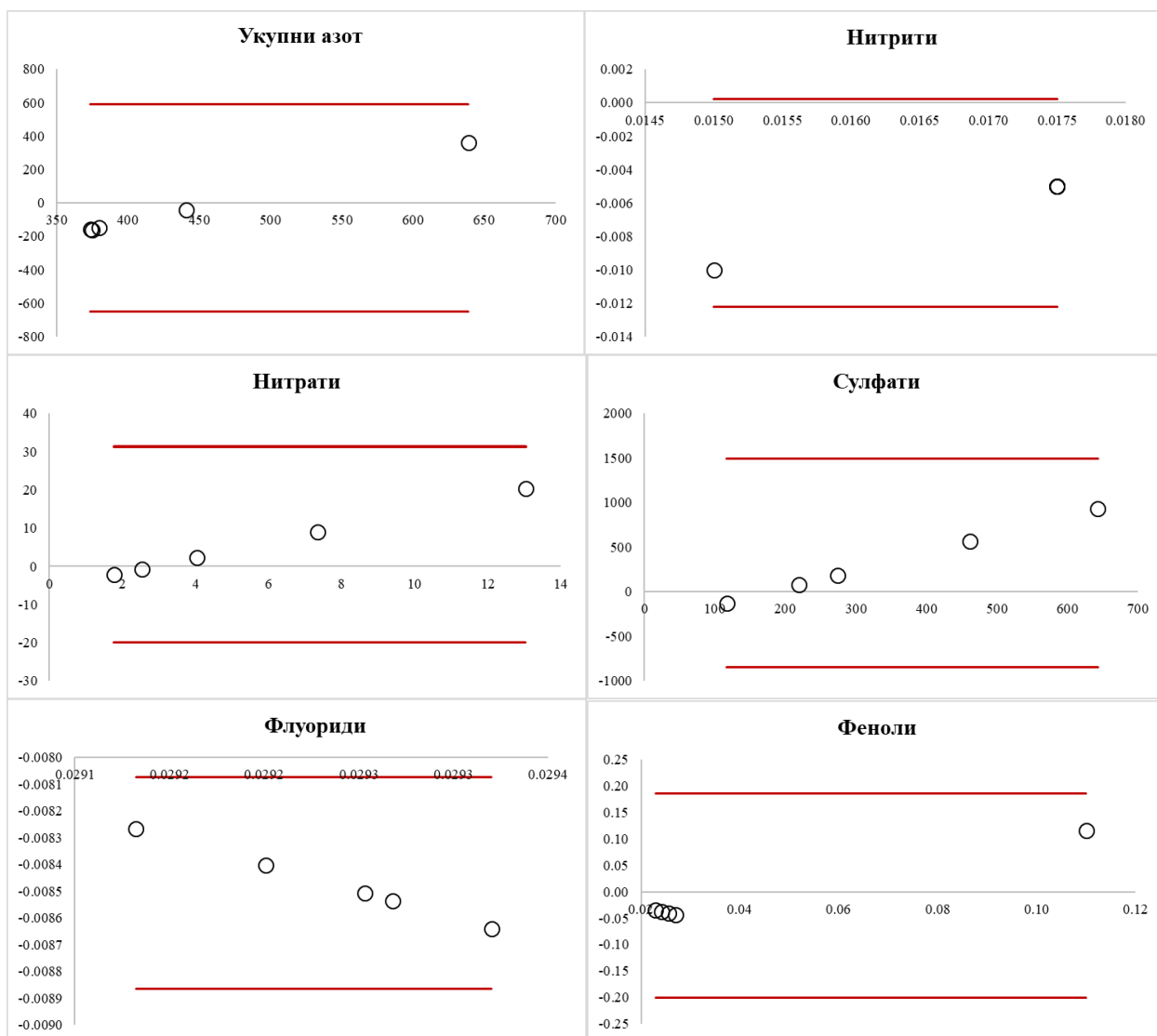
|t|- тест статистика

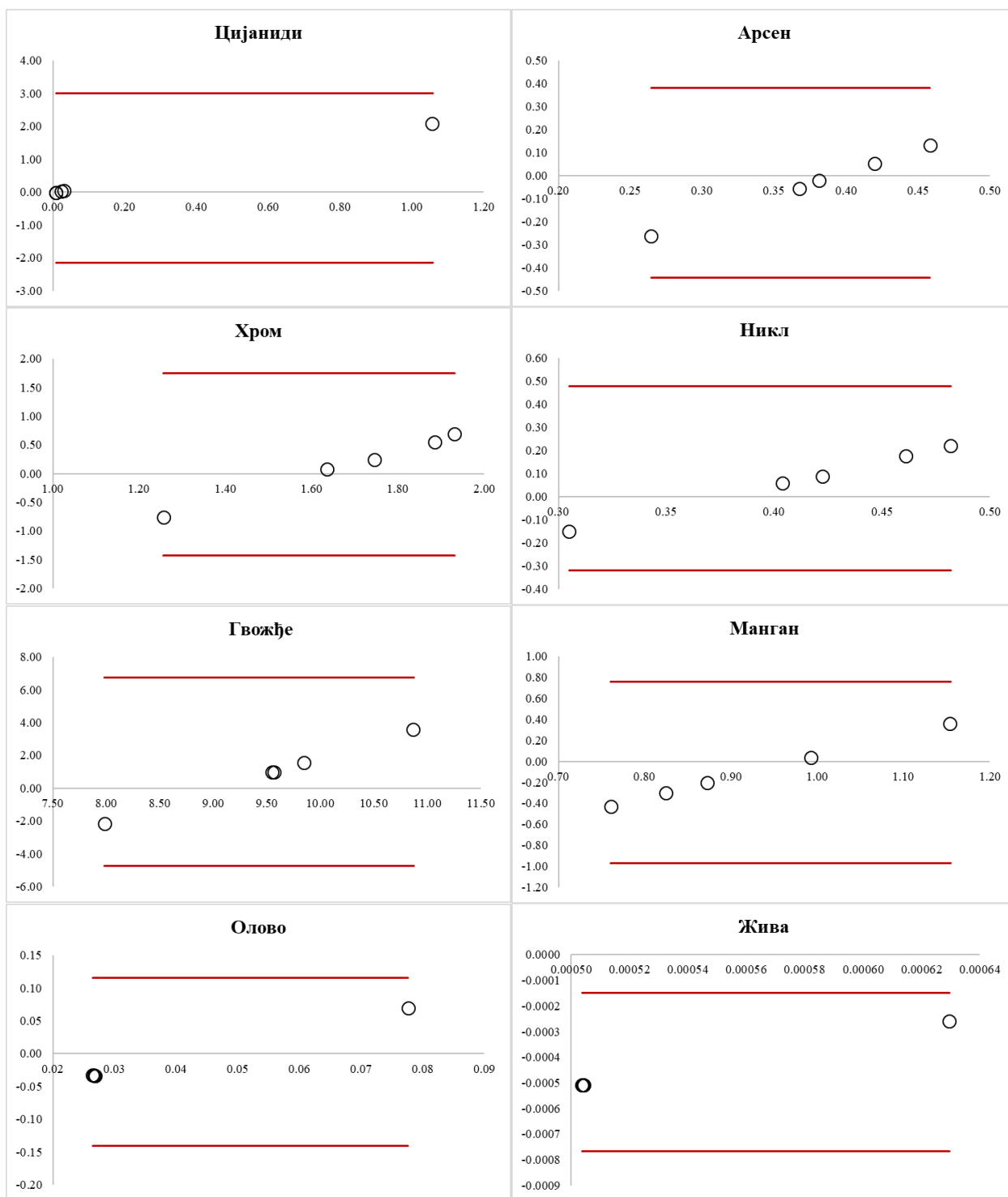
p- праг статистичке значајности

RMSE- корен средње-квадратне грешке

PRMSE- корен средње-квадратне грешке (релативно у односу на измерене вредности)

Још једна од метода за приказ складности две мере једне исте појаве је и Bland Altman метода. Координатне осе графикана (слика 8.1), према поменутој методи, представљају средњу вредност два мерења, лабораторијски и симулационо, (x-оса) и разлика првог и другог мерења (y-оса). Све тачке би требало да се налазе груписане око нулте разлике, тј. око x осе. На свакој слици је приказан и интервал поверења око просечне разлике реалне и симулиране вредности. Уколико се нулта разлика налази унутар интервала, то је знак да се вредности два начина мерења подударају [175].





Слика 8.1 Интервал поверења око просечне разлике измерене и симулиране вредности компоненти у процедурној води (x оса- средња вредност два мерења, y-оса разлика првог и другог мерења)

На основу добијених статистичких података Bland Altman методом, може се закључити да се нулта разлика скоро код свих концентрација компоненти процедурних вода налази унутар интервала поверења, што указује на склад реалних и симулираних вредности. Једине две вредности концентрације код којих то није случај јесу, поново нитрити, флуориди и жива, као што је добијено и t-тестом. Разлог за то су свакако премале и константне концентрације ових компоненти (премала варијанса) реалних вредности.

Резултати анализе указују на то да не постоји значајна статистичка разлика између два сета података, измерених лабораторијских вредности концентрација компоненти у процедурној води на депонији „Гигиш“ и симулираних вредности у предикционим моделима добијених у софтверу LandSim за исте компоненте. Ово указује на висок ниво поузданости симулационих модела у односу на реалне вредности. На основу ових резултата, можемо закључити да симулациони модели пружају адекватне процене концентрација полутаната, што је од значаја за даље планирање и предвиђање утицаја загађења на животну средину.

8.1.2. Предикциони модели реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигиш“

Како би се моделирала количина произведене процедурне воде, концентрација одабраних компонената у процедурној води, миграција процедурних вода унутар тела депоније, вероватноћа протицања кроз постојећу баријеру и транспорт унутар подземног слоја до пријемног водног тела (Хајдучки поток), комбинују се различити параметри.

Изабрани временски периоди у симулатору су 3, 10, 30 и 100 година за 1.000 итерација. Поред одабраних периода, уколико се јави присутност процедурних вода и одређених компоненти у телу депоније и у пријемном водном телу у дужем временском периоду, модел приказује податке и за период од 20 00 0 година.

LandSim процењује могуће концентрације компонената на различитим нивоима у телу депоније које могу достићи до одређене тачке ван локације депоније током дужег временског периода. Резултати реалног стања Регионалне санитарне депоније „Гигиш“ добијени симулатором LandSim показују:

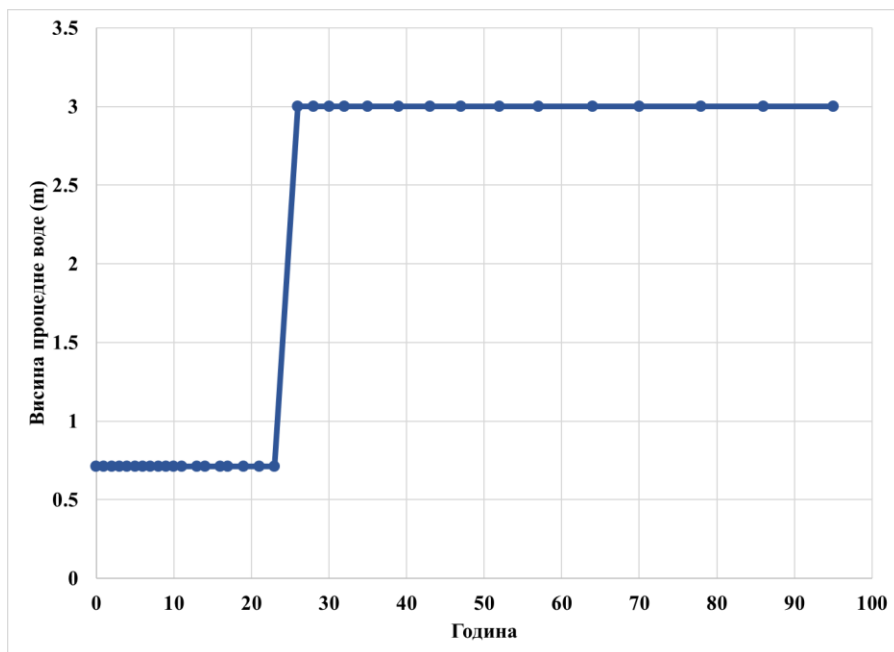
- висину процедурне воде на дну депоније,
- стопу миграције процедурних вода,
- концентрације компонената на дну тела депоније и

- концентрације компонената на тачки ван локације (локација реципијента тј, Хајдучки поток- 150 m од локације депоније).

Висина процедне воде на дну тела депоније варира са места на место унутар депоније. LandSim извештава о почетној (минималној) и максималној вредности која се очекује у дужем временском периоду. Симулације LandSim-а указују на то да је у периоду тридесетогодишњег рада депоније, висина процедурних вода на дну тела депоније у порасту са 0,6 m, од када је депонија почела са радом, на максималних 3 m током моделираних 300 година.

Према претходним истраживањима висина процедурних вода на дну тела модерних и савремених депонија је око 1 m. Такође, висина процедурних вода није на сваком месту тела депоније иста, већ може бити другачија од тачке до тачке. Модел приказује предикцију максималне могуће висине процедурне воде на било којој тачки тела депоније [132].

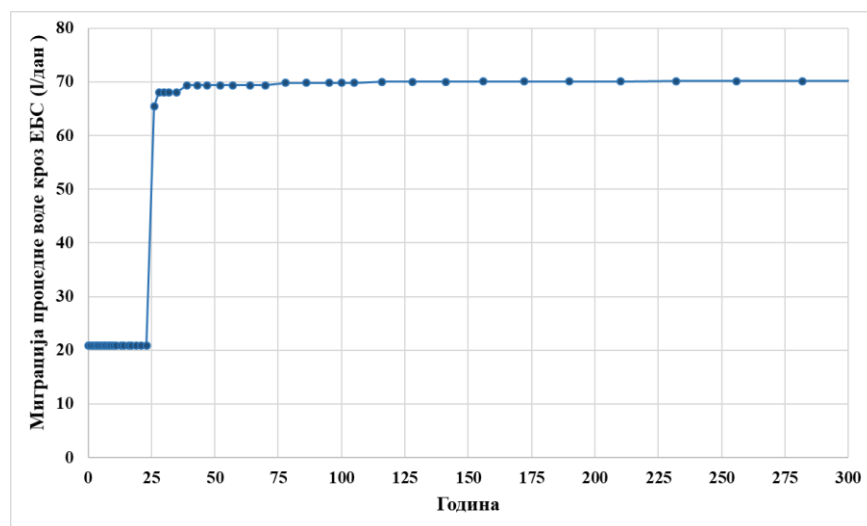
Према моделу, нагли пораст висине процедурних вода јавља се у 22. години од почетка рада депоније и достиже максималну висину од 3 m у 26. години радног века депоније, што је приказано на слици 8.2.



Слика 8.2 Висина процедурне воде на дну тела регионалне санитарне депоније „Гигош“ (реално стање)

Депонија „Гигош“ има капацитет од 1 500 000 m³, што одговара периоду одлагања отпада од око 25 година, након чега долази до коначног попуњавања депоније [134]. Након 25 година од почетка рада депоније, предикциони модел показује период наглог пораста висине процедне воде на дну депоније који се подудара са временским периодом рада депоније, односно са периодом коначног попуњавања тела депоније, што је потврђено у истраживању Sun et al. [31].

Како је сада широко прихваћено да не постоји потпуно непропусни систем заштитних облога [31], [32], [40], [135], потребно је утврдити која количина процедне воде би заправо могла мигрирати кроз ЕБС. Графикон миграције процедурних вода показује предвиђену стопу протицања процедурних вода, у литрима по дану, која пролази кроз ЕБС. Стопе миграције процедурних вода кроз композитну облогу су израчунате коришћењем вишеструких симулација LandSim-а, и показују да је минимална количина протицања процедурне воде 20 l/дан. Та количина процедурне воде остаје релативно константна до 25. године од почетка рада депоније када почиње нагли раст до свог максималног износа од 70 l/ дан након 150 година, што је приказано на слици 8.3. Овај период наглог раста количине протицања процедурне воде кроз заштитну облогу подудара се са веком трајања ЕБС-а који је истраживао Xiang et al. [140].



Слика 8.3 Предикциони модел стопе миграције процедурне воде кроз ЕБС на реалном стању депоније „Гигош“

Како што се може видети са слике 8.3, за период до 3. и до 10. године рада депоније, стопа миграције је релативно константна у вредности од 20 л/дан. Овај тренд константности остаје све до 25. године рада депоније када се јавља нагли пораст стопе миграције процедурне воде кроз ЕБС. У 30. години рада депоније стопа миграције процедурних вода кроз ЕБС се у односу на 10. годину повећала за 227,01% и износи 68 л/дан. Након тога стопа миграције је у поновном порасту од 2,56% до 100 година рада депоније и износи 69 л/дан. У периоду од 150. године долази до почетка деградације ЕБС-а и тада стопа миграције процедурних вода кроз исту достиже свој максимум од 70 л/дан која остаје константна до 200 година.

Како је већ поменуто, концентрације различитих компонената мењају се са старењем депоније и са променом фаза кроз коју депонија пролази током дужег временског периода [12], [30].

Иницијалне вредности концентрација компонената унете у софтвер као улазни параметри, добијене су лабораторијским мерењима у 2018. години, а даље концентрације су симулиране и предвиђене за дужи временски период (3, 10, 30 и 100 година од почетка рада депоније).

8.1.2.1. Резултати предикционих модела концентрација компонената реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“

Предикциони модели реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ показују резултате вредности концентрација компонената на дну тела депоније и ван локације депоније на рецептору (Хајдучки поток) који се налази на око 150 m од локације депоније „Гигош“.

Симулиране вредности концентрација компонената добијене у моделу показују да нема значајних концентрација за првих 170 до 200 година, што се подудара са веком трајања заштитне облоге у истакнутој студији коју су спровели Mishra et al. [30]. Након тога, концентрације компонената достижу своје максималне вредности између 300 и 800 година симулационог периода. Модели показују да су све компоненте присутне у одабраном временском интервалу до 300 година, а након тога, концентрације укупног азота, хрома, никла, фенола и сулфата нису евидентне након дужег временског периода због њихових својстава брзе разградње [176]. Концентрације нитрата, нитрита, флуорида, цијанида,

арсена, олова, гвожђа, мангана и живе су присутне чак и у периоду до 20.000 година, због чињенице да ове компоненте деле својства високог фактора ретардације [12]. У табели 8.4 приказани су резултати симулираних предикционих модела максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Гигиш“ и на рецептору, као и граничне вредности емисија одређене законским актима Републике Србије и Европске Уније.

Табела 8.4 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела реалног стања депоније „Гигиш“ и на рецептору добијене симулатором LandSim

Компонента	Симулирана максимална концентрација компонената (mg/l)			
	Дно тела депоније	ГВЕ ¹ (mg/l)	Рецептор	ГВЕ ^{2,3,4} (mg/l)
Укупни азот	357	70	0.037	1
Нитрити	0.022	2	3.5×10^{-6}	0.01
Нитрати	3.5	70	6×10^{-4}	10^{-8}
Флуориди	0.03	50	3.7×10^{-6}	н.п.
Сулфати	165	400	0.016	50
Цијаниди	0.03	0.2	2.4×10^{-6}	0.05
Феноли	0.002	50	1.7×10^{-7}	0.001
Арсен	0.37	0.1	4.2×10^{-5}	0.005
Хром	1.2	0.5	1.4×10^{-4}	0.025
Никл	0.3	1	3.4×10^{-5}	0.034
Гвожђе	11	200	0.0019	0.2
Манган	1.08	5	0.0002	0.05
Олово	0.039	0.5	4.7×10^{-6}	0.014
Жива	0.001	0.05	9.5×10^{-8}	0.00007

¹ Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање

² Уредба о граничним загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање

³ Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазадних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање

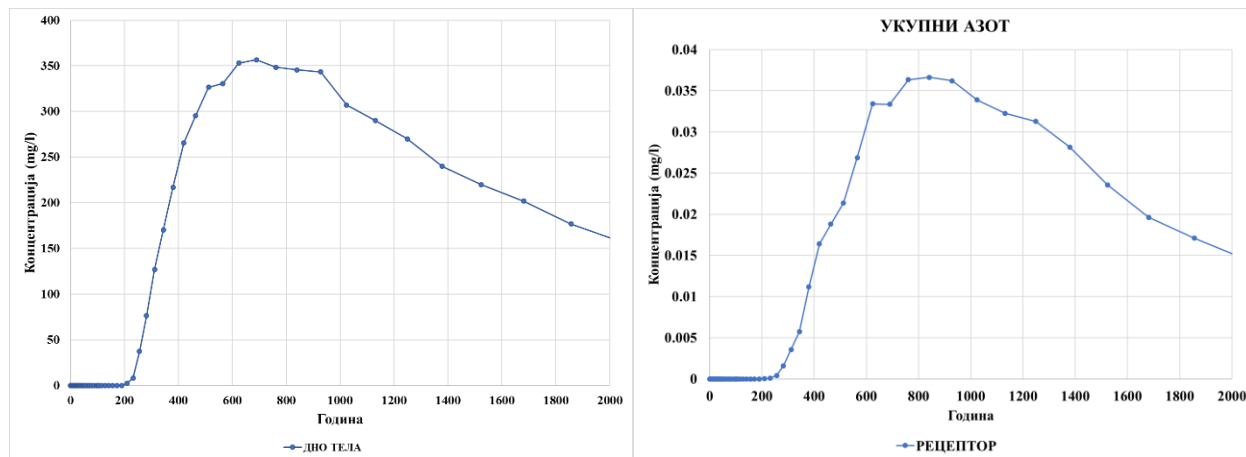
⁴ Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human

Н.п. - нема података

Вредности концентрација укупног азота у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору, односно изван локације депоније.

Након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрација укупног азота на дну тела депоније је 100 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација на дну тела депоније је у порасту до максималних 357 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације укупног азота од 257% у поменутом периоду.

У пријемном водном телу, након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације је 0.003 mg/l. Максимална концентрација укупног азота на рецептору депоније достиже своју вредност 0.037 mg/l након 800 година. Ово указује на повећање концентracије укупног азота ван локације депоније у поменутом периоду од 1133.33%. На слици 8.4 приказани су модели концентрација укупног азота на дну тела депоније и изван локације реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.4 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

Раст концентрације укупног азота може указивати на промену у условима унутар депоније, која омогућава повећање производње или ослобађање азота, што може бити резултат сложених интеракција унутар депоније, укључујући биолошку активност, хемијске реакције, промене у хидрауличким условима и промене у саставу отпада. Такође, пораст може бити узрокован почетком друге фазе разградње, где теже разложиви материјали почињу да се разлажу, ослобађајући азот у већим количинама [56].

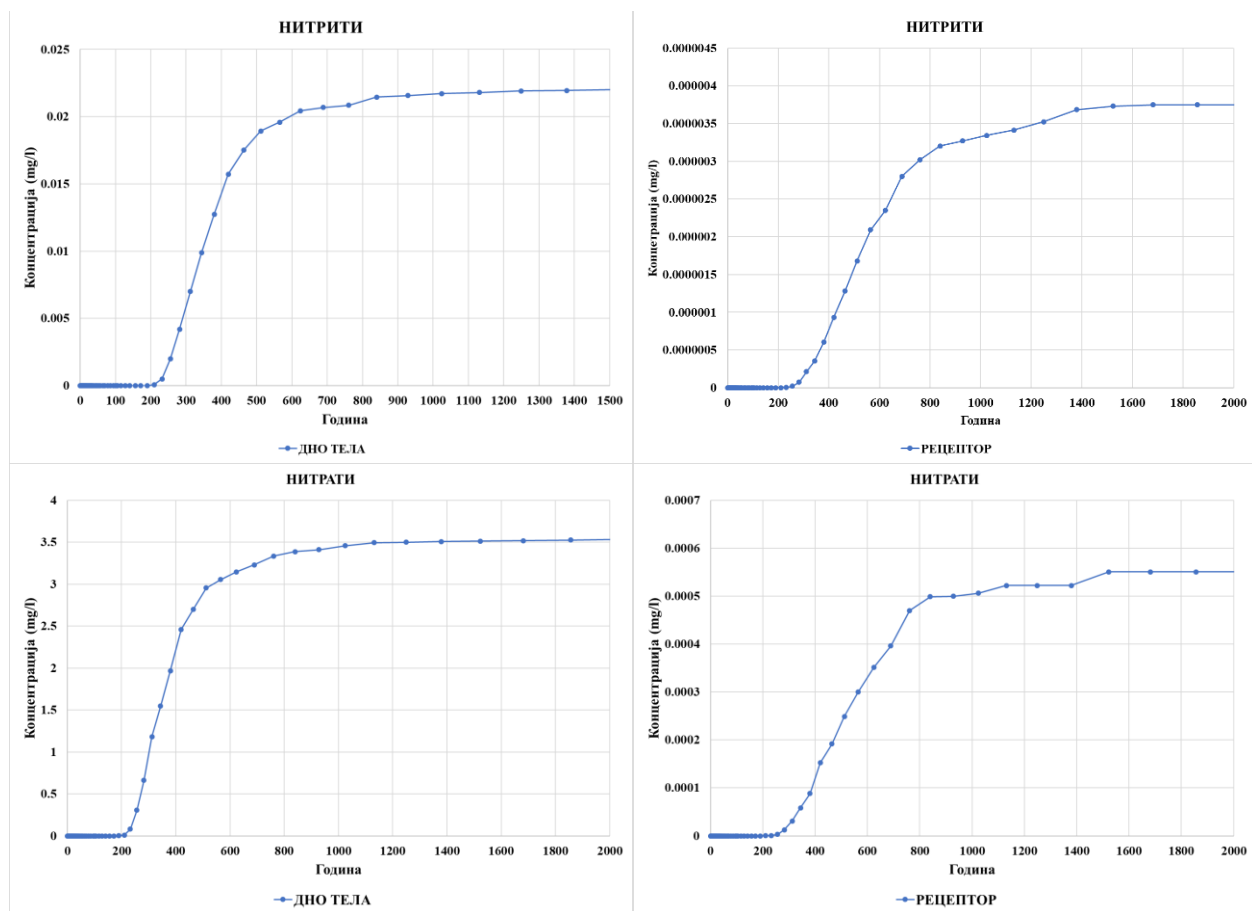
У периоду од 800 до 5000 година, симулациони модели бележе тренд опадања концентрације укупног азота на дну тела депоније и на рецептору. Након 5000 година бележи се процес стабилизације где концентрације укупног азота нису више детектоване. Стабилизација концентрације указује на то да нова равнотежа уступа место након исцрпљивања лако доступних извора азота или успостављања новог стабилног стања у процесима унутар депоније.

Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније за 410% од дозвољене вредности дате Уредбом. Вредност максималне концентрације укупног азота на рецептору у износу од 0.037 mg/l не прелази граничне вредности емисије од 1 mg/l дате Уредбом [72]. Досадашња истраживања показала су да је присуство азота у процедурним депонијским водама углавном висока при чему је представљен као и доминантан полутант у животној средини [12] .

Концентрације нитрита и нитрата у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније и ван локације депоније. Након 100 година, концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору показују постепени пораст који сугерише на постојање активних процеса нитрификације, где амонијак прелази у нитрите и нитрате под утицајем микроорганизама [113].

Након периода од 300 година до 1000 година, њихова концентрација нагло расте до максималних вредности од 0.022 mg/l за нитрите и 3.5 mg/l за нитрате на дну тела депоније и 3.5×10^{-6} mg/l за нитрите 6×10^{-4} mg/l за нитрате на рецептору. Овај нагли раст може указивати на то да је дошло до промене у условима унутар тела депоније, које прате нитрификацију, као што су повећање рН вредности, доступности кисеоника, или промене у саставу отпада који доприноси већој доступности амонијака за претварање у нитрите и нитрате.

За период од 300 до 1000 година, на дну тела депоније, нагли пораст концентрација који је забележен за нитрите је 233.33%, а за нитрате је 250%, док је на рецептору пораст концентрације нитрита 2433.33%, а нитрата 1983.33%, када концентрације достижу своје максималне вредности. На слици 8.5 приказани су модели концентрација нитрата и нитрита на дну тела депоније и на рецептору реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.5 Концентрације укупног нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гугош“

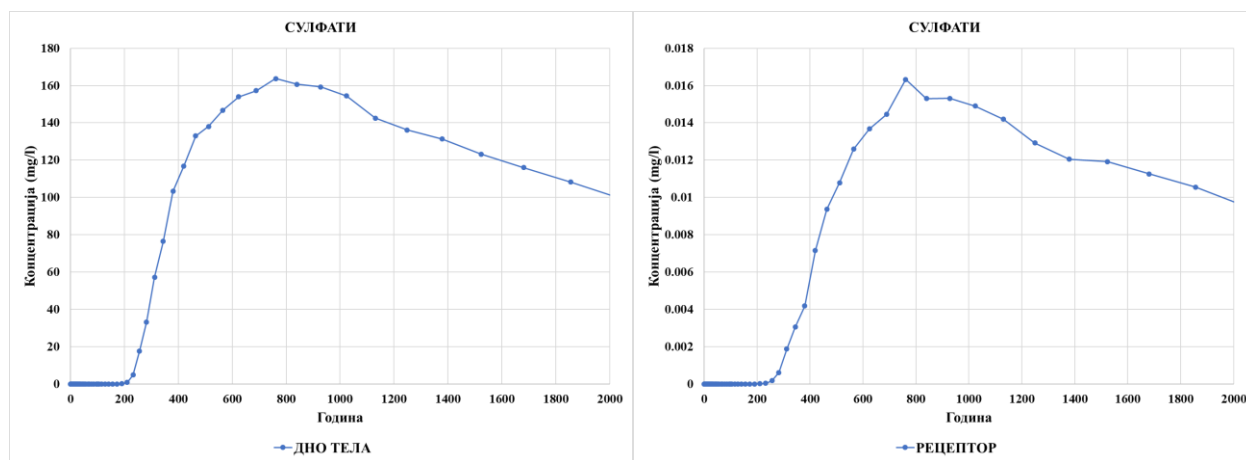
Концентрације нитрита и нитрата након 1000 година остају константне до краја истраживаног периода од 20 000 година, што указује на то да су процеси који контролишу њихову концентрацију у равнотежи. Такође, постоји баланс између биолошке разградње нитрита и нитрата и њихове продукције, њихов транспорт из депоније је уравнотежен са брзином којом се стварају или су се формирали стабилни услови који више не подстичу њихово настајање [56].

Вредности максималних концентрација нитрита и нитрата на дну тела депоније не прелазе граничне вредности емисије за отпадне воде дате Уредбом [70]. Такође концентрације нитрита не прелазе граничне вредности емисије у површинске воде, док максимална концентрација нитрата прелази граничну вредност емисије у површинске воде и 60 000 пута је већа од граничне вредности емисије нитрата у површинске воде, које су дате Уредбом [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање нитрита у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

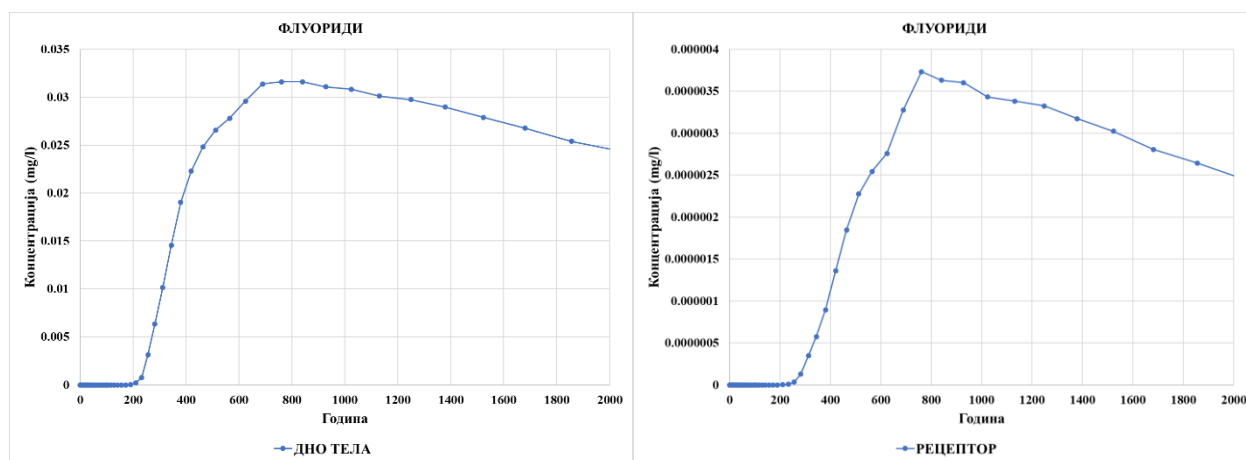
Концентрације сулфата и флуорида показују сличне трендове у вишеструким симулацијама LandSim-a. Почетни раст концентрација флуорида и сулфата показује сталан раст током првих 300 година, што би могло указивати на постепено акумулирање флуорида и сулфата у депонији услед сталног дотока отпада који садржи флуориде или сулфате. Нагли пораст после 300 година и достизање максималних вредности концентрација око 700. године, може указивати на промену у условима унутар депоније, која могу бити повезана са хемијским променама, попут промене рН вредности, која повећава њихову мобилност или физичким променама, попут оштећења ЕБС-а које доводе до ослобађања флуорида и сулфата.

Концентрација сулфата на дну тела депоније у 300. години износи 50 mg/l, док изван локације износи 0.002 mg/l. Након 700 година максималне концентрације сулфата на дну тела депоније износе 164 mg/l и на рецептору износе 0.016 mg/l, што указује на повећање концентрације сулфата у периоду од 300 до 700 година од 228% на дну тела депоније и 700% ван локације депоније. На слици 8.6 приказани су концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“



Слика 8.6 Концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

Концентрација флуорида на дну тела депоније у 300. години износи 0.01 mg/l, док на рецептору износи 2.8×10^{-7} mg/l. Након 700 година максимална концентрација флуорида на дну тела депоније износи 0.03 mg/l и на рецептору износи 3.7×10^{-6} mg/l, што указује на повећање концентрације сулфата у периоду од 300 до 700 година од 200% на дну тела депоније и 1221.43% на рецептору. На слици 8.7 приказани су концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.7 Концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

Концентрације сулфата и флуорида се стабилизују на вишем нивоу од око 700 година и остаје отприлике константна до 1000 година. Након тога долази до постепеног пада концентрација и тренда константности што може указивати на то да су се постигли равнотежни услови у којима је брзина акумулације флуорида и сулфата изједначена са брзином којом се флуорид или сулфат уклања из тела депоније или се претварају у друге облике.

Разлика између вредности концентрација сулфата и флуорида је та што су концентрације флуорида детектоване и након периода од 20 000 година, док су концентрације сулфата на нултој тачки након 10 000 година.

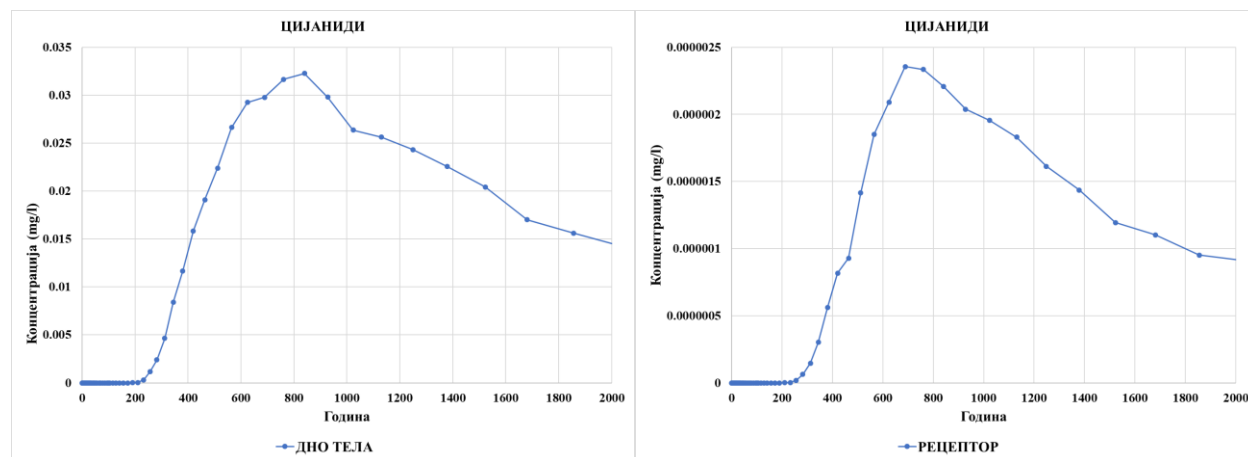
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације сулфата и флуорида на дну тела депоније и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање флуорида у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Вредности концентрација цијанида у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, од почетка рада депоније, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација цијанида, на дну тела депоније, је 0,0035 mg/l. Од 300 до 800 година вредност концентрација цијанида на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,03 mg/l у 800. години, што указује на повећање концентрације цијанида на дну тела депоније од 757,14% у поменутом периоду.

Изван локације депоније, на рецептору, након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације цијанида је $1,15 \times 10^{-7}$ mg/l. Максимална концентрација цијанида ван локације депоније достиже своју вредност $2,4 \times 10^{-6}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације цијанида на рецептору у поменутом периоду од 1986,96%. На слици 8.8 приказане су концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.8 Концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

У периоду од 800 до 6000 година од почетка рада депоније, симулациони модели показују тренд опадања концентрације цијанида на дну тела депоније и ван локације депоније. Након 6000 година креће процес стабилизације, али концентрације цијаниде остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година.

Многа истраживања су показала да деградацијско понашање цијанида значајно варира у различитим срединама. Dong et al. [119] су указали да се нивои цијанида смањују како површинска вода мигрира низводно због испарљивости цијанида. Међутим, цијанид у зони џепног гаса се раствара у води и мигрира вертикално низводно, а цијанид наставља да контаминира подземне воде док се падавине или ефлуент крећу низводно. Zhou et al. [118] су открили да је деградација цијанида уско повезана са излагањем светлости, атмосфером кисеоника и рН вредности, и да је стопа разградње цијанида значајно смањена у затвореним срединама. Такође се показало да како се перформансе главних функционалних јединица депоније временом погоршавају, количина произведене и исцуреле процедурне воде се повећава [31], [40]. У овом тренутку, ако се остатак цијанида још није разградио до нетоксичних или ниских нивоа токсичности, то може довести до повећаног ослобађања цијанида из чврсте фазе цијанидног остатка током дужег времена.

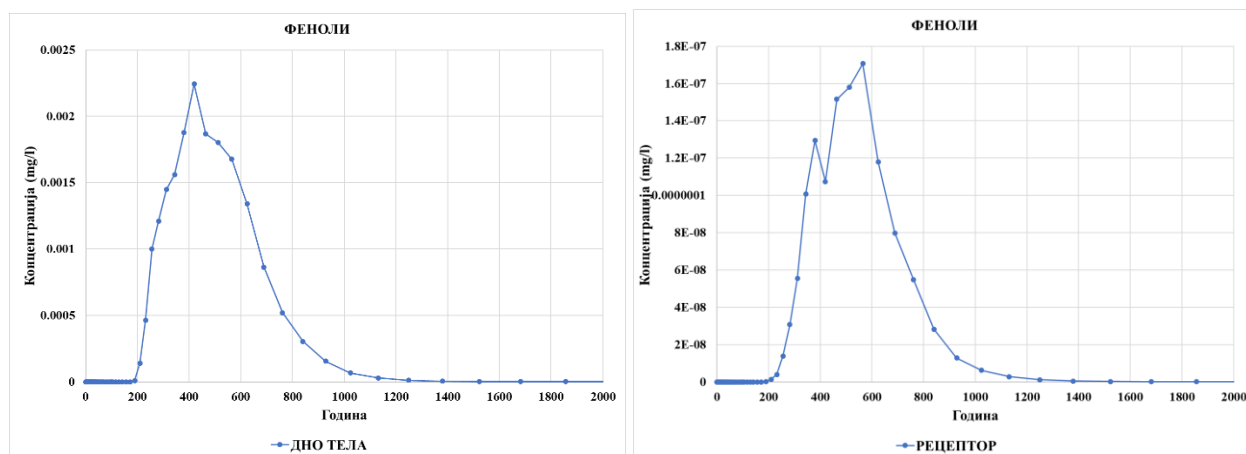
Према Уредби [70] гранична вредност емисије цијанида у отпадним водама је 0,2 mg/l, што указује на то да вредности концентрација цијанида на дну тела депоније не прелазе дозвољене границе концентрација цијанида у отпадним водама. Изван локације депоније вредност максималне концентрације цијанида од $2,4 \times 10^{-6}$ mg/l не прелази граничне вредности емисије од 0,05 mg/l дате Уредбом [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање цијанида у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концентрације фенола, за разлику од већине осталих компоненти у процедурним водама, већ у периоду до 180. године од почетка рада депоније показује вредности од $1,3 \times 10^{-5}$ mg/l на дну тела депоније. Изван локације депоније у том периоду није евидентирана концентрација фенола.

Након тога је концентрација фенола у наглом порасту и већ у 300. години, симулирана вредност концентрације фенола на дну тела депоније је 0,0014 mg/l, што представља повећање концентрације фенола у периоду од 1. до 300. године за 10669,23%. Изван локације депоније симулирана концентрација фенола је у том периоду $4,8 \times 10^{-8}$ mg/l.

Своју максималну вредност феноли достижу након 400 година од почетка рада депоније која на дну тела депоније износи 0,002 mg/l, а на рецептору $1,7 \times 10^{-7}$ mg/l, након чега концентрација фенола нагло опада и након 1000 година више нису детектовани. На слици 8.9 приказане су концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.9 Концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

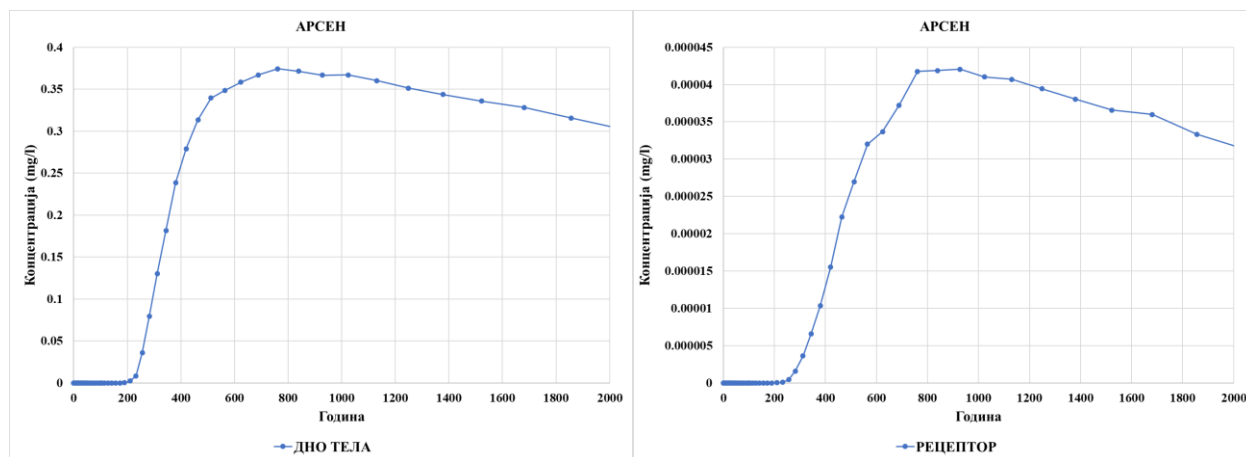
Овакав ток концентрација је карактеристичан за феноле, јер феноли представљају органска једињења који се разграђују у условима ограниченог приступа кисеонику и кроз процесе као што су ферментација и метагонеза. Такође, брза разградња фенола је и последица физичких процеса који се дешавају у телу депоније као што је адсорпција на чврсте материје при чему долази до њиховог разблаживања кроз проток воде у телу депоније [114].

Симулиране вредности концентрација фенола на дну тела депоније не прелазе максимално дозвољене концентрације фенола у отпадним водама од 50 mg/l које су дате Уредбом [70], нити прелазе дозвољене границе на рецептору од 0,001 mg/l, за површинске воде према Уредби [72].

Концентрације арсена у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, од почетка рада депоније, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација арсена на дну тела депоније је 0,1 mg/l. Од 300 до 800 година вредност концентрација арсена на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,37 mg/l у 800. години, што указује на повећање концентрације

арсена на дну тела депоније од 270% у поменутом периоду. На слици 8.10 приказане су концентрације арсена на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.10 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације арсена је 3×10^{-6} mg/l. Максимална концентрација арсена на рецептору достиже своју вредност $4,2 \times 10^{-5}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације арсена на рецептору за 1300% у поменутом периоду.

У периоду од 800 од почетка рада депоније, симулациони модели показују нагли тренд опадања концентрације арсена на дну тела депоније и на рецептору до краја симулираног периода без периода стабилизације у међувремену. Концентрације арсена остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година. Ова појава је карактеристична са арсен, јер арсен показује особине високог фактора ретардације па самим тим се и јако споро разлаже у средини каква је у телу депоније и остаје јако дуго присутна у процедурним депонијским водама [31] .

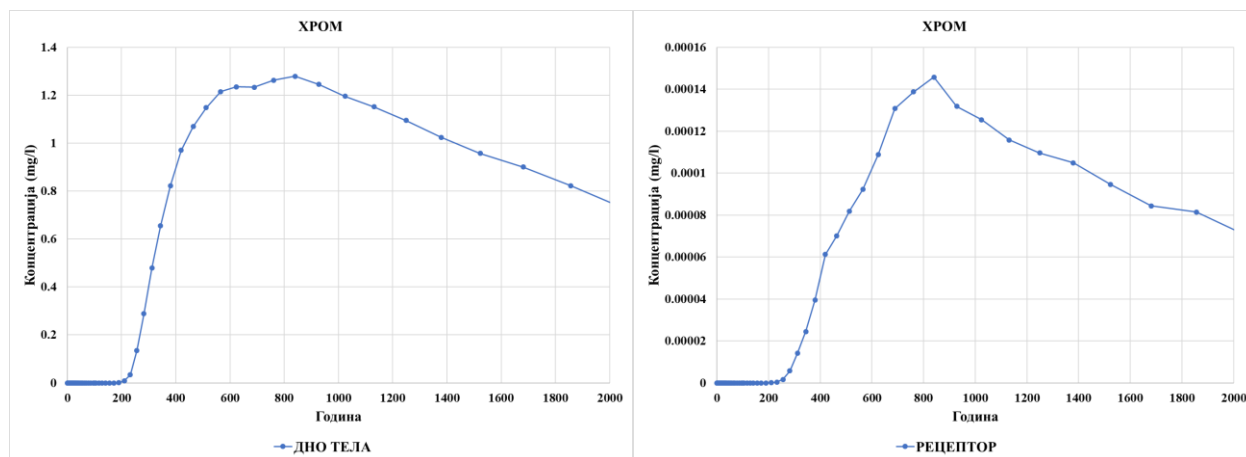
Симулирана вредност максималне концентрације арсена на дну тела депоније износи 0,37 mg/l и прелази за 270% максимално дозвољену концентрацију арсена у отпадним водама која износи 0,1 mg/l и дата је Уредбом [70]. На рецептору, концентрације арсена не прелазе дозвољене границе емисије у површинске воде од 0,005 mg/l према Уредби [72]

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање арсена у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концентрације тешких метала- примена биланса тешких метала на депонијама је открила да се мање од 0,02% тешких метала који се одлажу на депонију испира у првих 30 година животног века депоније услед имобилизације метала органском/анорганском сорпцијом и падавинама [12], самим тим тешки метали често остају јако дуго присутни у процедним депонијским водама. Карактеришу их ниске почетне концентратије, али њихово присуство у дужем временском периоду може токсично деловати на животну средину и у минималним концентрацијама,

Концентрације хрома у истраживаном периоду од 3, 10, 30 и 100 показују нулте вредности концентрација.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентратија хрома на дну тела депоније је 0,4 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација хрома на дну тела депоније је у порасту до максималних 1,2 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације хрома на дну тела депоније од 200% у поменутом периоду. На слици 8.11 приказане су концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.11 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

У пријемном водном телу, након 300 година од почетка рада депоније, вредност концентрације хрома је $1,2 \times 10^{-5}$ mg/l. Максимална концентрација хрома ван локације депоније достиже своју вредност $1,4 \times 10^{-4}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације хрома на рецептору за 1067% у поменутом периоду.

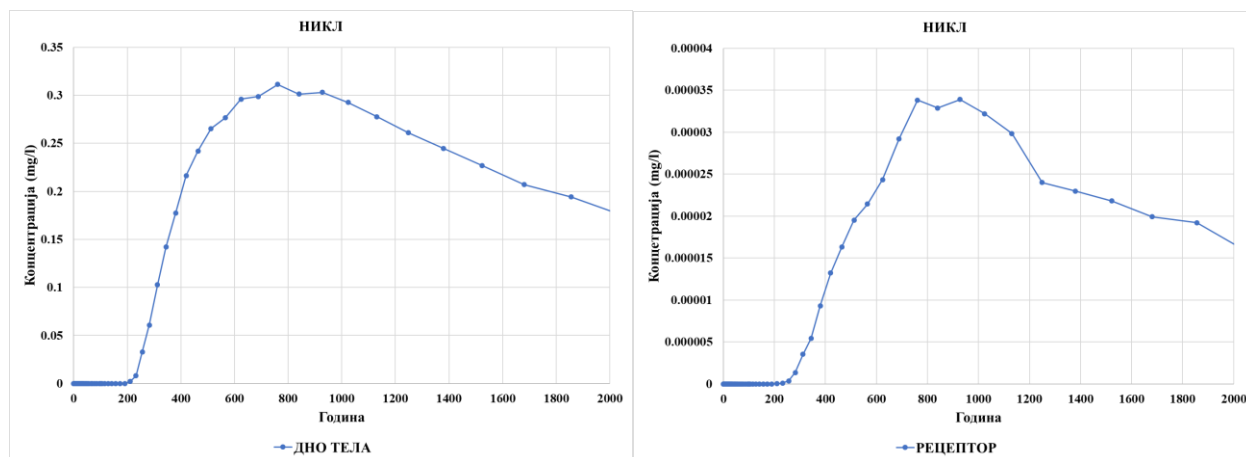
У периоду од 700 од почетка рада депоније, симулациони модели показују нагли тренд опадања концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору до 10 000. године рада депоније, када започиње процес стабилизације и након тога концентрација хрома више није детектована.

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније износи 1,2 mg/l и прелази за 140% максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70]. Изван локације депоније, концентрације хрома не прелазе дозвољене границе емисије у површинске воде од 0,025 mg/l према Уредби [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање хрома у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Вредности концентрација никла у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, од почетка рада депоније, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација никла, на дну тела депоније, је 0,1 mg/l. Од 300 до 800 година вредност концентрација никла на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,3 mg/l у 800. години, што указује на повећање концентрације никла на дну тела депоније од 200% у поменутом периоду. На слици 8.12 приказане су концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.12 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

На рецептору, након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације никла је 3×10^{-6} mg/l. Максимална концентрација никла достиже своју вредност $3,4 \times 10^{-5}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације никла на рецептору за 1033% у поменутом периоду.

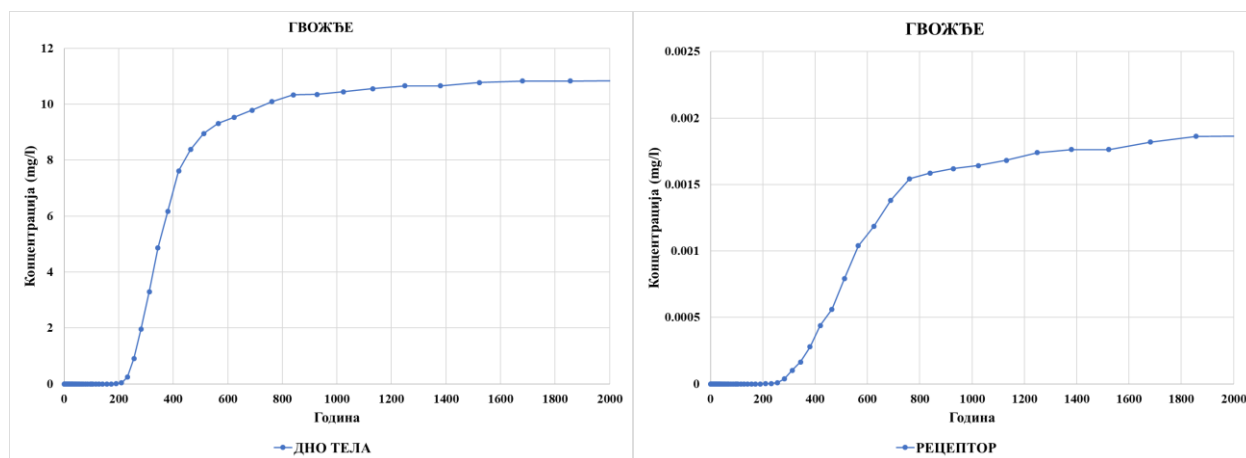
У периоду од 800 до 8000 година од почетка рада депоније, симулациони модели показују тренд опадања концентрације никла на дну тела депоније и рецептору. Након 8000 година креће процес стабилизације до 15 000 година када концентрације никла нису више детектоване. Овакав тренд промена концентрација никла добијено је и у истраживању Mishra et al. [30], где су поред концентрације никла, истраживани и други тешки метали, али само ван локације депоније.

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације никла на дну тела депоније и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање никла у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

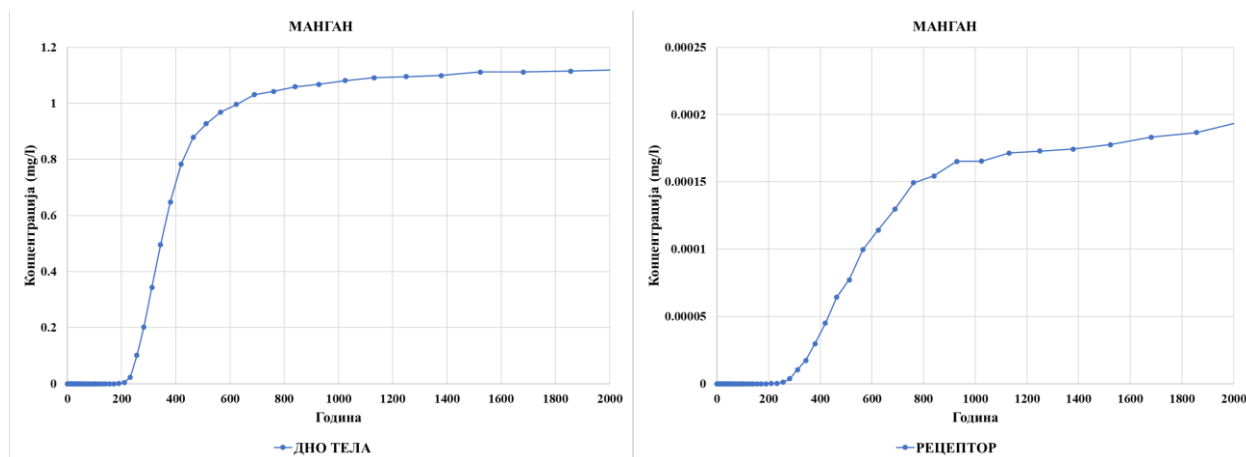
Концентрације гвожђа и мангана показују сличне трендове у вишеструким симулацијама LandSim-a. Почетни период симулираног периода не детектује концентрације гвожђа и мангана до 180. године када модели показују нагли тренд пораста концентрација.

Концентрација гвожђа на дну тела депоније у 300. години износи 2,8 mg/l, док изван локације износи 0.0001 mg/l. Након 800 година максималне концентрације гвожђа на дну тела депоније износе 11 mg/l и ван локације депоније износе 0.0019 mg/l, што указује на повећање концентрације гвожђа у периоду од 300 до 800 година од 293% на дну тела депоније и 1800% ван локације депоније. На слици 8.13 приказане су концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.13 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

Концентрација мангана на дну тела депоније у 300. години износи 0.3 mg/l, док изван локације износи $1,1 \times 10^{-5}$ mg/l. Након 800 година максимална концентрација мангана на дну тела депоније износе 1,08 mg/l и ван локације депоније износе 0,0002 mg/l, што указује на повећање концентрације мангана у периоду од 300 до 800 година од 500% на дну тела депоније и 1718% ван локације депоније. На слици 8.14 приказане су концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.14 концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

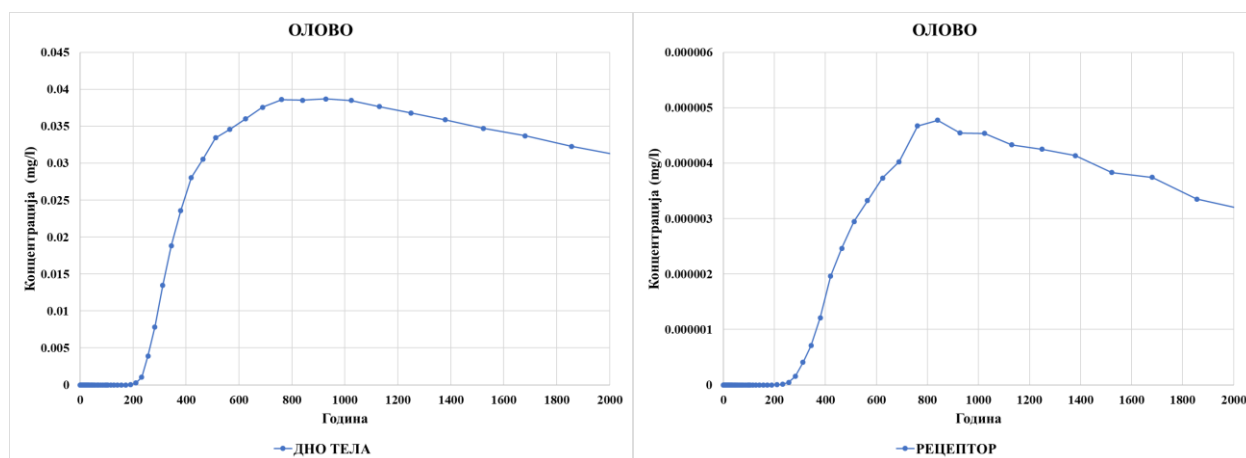
Концентрације гвожђа и мангана се стабилизују на вишем нивоу од око 800 година и остаје константна до краја истраживаног периода од 20 000 година. Овакви резултати забележени су и у истраживању Mishra et al. [30], где су концетрације гвожђа и мангана на високом нивоу до краја истраживаног периода. Разлог њихове стабилизације на вишем нивоу у дужем временском периоду може бити због тога што гвожђе и манган могу остати у својим редуцираним односно растворљивим формама у анаеробним условима. Такође, гвожђе и манган могу адсорбовати или апсорбовати на површини чврстих материја које се налазе у телу депоније као што су честице земљишта, органски отпад и сл., при чему стварају комплексе који ограничавају њихово разблаживање у води.

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације гвожђа и мангана на дну тела депоније реалног стања и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Концетрације олова у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, од почетка рада депоније, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концетрација олова на дну тела депоније је 0,01 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација олова на дну тела депоније је у наглом порасту до максималних 0,039 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације олова на дну тела депоније од 290% у поменутом периоду. На слици 8.15

приказани су концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.15 Модели концентрација олова на дну тела депоније и изван локације реалног стања депоније „Гигош“

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације олова је $3,5 \times 10^{-7}$ mg/l. Максимална концентрација олова ван локације депоније достиже своју вредност $4,7 \times 10^{-6}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације арсена ван локације депоније у поменутом периоду од 1243%.

У периоду од 800 од почетка рада депоније, симулациони модели показују тренд опадања концентрације олова на дну тела депоније и ван локације депоније, односно на рецептору, до краја симулираног периода без периода стабилизације у међувремену. Концентрације олова остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година и то у вредности од 0,001 mg/l.

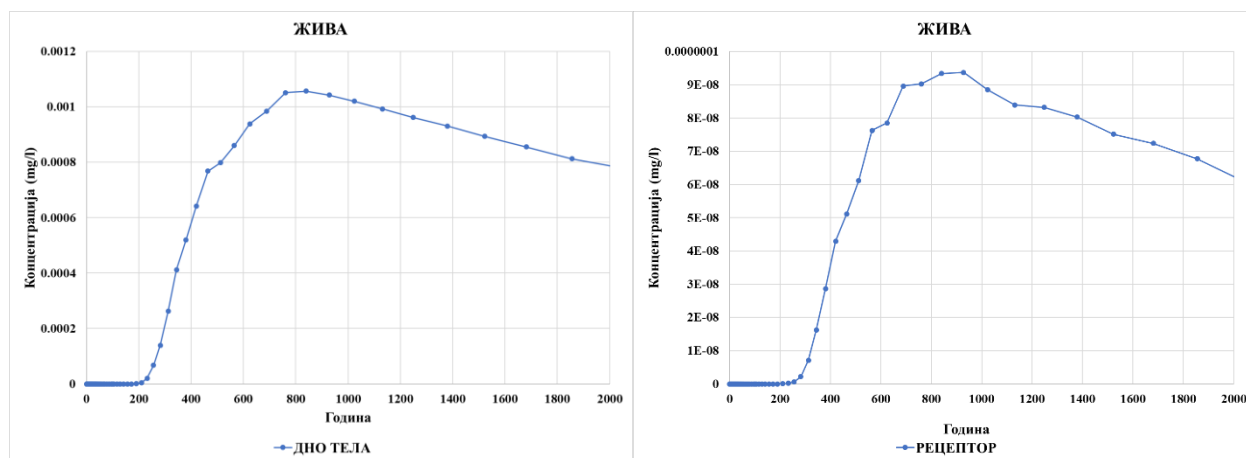
Симулирана вредност максималне концентрације олова на дну тела депоније реалног стања и на рецептору не прелазе граничне вредности које су дате Уредбама [70], [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање олова у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Вредности концентрација живе у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, од почетка рада депоније, нису детектоване на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација живе, на дну тела депоније, је 0,0002 mg/l. Од 300 до 800 година вредност концентрација живе на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,001 mg/l у 800. години, што указује на повећање концентрације живе на дну тела депоније од 400% у поменутом периоду.

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације живе је 9×10^{-9} mg/l. Максимална концентрација живе на рецептору достиже своју вредност од $9,5 \times 10^{-8}$ mg/l након 800 година. Ово указује на повећање концентрације живе у поменутом периоду за 956%. На слици 8.16 приказане су концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.16 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гигош“

У периоду од 800 година од почетка рада депоније до краја истраживаног периода, симулациони модели показују непрекидан тренд опадања концентрације живе на дну тела депоније и на рецептору. У истраживаном периоду нема процеса стабилизације већ концентрације живе остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година и то у вредности од $3,6 \times 10^{-5}$ mg/l на дну тела депоније и $2,4 \times 10^{-9}$ mg/l на рецептору.

Према Уредбама [70], [72], концентрације живе на дну тела депоније и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије у отпадним и површинским водама.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање живе у подземне воде. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Предикциони модели LandSim-а указују на прекорачење концентрација укупног азота, арсена и хрома у процедурним водама на дну тела депоније и нитрата на рецептору, у односу на граничне вредности дозвољених концентрација у отпадним водама и површинским које су одређене Уредбом [70], [72].

Максимална симулирана концентрација укупног азота у процедурним водама на дну тела депоније „Гигош“ показује вредност од 357 mg/l. Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније за 410% од дозвољене вредности.

Предикциони модел концентрације арсена у процедурним водама на дну тела депоније „Гигош“ показује вредност од максималних 0.37 mg/l након 200 година од почетка рада депоније, што представља увећану вредност од 270% у односу на вредност дозвољену Уредбом [70] и која износи 0.1 mg/l.

Максимална концентрација хрома израчуната предикционим моделом LandSim симулатора, и достигнута након 200 година рада депоније је 1.2 mg/l, што указује на увећану концентрацију хрома на дну тела депоније „Гигош“ од 140% у односу на граничну вредност емисије од 0.5 mg/l, која је дата Уредбом [70].

Максимална концентрација нитрата прелази граничну вредност емисије у површинске воде и 60 000 пута је већа од граничне вредности емисије нитрата у површинске воде, која је дата Уредбом [72].

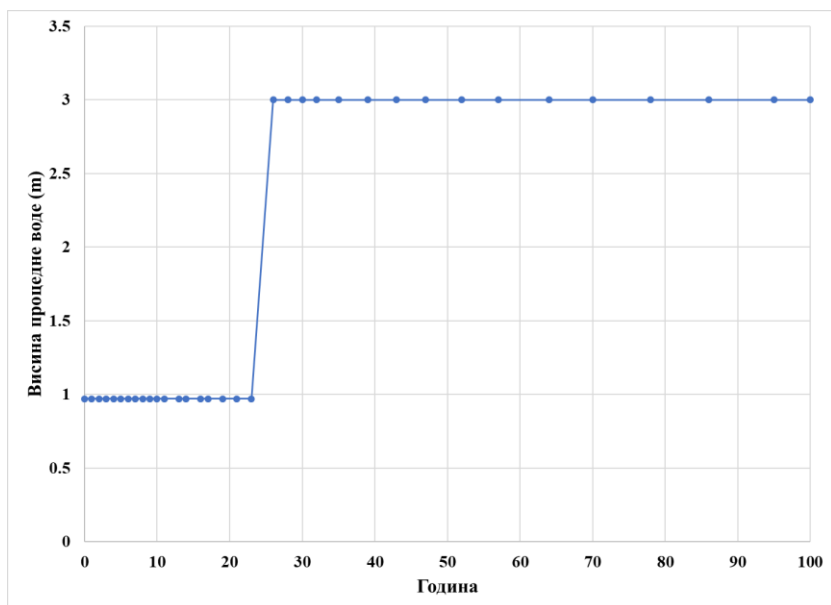
Предикционим моделима утврђено је да вредности концентрација на дну тела депоније преосталих компоненти не прелазе граничне вредности емисије у отпадне воде, дате Уредбом [70]. Такође, предикционим моделима утврђено је да вредности концентрација на рецептору не прелазе граничне вредности емисије у површинске воде, које су дате Уредбом [72].

Према Уредби [72], није дозвољено ни директно или индиректно испуштање нитрита, флуорида, никла, хрома, олова, арсена и живе у подземне воде. Предикционим моделима, установљено је да концентрације свих 7 компоненти након 180 година имају веће вредности од нуле. Према томе, након 200 година рада депоније, постоји потенцијални ризик негативног утицаја реалног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

8.1.3 Предикциони модели акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“

Акцидентно стање на депонији представља стање ванредних околности које се може догодити на локацији депоније, када би потенцијално дошло до промена унутар тела депоније, попут попуштања заштитних облога на дну тела депоније и негативног утицаја депоније на пријемна водна тела. Акцидентна стања на депонији могу укључивати неколико сценарија, од који је један мигрирање процедних депонијских вода у подземне или површинске воде које се налазе у близини локације акцидентног догађаја.

Предикциони модели акцидентног стања депоније „Гигош“ у софтверском алату LandSim указују на то да је у периоду тридесетогодишњег рада депоније, висина процедних вода на дну тела депоније у порасту са 0,9 m, од када је депонија почела са радом, на максималних 3 m током моделираних 300 година. Према моделу, нагли пораст висине процедних вода јавља се у 22. години од почетка рада депоније и достиже максималну висину од 3 m у 26. години радног века депоније, што је приказано на слици 8.17.



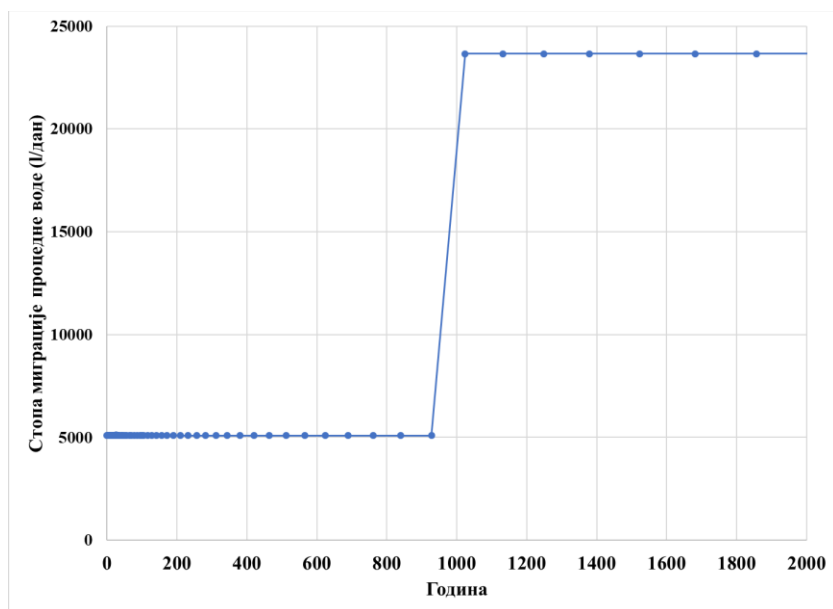
Слика 8.17 Висина процедне воде на дну тела депоније „Гигош“ (акцидентно стање)

Након 25 година од почетка рада депоније, предикциони модел акцидентног стања показује период наглог пораста висине процедне воде на дну депоније који се подудара са

временским периодом рада депоније, односно са периодом коначног попуњавања тела депоније, као и са максималном висином коју достиже отпад приликом одлагања.

Ток догађаја настанка процедурне воде на дну тела депоније се не разликује у сценаријама реалног и акцидентног стања јер зависи искључиво од воде које се инфилтрира у тело депоније, а не од заштитних облога које су постављене на дну тела депоније, па самим тим су сличне вредности висине процедурне воде на дну тела депоније „Гигош“ на примеру ова два сценарија.

Са друге стране, стопа миграције процедурне воде кроз ЕБС, односно у случају акцидентног стања кроз дно депоније, се значајно разликује у сценарију реалног и акцидентног стања, што је приказано на слици 8.18.



Слика 8.18 Предикциони модел стопе миграције процедурне воде кроз дно депоније „Гигош“ (акцидентно стање)

Слика 8.18 показује почетну константну миграцију процедурне воде кроз дно депоније од 5.000 l/дан, што одговара измереним вредностима просечне дневне количине процедурне воде у телу депоније измерене у лабораторији (3 360 l/дан) [102]. Након временског периода од 900 година, долази до наглог повећања миграције процедурне воде за 380% у односу на почетни период. Предикциони модел указује на максималну количину процедурне воде од 24.000 l/дан која мигрира кроз дно депоније и која настаје услед потпуне деградације тла депоније. Моделирана максимална количина процеде вода која мигрира кроз дно депоније

се такође подудара са измереном максималном количином процедурне воде која настаје у телу депоније, измерене у лабораторији и која износи 36 000 l/дан [102].

Даље истраживање у дисертацији фокусирано је на концентрације компонената процедурне воде на предикционом акцидентном стању депоније „Гигош“. Иницијалне вредности концентрација компонената унете у софтвер као улазни параметри, добијене су лабораторијским мерењима у 2018. години, а даље концентрације су симулиране и предвиђене за дужи временски период (3,10,30 и 100 година од акцидентног догађаја).

8.1.3.1 Резултати предикционих модела концентрација компонената акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“

Предикциони модели акцидентног стања Регионалне санитарне депоније „Гигош“ показују резултате вредности концентрација компонената на дну тела депоније и ван локације депоније на рецептору (Хајдучки поток) који се налази на око 150 m од локације депоније „Гигош“.

За разлику од реалног стања депоније „Гигош“, код модела акцидентног стања, концентрације компонената видљиво се повећавају након 5 година од почетка рада депоније и достижу своје максималне вредности до 10. године. Разлог оваквог тока концентрација компонената је одсуство заштитних слојева на дну депоније и брза апсорпција процедурних вода кроз отпад и тло [30]. Модели показују да су све компоненте присутне у одабраном временском интервалу до 30 година. Од приближно 8 до 100 година од почетка рада депоније, концентрације компонената остају релативно стабилне. Током овог периода, старење депоније још није почело, а стопа миграције процедурних вода је релативно константна.

Концентрације компонената углавном показују опадајући тренд након 200 година, као последица завршетка радног века депоније [140]. Разлике у дужини присутности зависе од врсте компоненти, на пример, тешки метали остају присутни у процедурној води до краја истраживаног периода од 20 000 година, јер се тешки метали посебно сматрају тешко растворљивим, док остале компоненте углавном нису присутне до краја истраживаног периода због њиховог својства брзе декомпозиције [176].

Овај тренд не прате концентрације гвожђа, мангана, нитрата и нитрита, већ показују тренд стабилизације на вишем нивоу након 10. године од почетка рада депоније, и њихове концентрације остају максималне до краја истраживаног временског периода од 20 000 година.

У табели 8.5 приказани су резултати симулираних предикционих модела акцидентног стања максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Гигош“ и рецептору, као и граничне вредности емисија одређене законским актима Републике Србије и Европске Уније.

Табела 8.5 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Гигош“ и рецептору добијене симулатором LandSim (акцидентно стање)

Компонента	Симулирана максимална концентрација компонената (mg/l)			
	Дно тела депоније	ГВЕ ¹ (mg/l)	Рецептор	ГВЕ ^{2,3,4} (mg/l)
Укупни азот	538	70	5.2	1
Нитрити	0.02	2	0.00019	0.01
Нитрати	3.44	70	0.027	10 ⁻⁸
Флуориди	0.038	50	0.0003	н.п.
Сулфати	207	400	1.67	50
Цијаниди	0.05	0.2	0.0002	0.05
Феноли	0.058	50	0.0004	0.001
Арсен	0.44	0.1	0.0038	0.005
Хром	1.68	0.5	0.015	0.025
Никл	0.43	1	0.0036	0.034
Гвожђе	10.5	200	0.09	0.2
Манган	1.08	5	0.009	0.05
Олово	0.048	0.5	0.0004	0.014
Жива	0.0014	0.05	9.8x10 ⁻⁶	0.00007

¹ Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање

² Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање

³ Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазадних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање

⁴ Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human

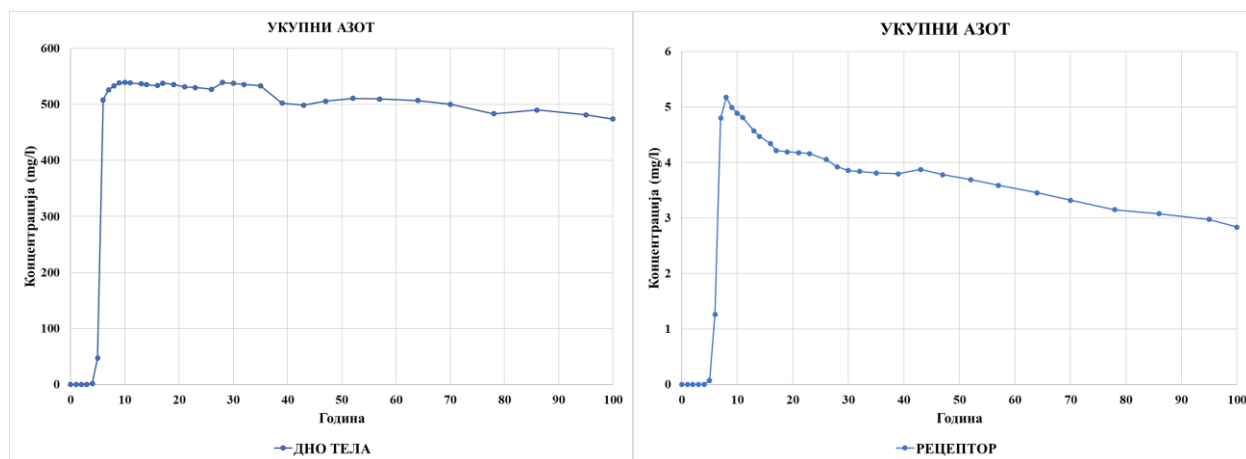
Н.п.- нема података

Вредности концентрације укупног азота на дну тела депоније и ван локације депоније показују исте трендове тока концентрација. У временским интервалима од 1. до 3. године од акцидентног догађаја (симулирани период) концентрације укупног азота нису детектоване ни на дну тела депоније нити на рецептору. Након 4. године, концентрације укупног азота

су у наглom порасту и у 10. години рада депоније достижу своје максималне вредности од 538 mg/l на дну тела и 5,2 mg/l на рецептору. Претходним истраживањима, доказано је да тло депоније, без заштитних облога, подлеже оштећењима већ након 8 година од почетка попуњавања депоније [30], [31], [140], што може објаснити период највиших концентрација које се налазе у процедурној води на дну тела депоније.

Након 10 година рада депоније следи период стабилизације на дну тела депоније, који траје све до периода између 150 и 200 година када концентрације укупног азота крећу нагло да опадају. Нагли пад концентрације укупног азота у поменутом периоду се може објаснити као последица краја животног века депоније, који траје између 180 и 200 година за депоније које немају заштитне облоге, односно за несанитарне депоније [140]. Концентрације укупног азота на дну тела депоније су у константом паду све до 6000 година, када више нису детектоване до краја истраживаног периода.

На слици 8.19 приказане су концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гугош“.



Слика 8.19 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гугош“

На рецептору, концентрације укупног азота крећу да опадају већ након 10 година. У 30. години рада депоније када се завршава период одлагања отпада, концентрација укупног азота се смањује на 4 mg/l, док након 100 година концентрација опада на 3 mg/l.

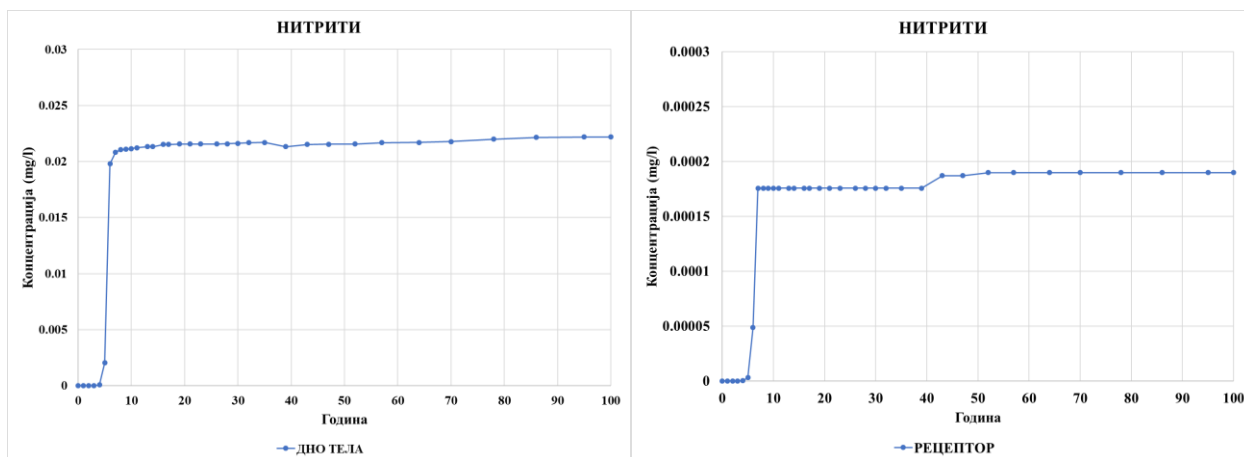
Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније за

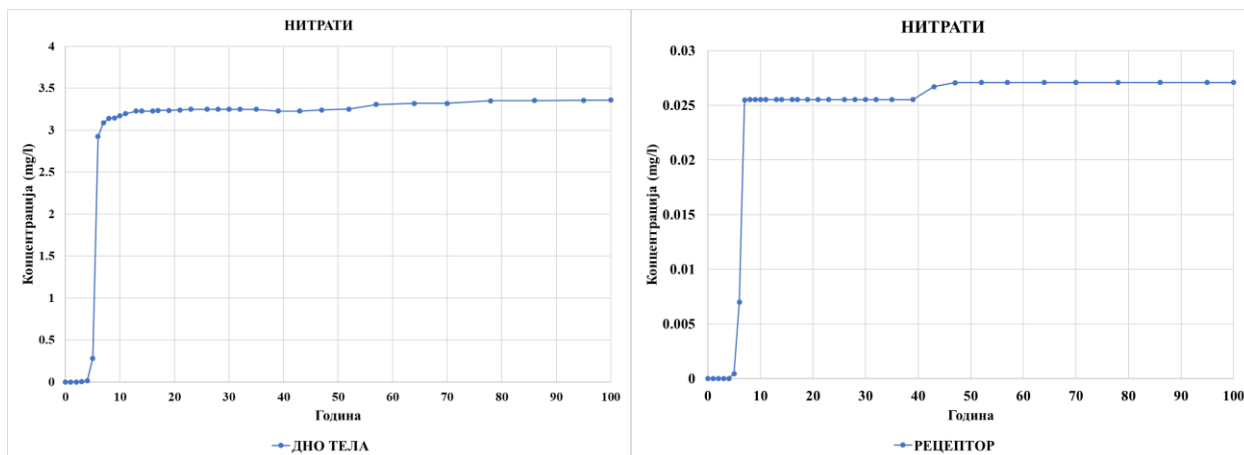
668,57% од дозвољене вредности дате Уредбом. Изван локације депоније, на рецептору, вредност максималне концентрације укупног азота од 5,2 mg/l прелази граничне вредности емисије од 1 mg/l дате Уредбом [72] за 420%.

Концентрације нитрита и нитрата, на дну тела депонија и изван локације депоније за акцидентно стање, показују исте трендове. До 3. године рада депоније, концентрације нитрита и нитрата показују нулте вредности. Након 4. године долази до наглог пораста концентрација нитрита и нитрата, када у 10. години достижу своје максималне вредности. Предикциони модели бележе максималну концентрацију нитрита на дну тела депоније у вредности од 0,022 mg/l, док је на рецептору та вредност 0,00019 mg/l.

Максимална концентрација нитрата на дну тела депоније је измерена у вредности од 3,44 mg/l на дну тела депоније и 0,025 mg/l на рецептору.

Након 10. године, почиње процес стабилизације нитрита и нитрата и без тренда опадања остају на својим максималним концентрацијама до краја истраживаног периода од 20 000 година. На слици 8.20 приказане су концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гугош“.





Слика 8.20 Концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Вредности максималних концентрација нитрита и нитрата на дну тела депоније и вредности максималних концентрација нитрита ван локације депоније за акцидентно стање, не прелазе граничне вредности емисије за отпадне воде дате Уредбом [70] и граничне вредности емисије у површинске воде, које су дате Уредбом [72]. Вредности максималних концентрација нитрата су 2,700,000 пута веће од граничне вредности емисије нитрата у површинске воде дате Уредбом [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање нитрита у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

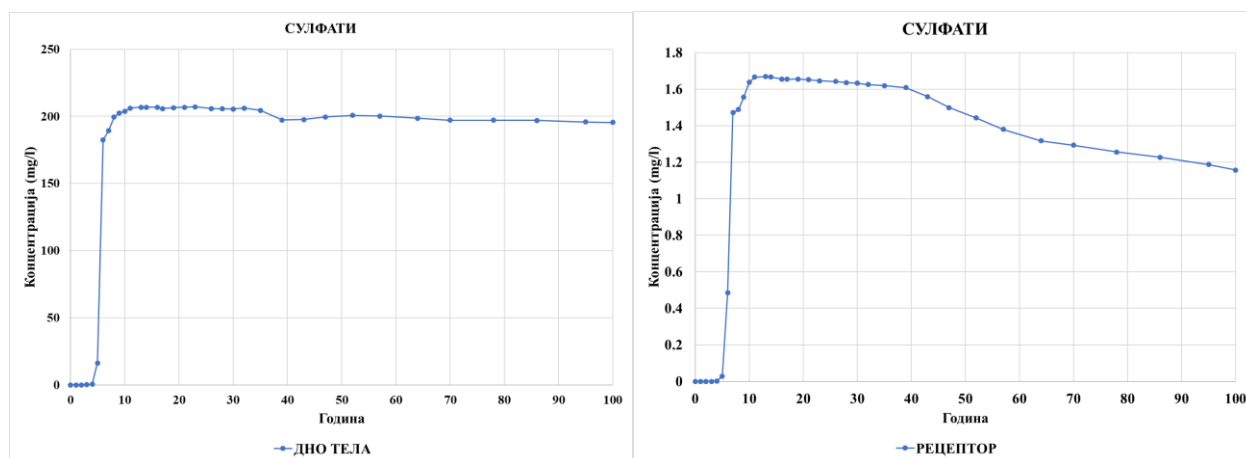
Концентрације сулфата и флуорида показују сличне трендове за акцидентно стање на дну тела депоније и на рецептору у вишеструким симулацијама LandSim-a.

Концентрације сулфата и флуорида нису детектоване у периоду до 3. године рада депоније. Након 4. године концентрације су у нагом порасту и достижу своје максималне вредности у 10. години рада депоније. Максимална вредност концентрације сулфата у процедурним водама, добијена предикционим моделима, је 207 mg/l на дну тела депоније и 1,67 mg/l на рецептору. Максимална вредност концентрације флуорида измерена је у износу од 0,038 mg/l на дну тела депоније и 0,0003 mg/l на рецептору.

У периоду између 10. и 100. године на дну тела депоније настаје процес стабилизације сулфата и флуорида на вредностима максималних концентрација. Након 100 година

концентрације показују тренд опадања. Измерене концентрације сулфата у 100. години показују вредности од 195 mg/l, што представља опадање концентрације у односу на максималну вредност концентрације сулфата за 5,08%. До краја истраживаног периода од 20 000 година концентрације сулфата су детектоване на 0,77 mg/l.

Концентрација сулфата у 100. години показује вредности од 1,15 mg/l на рецептору, док после 300 година концентрација сулфата се смањује за 53,33% и износи 0,75 mg/l. Концентрација сулфата, на рецептору, која је забележена након 8000 година је 0,01 mg/l, док након тога више није детектована. На слици 8.21 приказане су концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.

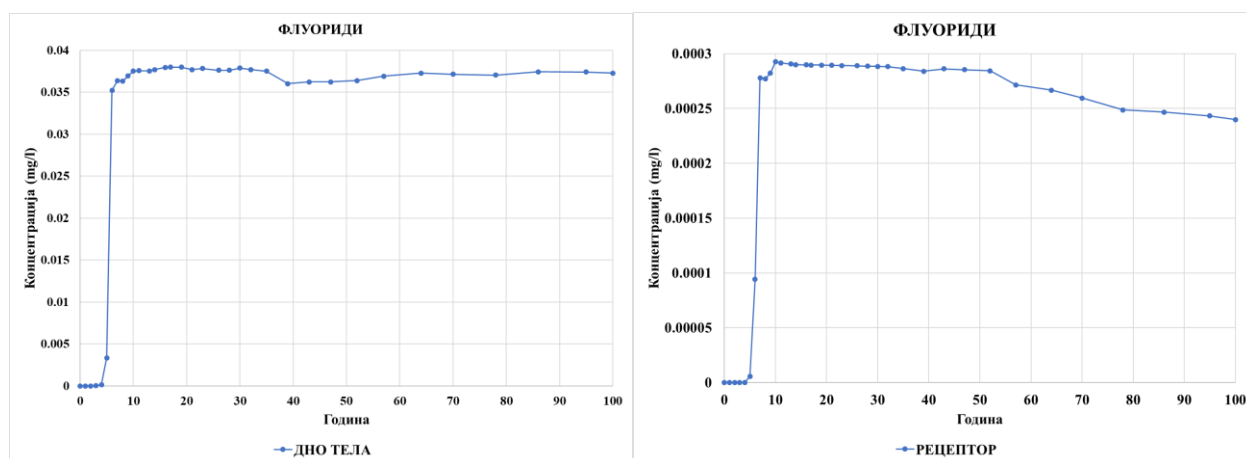


Слика 8.21 Концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Измерене концентрације флуорида показују нешто дужи период стабилизације, па тако вредност концентрације у 300. години на дну тела депоније показују вредности од 0.035 mg/l, што представља опадање концентрације флуорида у односу на максималну вредност концентрације за 7,89%. До краја истраживаног периода од 20 000 година концентрација флуорида на дну тела депоније је детектована у износу од 0,0005 mg/l.

Концентрација флуорида на рецептору након 100 година, је измерена у вредности од 0,00023 mg/l, док после 300 година опада за 21,74% на вредност од 0,00018 mg/l. Концентрација флуорида која је забележена након 14000 година на рецептору је $2,03 \times 10^{-6}$ mg/l, и након тога више није детектована. На слици 8.22 приказане су концентрације

флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.22 Концентрације флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

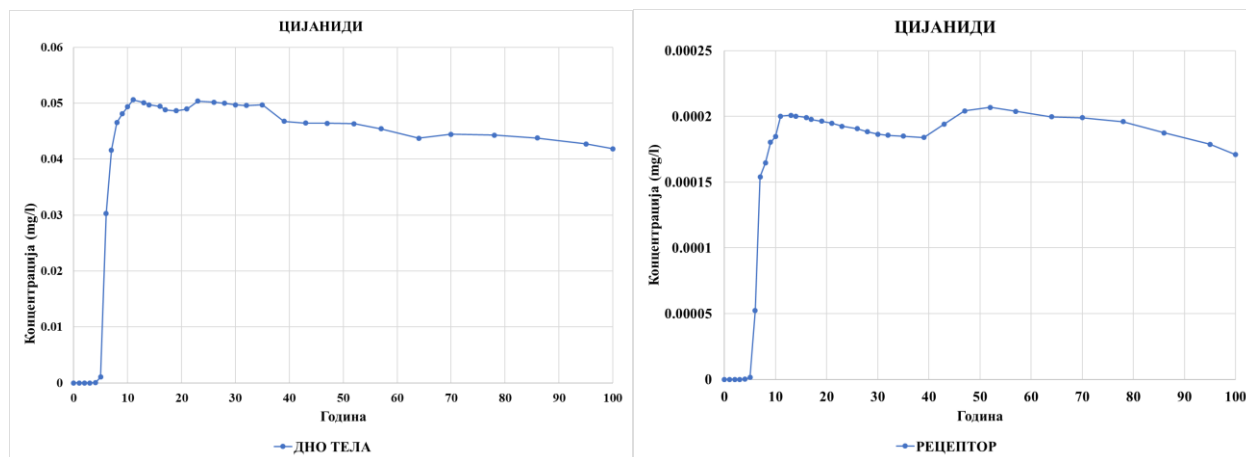
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације сулфата и флуорида на дну тела депоније и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање флуорида у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концентрације цијанида на дну тела депоније и изван локације депоније до 3. године рада депоније показују нулте вредности. Након 5. године концентрација цијанида је у наглом порасту до своје максималне вредности у 10. години и износи 0.05 mg/l на дну тела депоније и 0,0002 mg/l изван локације депоније. Процес стабилизације следи у периоду између 10 и 30 година на дну тела депоније и између 10 и 100 година изван локације депоније када се концентрација цијанида у процедурним водама не мења и остаје на максималној вредности. На дну тела депоније након 30 година концентрација цијанида опада за 18% и у 100. години износи 0,041 mg/l.

У периоду између 100 и 300 година креће процес опадања концентracије цијанида на рецептору за 50% и износи 0,0001 mg/l. Након 300 година ток концентracија цијанида је у константном опадању али остаје детектована на дну тела депоније све до 20 000 година када

износи 0,0002 mg/l. Изван локације депоније након 8000 година, концетрације цијанида више нису детектоване. На слици 8.23 приказане су концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.23 Концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

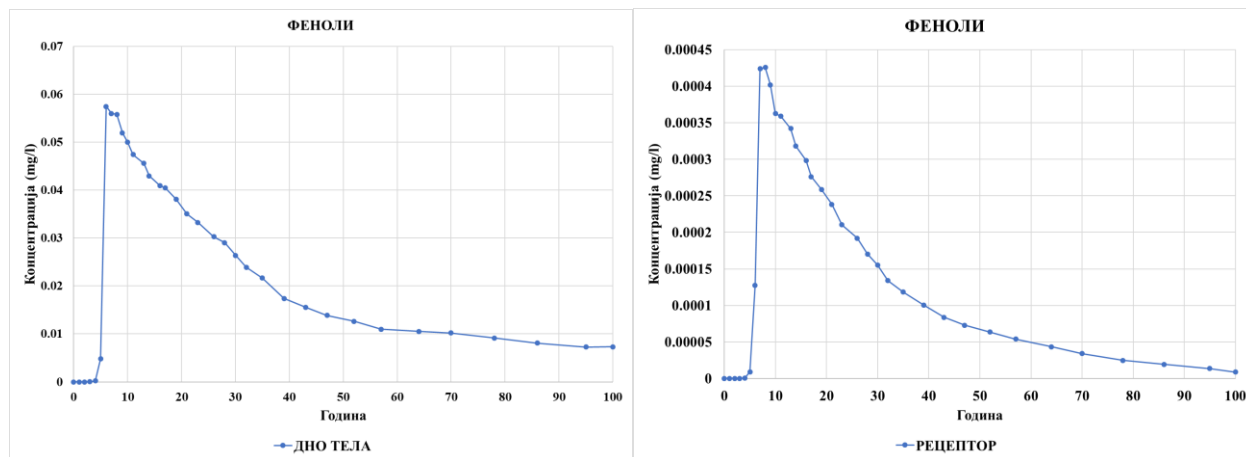
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације цијанида на дну тела депоније и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање цијанида у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концетрације фенола показују нешто мало другачије трендове од осталих компонената у процедурној води. У 3. години рада депоније, измерена концентрација фенола на дну тела депоније износи 0,0000034 mg/l, док је на рецептору $4,53 \times 10^{-9}$ mg/l. Већ у 6. години достиже своју максималну вредност од 0,058 mg/l на дну тела депоније и 0,0004 mg/l на пријемном водном телу, што представља повећање концетрације у периоду од 3. до 6. године за 1705,78% на дну тела депоније и за 8829,9% изван локације депоније.

Након достизања максималне вредности, концентрације фенола показују тренд опадања, када у 10. години вредност концетрације фенола опада на 0,05 mg/l на дну тела депоније и 0,00036 mg/l на рецептору, што представља пад концентрације фенола за 13,79% на дну тела депоније и за 10% изван депоније, у односу на њихову максималну достигнуту вредност.

У 30. години вредност фенола у процедурној води опада за још 50% на дну тела депоније и износи 0,25 mg/l и за 58,33% на рецептору када износи 0,00015 mg/l. Тренд опадања концентрације фенола се наставља и након 100 година опада за 72% на дну тела депоније и износи 0,007 mg/l и за 93,33% на рецептору када износи 0,00001 mg/l. На слици 8.24 приказане су концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.24 Концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Након 500 година концентрација фенола више није детектована у процедурној води на дну тела депоније, док већ након 140 година феноли више нису детектовани изван локације депоније.

Овакав ток концентрације фенола (као органске супстанце) у телу депоније јавља се као последица његове брзе декомпозиције у отпаду [176].

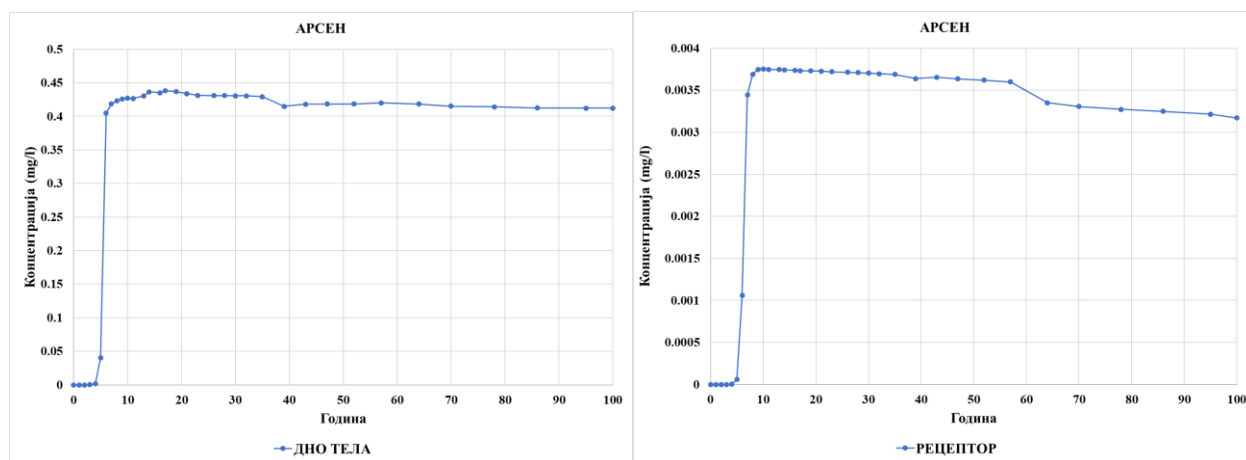
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације фенола на дну тела депоније и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Концентрација арсена у 3. години рада депоније, на дну тела депоније износи 0,0016 mg/l и 0,000025 mg/l на рецептору. Након 6 година, достиже своју максималну вредност од 0,44 mg/l на дну тела депоније и 0,0038 mg/l на рецептору, што представља повећање концентрације арсена у периоду од 3. до 6. године за 27,4 % на дну тела депоније и за 15,1% на рецептору.

Након достизања максималне вредности, концентрација арсена у процедурној води на дну тела депоније показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 11,36 % и износи 0,39 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација арсена на дну тела депоније, све до краја истраживаног периода од 20 000 година када износи 0,011 mg/l.

Изван локације депоније након 100 година, концентрација арсена опада за 18,42% и износи 0,0031 mg/l. После 300 година, концентрација арсена показује још већи тренд опадања и износи 0,0025 mg/l, што указује на пад концентрације за 19,35% . Као и на дну тела депоније, концентрације арсена на рецептору су детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација арсена у пријемном водном телу износи 0,00002 mg/l.

На слици 8.25 приказане су концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.25 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Симулирана вредност максималне концентрације арсена на дну тела депоније износи 0,44 mg/l и прелази за 340% максимално дозвољену концентрацију арсена у отпадним водама која износи 0,1 mg/l и дата је Уредбом [70]. На рецептору, концентрација арсена не прелази дозвољену границу емисије у површинске воде од 0,005 mg/l према Уредби [72].

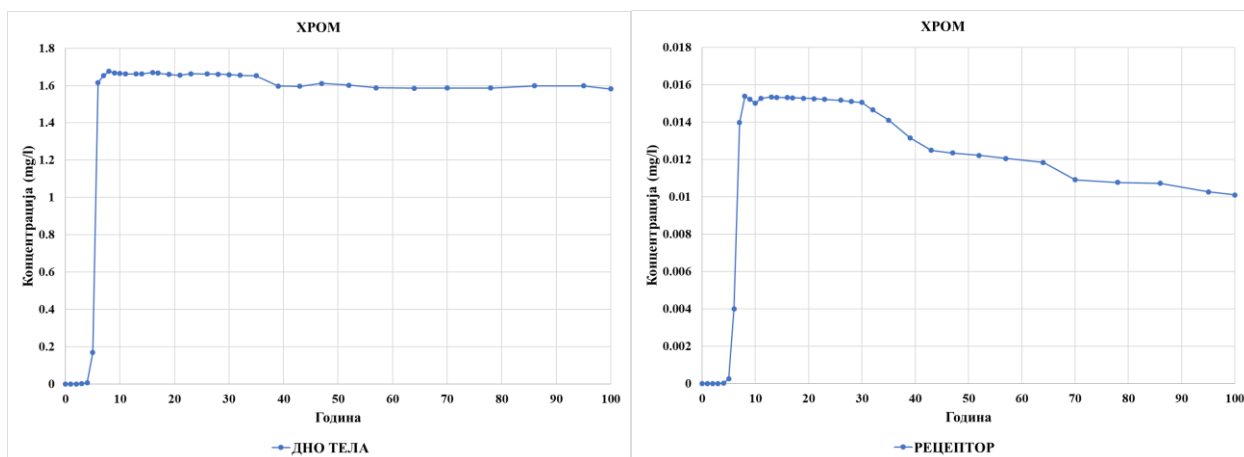
Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање арсена у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концентрација хрома у 3. години рада депоније, на дну тела депоније износи 0,0057 mg/l и 0,0002 mg/l изван локације депоније. Након 7 година, достиже своју максималну вредност од 1,68 mg/l на дну тела депоније и 0,015 mg/l изван депоније, што представља повећање концентрације хрома у периоду од 3. до 7. године за 29 374 % на дну тела депоније и за 7400 % на рецептору.

Након достизања максималне вредности, концентрација хрома у процедурној води на дну тела депоније показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 75,6 % и износи 0,41 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација хрома на дну тела депоније, све до краја истраживаног периода од 20 000 година када износи 0,00023 mg/l.

Изван локације депоније, у периоду између 10 и 30 година долази до стабилизације концентрације хрома, након чега следи тренд опадања концентрације. После 100 година, концентрација хрома опада за 33.33 % и износи 0,01 mg/l. После 300 година, концентрација хрома показује још већи тренд опадања изван локације депоније и износи 0,006 mg/l, што указује на пад концентрације за 40 % . Као и на дну тела депоније, концентрације хрома на рецептору су детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација хрома износи $2,18 \times 10^{-7}$ mg/l.

На слици 8.26 приказане су концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.26 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на рецептору износи 1,68 mg/l и прелази за 236 % максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70]. На рецептору, концентрације хрома не прелазе дозвољене границе емисије у површинске од 0,025 mg/l према Уредби [72].

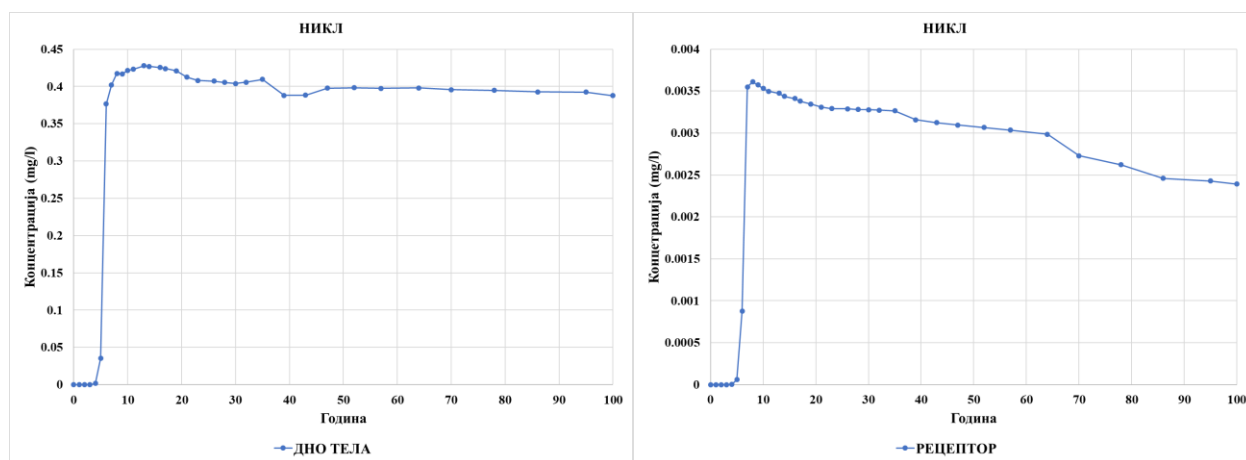
Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање хрома у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

Концентрације никла на дну тела депоније и на рецептору до 3. године рада депоније показују нулте вредности. У 3. години рада депоније симулирана вредност концентрације никла износи 0,0016 mg/l на дну тела депоније и $2,15 \times 10^{-6}$ mg/l на рецептору.

Након 5. године концентрација никла је у наглом порасту до своје максималне вредности у 8. години и износи 0.43 mg/l на дну тела депоније и 0,0036 mg/l изван локације депоније. Процес стабилизације следи у периоду између 10 и 100 година на дну тела депоније када се концентрација никла у процедурним водама не мења и остаје око максималне вредности, док изван локације депоније нема периода стабилизације већ након 10. године почиње тренд постепеног опадања концентрација никла. У 30. години када престаје период попуњавања депоније, концентрација никла на рецептору опада за 11,11% и износи 0,0032 mg/l. У периоду између 30 и 100 година концентрација никла је и даље у благом паду од 28,13% и износи 0,0023 mg/l.

На дну тела депоније након 100 година концентрација никла опада за 23,26 % и у 300. години износи 0,33 mg/l, док је у том периоду концентрација никла на рецептору опада за 39,13% и износи 0,0014 mg/l.

Након 300 година ток концентратија никла је у константном опадању али остаје детектована све до 20 000 година када износи 0,0001 mg/l на дну тела депоније и $2,14 \times 10^{-7}$ mg/l на рецептору. На слици 8.27 приказане су концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигиш“.

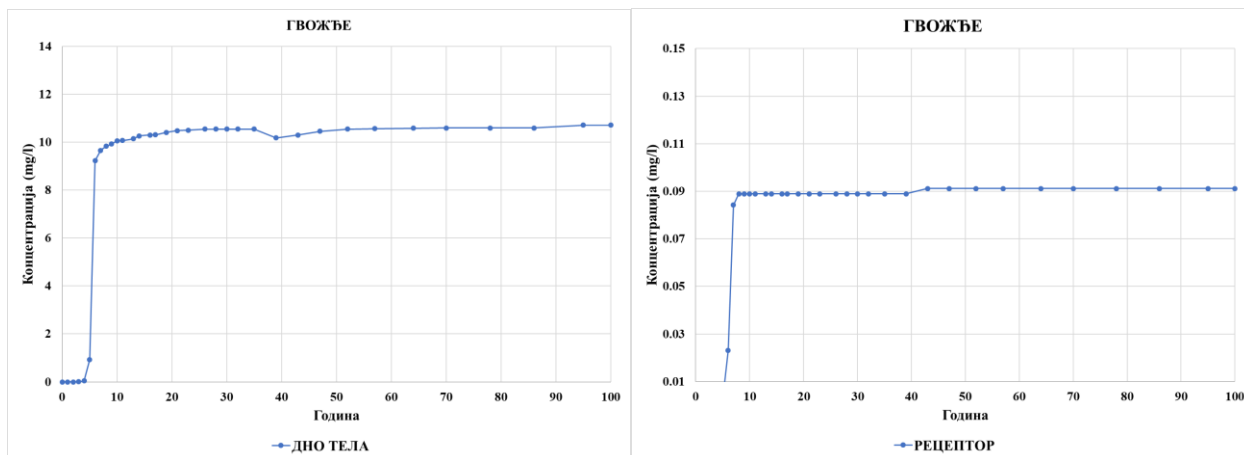


Слика 8.27 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигиш“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације никла на дну тела депоније и изван локације депоније на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање никла у подземне воде. Према томе, након 3 године од ванредног догађаја, постоји потенцијални ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигиш“ на подземне воде.

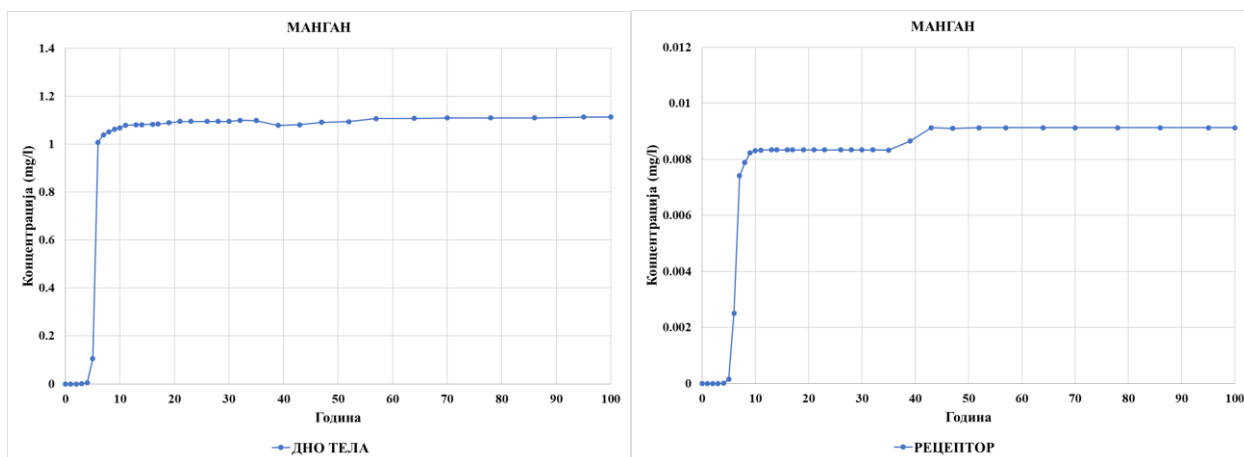
Концентрације гвожђа и мангана показују сличне токове промена концентрација на дну тела депоније и на рецептору. У 3. години рада депоније симулиране вредности концентрација гвожђа указују на вредност од 0,04 mg/l на дну тела депоније, док у том периоду нису детектоване изван локације депоније. На слици 8.28 приказане су концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигиш“.



Слика 8.28 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Концентрације мангана у 3. години указују на вредности од 0,004 mg/l на дну тела депоније и такође нису детектоване на рецептору.

Нагли пораст концентрација забележен је након 5. године, након чега концентрација гвожђа достиже своју максималну вредност од 10,5 mg/l на дну тела депоније и 0,09 mg/l ван локације, и то у 10. години рада депоније. Концентрације мангана у истом том периоду достиже своју максималну вредност у износу од 1,08 mg/l на дну тела депоније и 0,009 mg/l ван локације депоније. На слици 8.29 приказане су концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.29 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

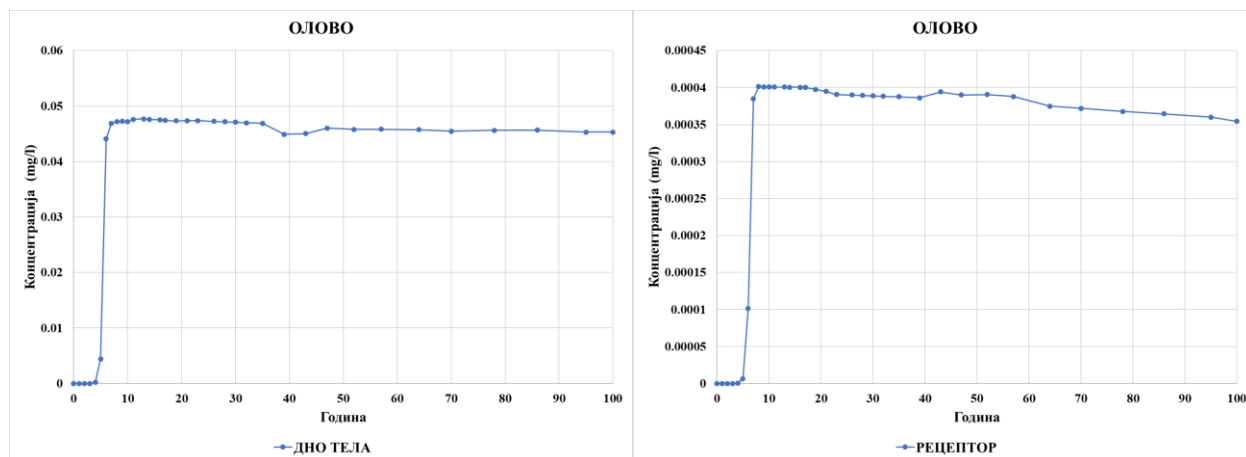
Карактеристичан ток концентрација гвожђа и мангана огледа се у томе што приликом достигања својих максималних вредности, остају у процесу стабилизације на највишим вредностима до краја истраживаног периода од 20 000 година и своје вредности не мењају.

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације гвожђа и мангана на дну тела депоније и изван локације депоније на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Концентрације олова у 3. години рада депоније износи 0,0002 mg/l на дну тела депоније, док на рецептору концентрације нису детектоване. Након 7 година, концентрације олова достижу своје максималне вредности од 0,048 mg/l на дну тела депоније и 0,0004 mg/l на рецептору.

Након достигања максималне вредности, концентрација олова у процедурној води на дну тела депоније показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 10,42 % и износи 0,043 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација олова све до краја истраживаног периода од 20 000 година када концентрација олова у процедурној води на дну тела депоније износи 0,0013 mg/l.

На рецептору тренд стабилизације траје од 10. до 100. године, када концентрација олова опада за 12,5 % и износи 0,00035 mg/l. После 300 година, концентрација олова показује још већи тренд опадања и износи 0,00026 mg/l, што указује на пад концентрације за 25,71% . Као и на дну тела депоније, концентрације олова на рецептору остају детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација олова изван локације депоније износи $1,37 \times 10^{-6}$ mg/l. На слици 8.30 приказане су концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.30 Концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације олова на дну тела депоније и у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање олова у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

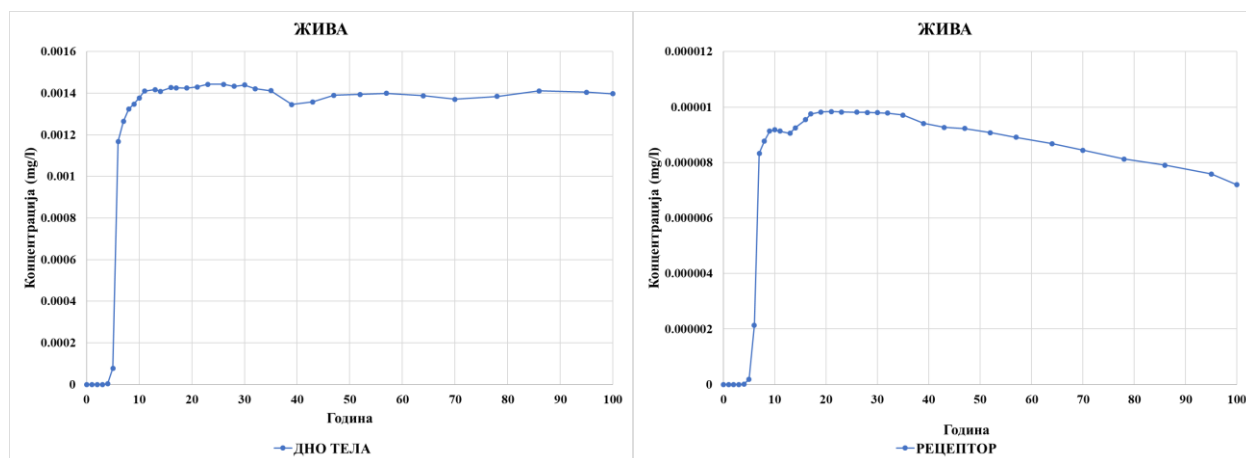
Концентрације живе, у почетном периоду рада депоније од 1. до 3. године, су приближно једнаке нултим вредностима на дну тела депоније и на рецептору. Концентрација живе је у наглом порасту од 5. до 10. године када достиже своју максималну вредност од 0,0014 mg/l на дну тела депоније и $9,8 \times 10^{-6}$ mg/l на рецептору.

Концентрација живе на дну тела депоније се стабилизује на својој максималној вредности у периоду од 10. до 100. године када следи тренд опадања концентрације живе. У 300. години измерена вредност живе опада у односу на максималну вредност за 14,29 % и износи 0,0012 mg/l.

Изван локације депоније, тренд стабилизације показује нешто другачији ток. У периоду између 10 и 30 година вредност живе остаје релативно константна око максималне вредности. Након 30. године примећује се тренд опадања концентрације живе, када у 100. години опада за 28,57% и износи 7×10^{-6} mg/l. У периоду између 100 и 300 пад концентрације живе је идентичан као у претходном периоду и то за 28,57% када износи 5×10^{-6} mg/l.

Вредност живе у процедурној води на дну тела депоније симулирана је до краја истраживаног периода од 20 000 година и износи 0,00004 mg/l, док ван депоније, ан рецептору, измерена вредност живе до краја симулираног периода износи $4,3 \times 10^{-8}$ mg/l.

На слици 8.31 приказане су концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“.



Слика 8.31 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације живе на дну тела депоније и у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање живе у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Гигош“ на подземне воде.

На основу приказаних резултата концентрација компоненти у процедурним депонијским водама на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“ може се видети да, од 14 репрезентативних компоненти, 3 компоненте прелазе граничне вредности емисије у отпадним водама, које су дате Уредбом [70] и то укупни азот, арсен и хром, док граничну вредност у површинским водама прелазе укупни азот и нитрати.

Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније за

668,57% од дозвољене вредности дате Уредбом. У пријемном водном телу вредност максималне концентрације укупног азота од 5,2 mg/l прелази граничне вредности емисије од 1 mg/l дате Уредбом [72] за **420%**.

Симулирана вредност максималне концентрације арсена на дну тела депоније, износи 0,44 mg/l и прелази за **340%** максимално дозвољену концентрацију арсена у отпадним водама која износи 0,1 mg/l и дата је Уредбом [70].

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније износи 1,68 mg/l и прелази за **236 %** максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70].

Вредности максималних концентрација нитрата су 2 700 000 пута веће од граничне вредности емисије нитрата у површинске воде дате Уредбом [72].

Према Уредби [72], члан 8, није дозвољено директно ни индиректно испуштање вода са загађујућим материјама у подземну воду, док се не одреди нулти ниво концентрације следећих загађујућих материја: жива, цијаниди, никл, хром, олово, арсен, флуориди и нитрати.

Како процедурне воде долазе до површинских вода и путем подземних пукотина и вода, може се закључити да акцидентно стање депоније може имати катастрофалне последице по животну средину, посебно на подземне воде, јер сви присутни анализирани метали и нитрити, у предикционим моделима, показују концентрације које су веће од нуле.

Од укупно 14 анализираних компоненти, 8 компоненти показују прекорачење дозвољених концентрација у подземне воде и то: нитрити, флуориди, жива, цијаниди, никл, хром, олово и арсен.

На крају, у случају несанитарних депонија или потенцијалних нежељених ванредних ситуација на санитарним депонијама, њихов утицај на животну средину може бити јако негативан, како на површинске тако и на подземне воде.

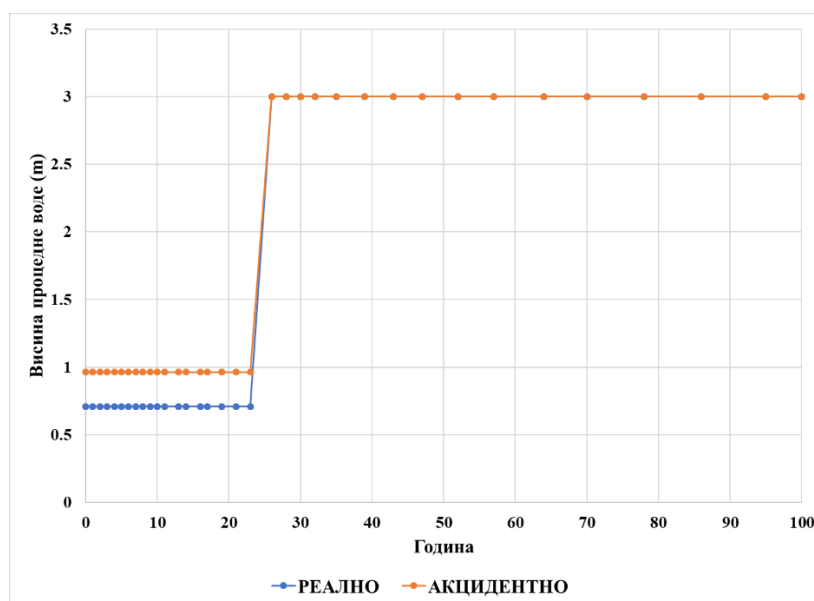
8.1.4 Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања на регионалној санитарној депонији „Гигош“

Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања депоније спроводи се како би се указао значај постојања система заштитних облога на дну тела депоније.

Упоредна анализа показује разлику између:

- Висине процедне воде на моделу реалног и акцидентног стања;
- Стопе миграције процедне воде кроз дно депоније на моделу реалног и акцидентног стања;
- Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања.

Висина процедне воде на дну тела приказује количину воде која се временом сакупља у телу депоније и концентрише се на самој бази тела депоније. Која количине процедне воде ће се генерисати у телу депоније, зависи пре свега од инфилтрације воде (падавина) у тело депоније, док количина воде која се сакупи на бази, зависи поред инфилтрације и од присутности дренажног система. На слици 8.32 приказана је висина процедна воде која се генерише на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Гигош“.



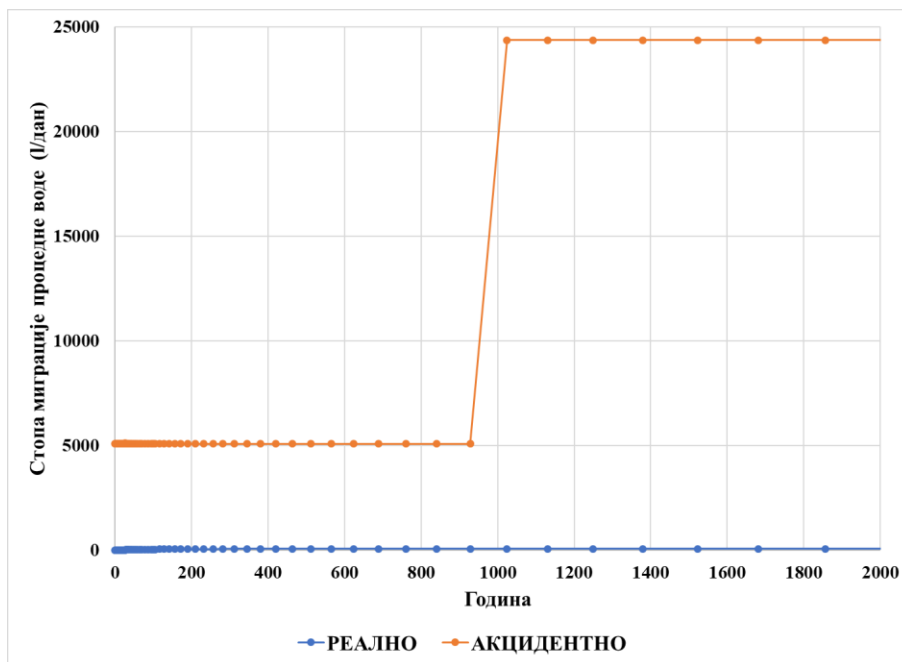
Слика 8.32 Висина процедна воде на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Гигош“

Као што се са слике 8.32 може видети, ток промене висине процедне воде на дну тела депоније на моделу реалног стања се не разликује од тока промене висине процедне воде на моделу акцидентног стања из разлога што је количина инфилтриране воде у тело депоније идентична током истраживаног периода у оба сценарија. Константа вредност висине процедне воде јавља се у периоду од 1. до 25. године рада депоније и то у вредности од 0,6 m у реалном стању и 0,9 m у акцидентном стању депоније, па тако ова разлика указује на то да је висина процедне воде у поменутом периоду у акцидентном стању увећана за око 50%, односно 1,5 пута у односу на реално стање депоније. Ова разлика у висини процедне воде јавља се као последица постојања дренажног система на моделу реалног стања депоније, док дренажни систем на моделу акцидентног стања не постоји.

Након периода од 25 година, када долази до затварања депоније и њене стабилизације, у оба сценарија висина процедне воде је у порасту до максималних 3 m, и остаје на тој вредности до краја истраживаног периода од 20 000 година.

Резултати стопе миграције процедне воде кроз тело депоније у ова два сценарија показују потпуно другачије токове и вредности у односу на резултате добијене за висину процедне воде. Модел реалног стања депоније показује почетне вредности стопе миграције процедне воде кроз дно тела депоније од 20 l/дан, док модел акцидентног стања показује на вредност од 5000 l/дан, што указује на то да је количина процедне воде која прође кроз тело депоније у акцидентном стању већа 250 пута у односу на количину процедне воде која прође кроз тело депоније реалног стања.

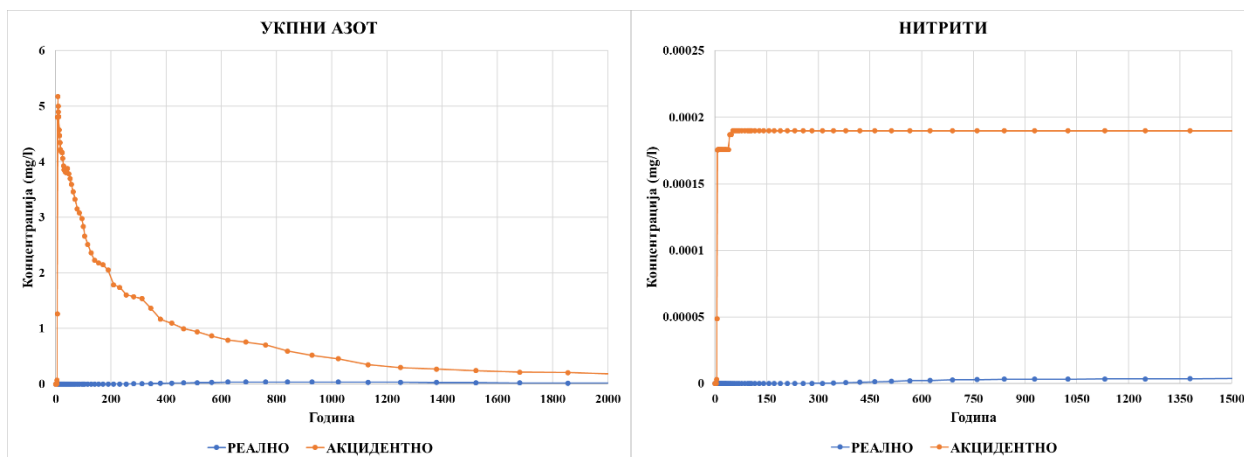
На слици 8.33 приказана је стопа миграције процедне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“.

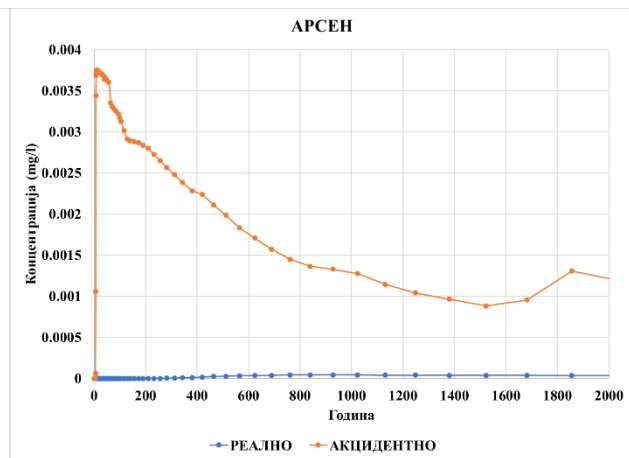
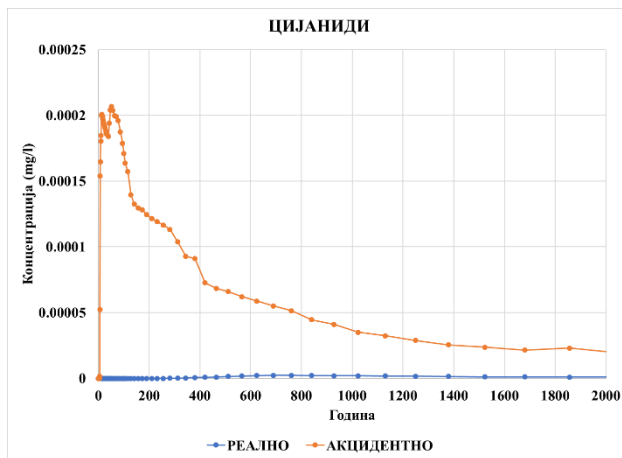
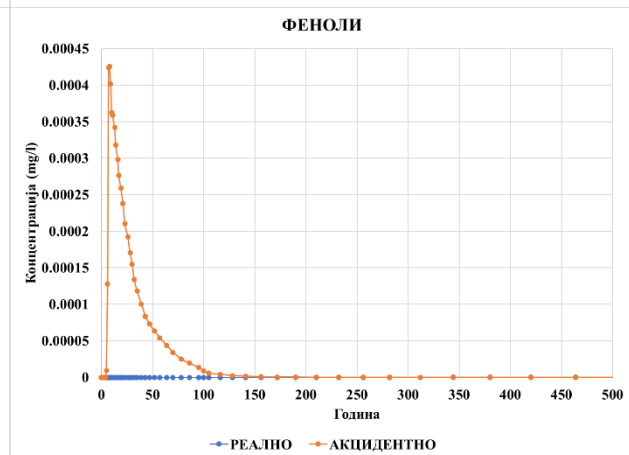
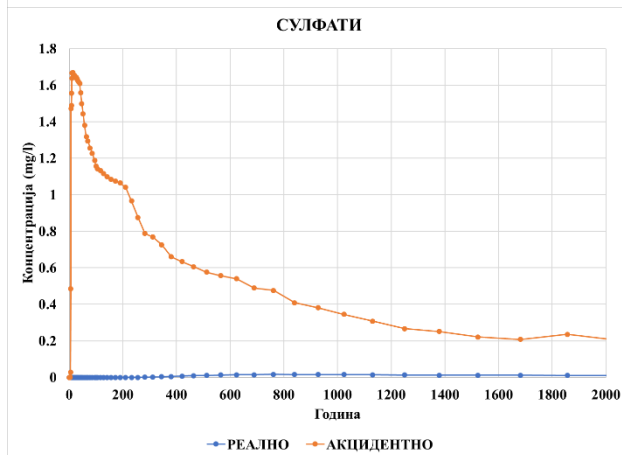
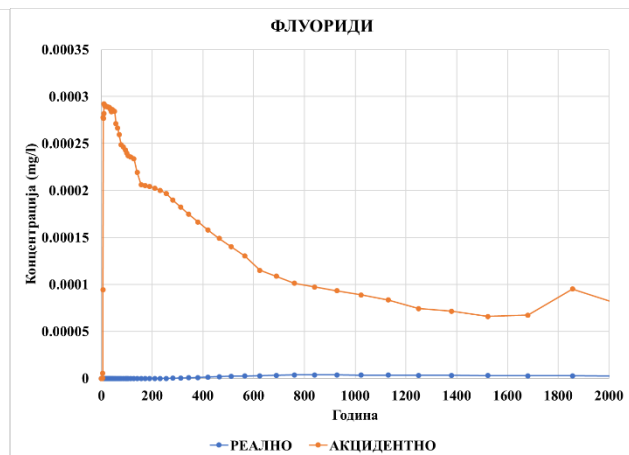
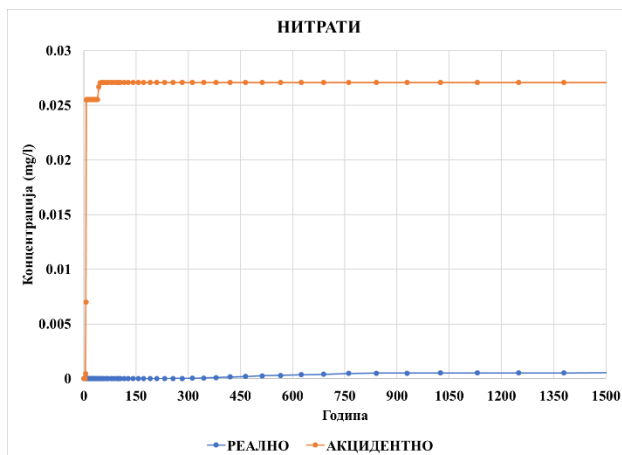


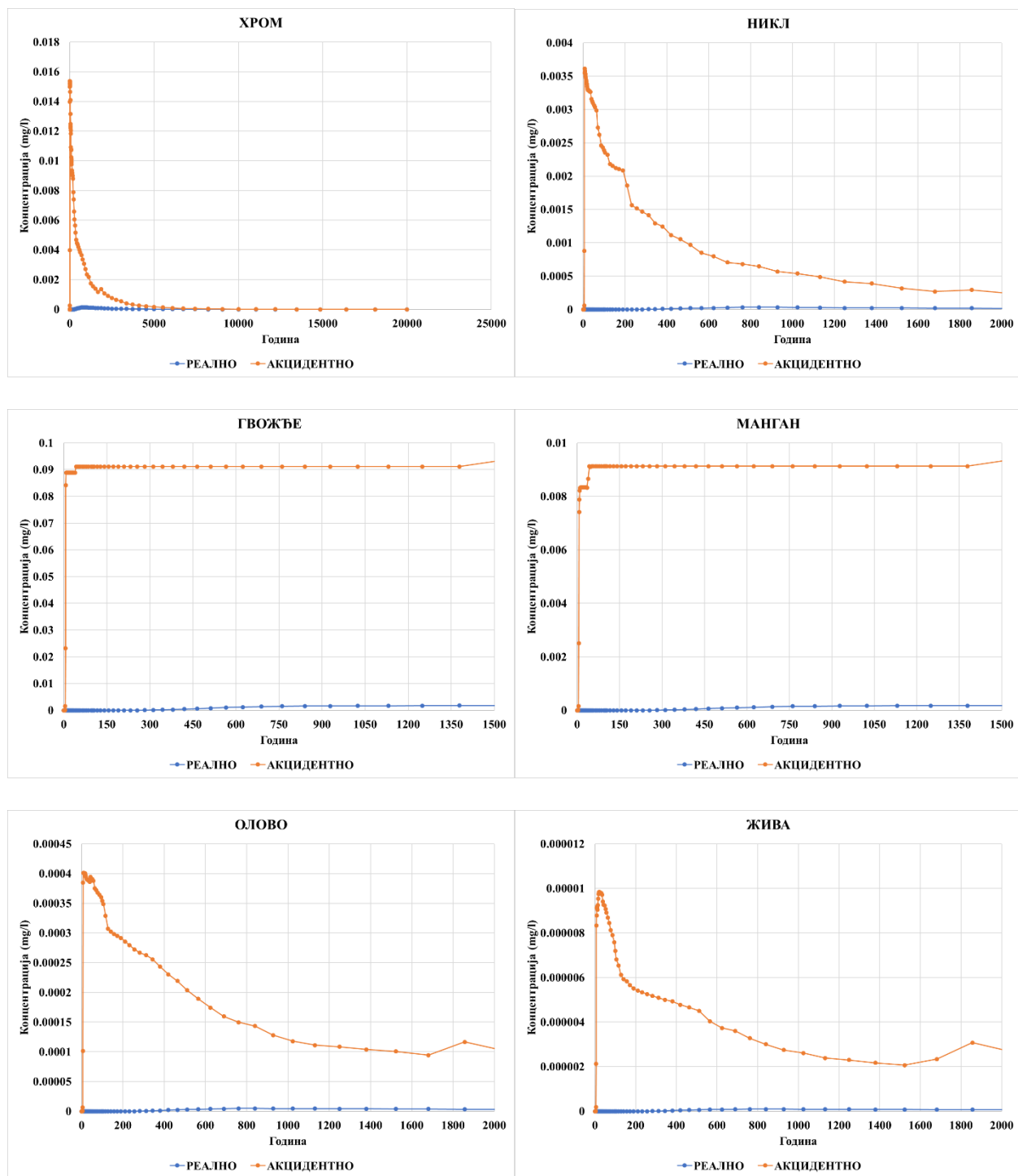
Слика 8.33 Стопа миграције проведне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“

Максимална вредност стопе миграције проведне воде кроз тело депоније на моделу реалног стања показује вредности од 70 l/дан, која је на моделу акцидентног стања увећана 343 пута и износи 24 000 l/дан.

У дисертацији су анализирани и концентрације компоненти које доспевају у пријемно водно тело (Хајдучки поток), на основу модела реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“. На слици 8.34 приказане се концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“.







Слика 8.34 Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Гугош“

Токови концентрација компоненти на моделу реалног стања и на моделу акцидентног стања показују различите промене у току истраживаног периода. Модел реалног стања указује на нулте вредности концентрација компоненти у пријемном водном телу у периоду између 180

и 250 година. Модел акцидентног стања указује на нулте вредности концентрација компоненти само до 3. године рада депонија. Разлика између тока промене концентрација компоненти настаје као последица постојања система заштитних облога на дну депоније реалног стања, која има век трајања између 180 и 200 година [31], док на моделу акцидентног стања систем заштитних облога не постоји. На основу ових чињеница и добијених резултата симулатором LandSim, може се закључити да је брзина продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније акцидентног стања 60 до 80 пута већа у односу на брзину продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније реалног стања.

Након 250 година концентрације компоненти на депонији реалног стања су у наглом порасту и достижу своје максималне вредности у периоду између 700 и 900 година. Претходним истраживањем Xiang et al [140], утврђено је да је животни век санитарне депоније између 300 и 650 година, чиме се објашњава нагли пораст концентрација на депонији реалног стања у поменутом периоду. Период достизања максималних концентрација компоненти на депонији акцидентног стања настаје у периоду између 6 и 10 година рада депоније у зависности од анализиране компоненте. Претходним истраживањем утврђено је да база депоније која нема систем заштитне облоге подлеже оштећењима већ након 8 година од почетка рада депоније [30], [31], [140]. На основу ових чињеница и добијених резултата симулатором LandSim, може се закључити да је брзина достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији акцидентног стања 90 до 120 пута већа у односу на брзину достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији реалног стања.

Вредности максималних концентрација компоненти на депонији акцидентног стања у односу на вредности максималних концентрација компоненти на депонији реалног стања представљене су фактором повећања и приказани су у табели 8.6.

Табела 8.6 Фактор повећања између концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног на депонији „Гигош“

Компонента	Реално стање (mg/l)	Акцидентно стање (mg/l)	Фактор повећања
Укупни азот	0,037	5,2	140,5
Нитрити	$3,5 \times 10^{-6}$	0,00019	54,29
Нитрати	6×10^{-4}	0,027	45
Флуориди	$3,7 \times 10^{-6}$	0,0003	81
Сулфати	0,016	1,67	104,38
Цијаниди	$2,4 \times 10^{-6}$	0,0002	83,33
Феноли	$1,7 \times 10^{-7}$	0,0004	2353
Арсен	$4,2 \times 10^{-5}$	0,0038	90,48
Хром	$1,4 \times 10^{-4}$	0,015	107,14
Никл	$3,4 \times 10^{-5}$	0,0036	105,88
Гвожђе	0,0019	0,09	47,37
Манган	0,0002	0,009	45
Олово	$4,7 \times 10^{-6}$	0,0004	85,11
Жива	$9,5 \times 10^{-8}$	$9,8 \times 10^{-6}$	103, 16

Табела приказује факторе повећања концентрација за сваку компоненту, где фактор повећања указује колико пута је концентрација компоненте у акцидентном стању већа у односу на реално стање.

Најнижи фактор повећања концентрација компоненти реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“ показују нитрати, нитрити, гвожђе и манган што се може објаснити посебним токовима промена концентрација ових компоненти у телу депоније и изван локације депоније, односно тиме што се показују особине теже растворљивих компоненти у процедурној води па показују тренд стабилизације на максималним концентрацијама до краја истраживаног периода у оба сценарија.

Највиши фактор повећања концентрација компоненти реалног и акцидентног стања депоније „Гигош“ показују феноли због њихове особине брзе декомпозиције у телу депоније, па се тиме ток промене концентрације знатно разликује на депонији која има систем заштитних облога на дну депоније и на депонији која нема система заштитних облога на дну тела депоније.

8.2 Модели санитарне депоније „Метерис“

Укупна локација депоније „Метерис“ покрива површину од 6,23 ha, а само тело депоније 3,1 ha, односно 30.670 m².

Одређивање количине процедних вода заснива се на следећим претпоставкама [32]:

- Извор инфилтрације су падавине које достижу на тело депоније као и вода која настаје као производ хемијских и биолошких реакција разградње чврстог комуналног отпада;
- Сав контакт површине воде са тереном око комплекса депоније се одводи на контролисан начин кроз дренажне канале;
- Подземне воде не могу да инфилтрирају тело депоније ни са страна ни са дна, односно подтла депоније;
- Кретање воде кроз тело депоније је усмерено вертикално наниже.

Просечна дневна количина процедних вода са површине тела депоније се рачуна на основу годишњих падавина у Врању и износи 9,92 m³/dan. Максимална дневна количина процедних вода са површине тела депоније се рачуна на основу максималних дневних падавина у Врању, које износе 90,5 m³/dan.

У дисертацији, истраживање је спроведено на основу 14 репрезентативних параметара и то: феноли, укупни азот, нитрати, нитрити, сулфати, цијаниди, флуориди, арсен, хром, никл, гвожђе, манган, олово и жива.

8.2.1 Валидација података добијених софтвером LandSim поређењем са лабораторијским анализама узорака процедних вода са депоније „Метерис“

Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Метерис“, добијени на основу реалних лабораторијских анализа узорака процедних вода, приказани су у табели 8.7.

Табела 8.7. Улазни параметри за моделирање реалног стања депоније „Метерис“ софтверским алатом LandSim

Улазни параметри	Вредност	Извор
Инфилтрација		
Инфилтрација на површини депоније (mm/год)	647	[171]
Геометрија депоније		

Дужина основе депоније (m)	170			[171]
Ширина основе депоније (m)	225			[171]
Површина основе депоније (ha)	3.825			[171]
Површина депоније (ha)	4.65			[171]
Висина отпада (m)	30			[171]
Вредности компонената у процедурним водама				
	Мин	Просечна	Макс	
Укупни азот (mg/l)	148.45	486.63	932.7	[172]
Нитрати (mg/l)	127.1	460.75	904	[172]
Нитрити (mg/l)	3.51	7.5	12.13	[172]
Сулфати (mg/l)	226.9	281.25	319.6	[172]
Флуориди (mg/l)	7.07	12.5	15.5	[172]
Цијаниди (mg/l)	0.042	0.0625	0.09	[172]
Арсен (mg/l)	0.05	0.05	0.05	[172]
Олово (mg/l)	0.01	0.03	0.05	[172]
Жива (mg/l)	0.001	0.001	0.001	[172]
Хром (mg/l)	0.6	1.1	1.6	[172]
Никл (mg/l)	0.11	0.22	0.45	[172]
Гвожђе (mg/l)	1.66	6.8	12.2	[172]
Манган (mg/l)	0.25	0.255	0.26	[172]
Феноли (mg/l)	0.45	1.097	1.8	[172]
Дренажни систем				
Кондуктивност (m/s)	0.0003 - 0.003			[171]
Висина (m)	0.5			[171]
Систем заштитних баријера (ЕБС)	Композитни ЕБС (HDPE)			
Висина минералног слоја (m)	1 - 1.5			[171]
Хидрауличка проводљивост (m/s)	$2 \cdot 10^{-11}$			[132]
Лонгитудинална дисперзивност (m)	0.1 – 0.15			10% од висине минералног слоја [132]
Незасићена зона	Седименти			
Дужина (m)	10-15			[171]
Хидрауличка проводљивост (m/s)	$1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-4}$			[132]
Засићена зона				
Хидрауличка проводљивост (m/s)	0.0002, 0.002, 0.02			[132]

У дисертацији су, коришћењем Ландсима, извршене су симулације у циљу предикције концентрација различитих компонената у процедурним депонијским водама. Такође је спроведена упоредна анализа података који су добијени лабораторијским анализама узорака процедурних вода са депоније „Метерис“ и података добијених симулацијама LandSim софтверским пакетом за петогодишњи период од 2018. године до 2022. године

За проверу одступања симулираних вредности LandSim предикционих модела од вредности лабораторијских анализа, коришћен је t -тест за зависне узорке.

У табели 8.8 приказани су резултати концентрација компоненти у процедурним водама депоније „Метерис“ добијених лабораторијским анализама и резултати концентрација компоненти добијених LandSim симулацијама.

Табела 8.8 Резултати концентрација компоненти у процедурним водама депоније „Метерис“ добијених лабораторијским анализама и резултати концентрација компоненти добијених LandSim симулацијама

Р. бр.	Компонента	Резултати лабораторијских анализа (mg/l)					Резултати LandSim симулација (mg/l)				
		2018	2019	2020	2021	2022	2018	2019	2020	2021	2022
1	Укупни азот	486.5	583.7	527.2	168.4	296.3	509.415	448.072	403.846	370.552	343.423
2	Нитрити	7.985	5.355	3.563	0.673	9.42	7.01236	7.01236	7.01236	7.01236	7.01236
3	Нитрати	461.1	508.8	374.133	142.235	83.07	382.245	382.245	382.245	382.245	382.245
4	Сулфати	281.925	249.25	412.266	213.35	110.275	299.903	284.265	270.717	257.37	244.865
5	Флуориди	12.645	3.91	4.38	19.7	8.79	14.2977	13.5592	12.9514	12.3065	11.715
6	Цијаниди	0.0625	0.062333	0.3133	0.28	0.074667	0.086072	0.081922	0.080213	0.078611	0.076343
7	Арсен	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.052336	0.051697	0.051225	0.050982	0.050814
8	Хром	0.945	0.265	1.646667	1.6	0.4675	1.36874	1.26564	1.19153	1.11002	1.03722
9	Никл	0.2425	0.225	0.216667	0.19	0.1	0.42962	0.325568	0.226122	0.155327	0.110655
10	Гвожђе	6.855	1.475	2.416667	1.9975	1.6975	6.32036	6.32036	6.32036	6.32036	6.32036
11	Манган	0.255	0.1325	0.13333	0.3	0.16	0.52517	0.52517	0.52517	0.52517	0.52517
12	Олово	0.025	0.1	0.1	0.02	0.0525	0.046644	0.044799	0.043442	0.042282	0.04112
13	Жива	0.001	0.0015	0.001	0.003	0.005	0.001989	0.001889	0.001808	0.001745	0.001657
14	Феноли	1.097	2.6025	1.56	3.2875	1.30375	1.85434	1.73016	1.61429	1.50619	1.40532

Приликом спровођења парног t-теста [174], упоређена су два сета података који су међусобно повезани, вредности лабораторијских анализа и симулационе вредности за исту компоненту. Израчуната је разлика између парова података (мерена вредност - симулациона вредност за сваку годину), а затим је проверено да ли је просечна разлика значајно различита од нуле користећи t-статистику.

Као и на моделу депоније „Гигош“, p-вредностима се утврдило да ли је резултат теста статистички значајан, тј. да ли постоји вероватноћа да се посматрани подаци (или екстремнији од посматраних) јављају под претпоставком да је нулта хипотеза тачна. Нулта хипотеза је да не постоји разлика између средњих вредности концентрација компоненти анализираних у лабораторији и симулираних вредности у предикционом моделу LandSim софтвера.

Уобичајени праг за статистичку значајност p-вредности је 0.05, и све вредности веће од те указују на то да разлике између реалних и симулираних вредности нису статистички значајне, односно нема довољно доказа да се одбаци нулта хипотеза која тврди да не постоји значајна разлика између реалних и симулираних вредности.

На основу добијених резултата, приказаних у табели 8.9, закључује се да статистички значајно одступање постоји у вредностима за арсен (разлог је константна концентрација реалних вредности), гвожђе и манган (разлог је константна симулирана вредност) па је стандардна девијација минимална у ова три случаја.

Осталих 11 компоненти показују да нема статистички значајних одступања у вредностима измерених вредности од вредности које су добијене симулацијама.

Ово указује на висок ниво поузданости симулационих модела у односу на реалне вредности концентрација компонената у лабораторији.

Табела 8.9 Статистичка валидација реалних и симулираних вредности компонената процедурне воде на депонији „Метерис“

		Укупни азот	Нитрити	Нитрати	Сулфати	Флуориди	Цијаниди	Арсен	Хром	Никл	Гвожђе	Манган	Олово	Жива	Феноли
Измерене вредности	m	412.4200	5.3992	313.867 6	253.4132	9.8850	0.1586	0.0500	0.9848	0.19	2.8883	0.1962	0.059 5	0.002 3	1.9702
	SD	155.5820	3.1165	170.899 5	98.1408	5.8508	0.1133	0.0000	0.566 4	0.05	2.0083	0.0686	0.034 9	0.001 5	0.8379
Симулиране вредности	m	415.0616	7.0124	382.245 0	271.4240	12.9660	0.0806	0.0514	1.194 6	0.25	6.3204	0.5252	0.043 7	0.001 8	1.6221
	SD	58.7047	0.0000	0.0000	19.3873	0.9083	0.0033	0.0005	0.116 0	0.12	0.0000	0.0000	0.001 9	0.000 1	0.1588
	t	0.0412	0.9730	0.7611	0.3885	0.9531	1.2552	3.6145	0.680 6	1.265	2.7058	5.3802	0.859 4	0.566 0	0.7488
p- вредност		0.9681	0.3590	0.4684	0.7078	0.3684	0.2448	0.0068	0.5153	0.241	0.0268	0.0007	0.4151	0.5869	0.4754
RMSE		202.20	124.2757	3.5093	184.0709	91.2553	6.8195	0.1384	0.0015	0.10	0.2222	3.9764	0.3361	0.0383	0.0017
PRMSE		0.47	0.3013	0.6500	0.5865	0.3601	0.6899	0.8731	0.0303	0.50	1.1403	1.3767	1.7133	0.6440	0.7412

m- медијана, просечна вредност

SD- стандардна девијација

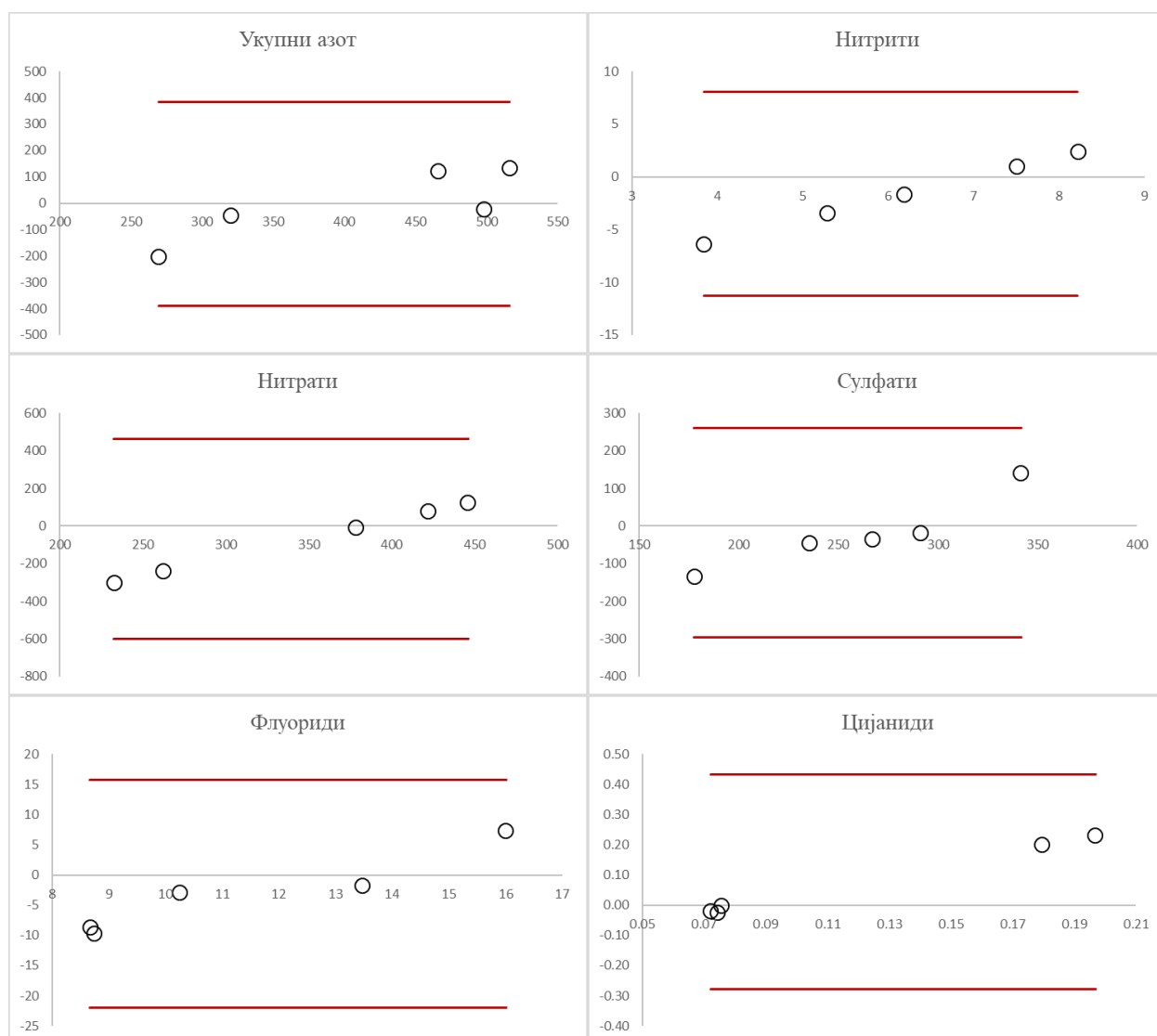
|t|- тест статистика

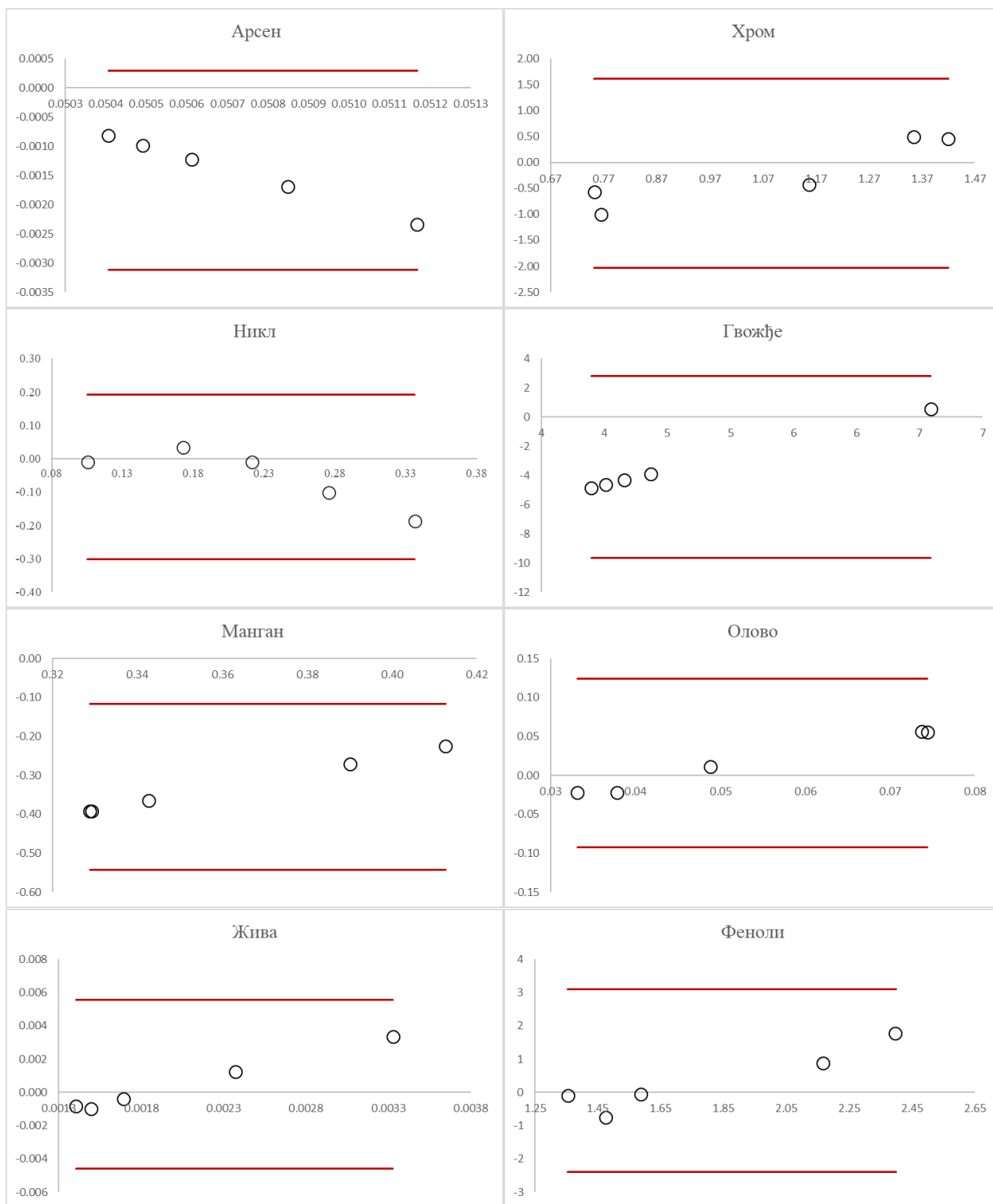
p- праг статистичке значајности

RMSE- корен средње-квадратне грешке

PRMSE- корен средње-квадратне грешке (релативно у односу на измерене вредности)

На моделу „Метерис“ приказана је складност две мере једне исте појаве уз помоћ Bland Altman метода [175]. Координатне осе графикана (слика 8.35), према поменутој методи, представљају средњу вредност два мерења, лабораторијски и симулационо, (x-оса) и разлика првог и другог мерења (y-оса). Све тачке би требало да се налазе груписане око нулте разлике, тј. око x осе. На свакој слици је приказан и интервал поверења око просечне разлике измерене и симулиране вредности. Уколико се нулта разлика налази унутар интервала, то је знак да се вредности два начина мерења подударају.





Слика 8.35 Интервал поверења око просечне разлике реалне и симулиране вредности (x оса-средња вредност два мерења, y-оса разлика првог и другог мерења)

На основу добијених статистичких података Bland Altman методом, може се закључити да се нулта разлика скоро код свих концентрација налази унутар интервала поверења, што би требало да је показатељ склада реалних и симулираних вредности. Једина компонента код које то није случај јесте манган. Разлог за то су свакако премале концентracије (премала варијанса) реалних вредности мангана, као што је и раније наведено.

Резултати анализе указују на то да не постоји значајна статистичка разлика између два сета података, лабораторијским анализама концентрација компоненти у процедурној води на депонији „Метерис“ и симулираних вредности у предикционим моделима добијених у софтверу LandSim за исте компоненте. Ово указује на висок ниво поузданости симулационих модела у односу на реалне вредности. На основу ових резултата, можемо закључити да симулациони модели пружају адекватне процене концентрација компонената, што је од значаја за даље планирање и предвиђање утицаја загађења на животну средину.

8.2.2 Предикциони модели реалног стања санитарне депоније „Метерис“

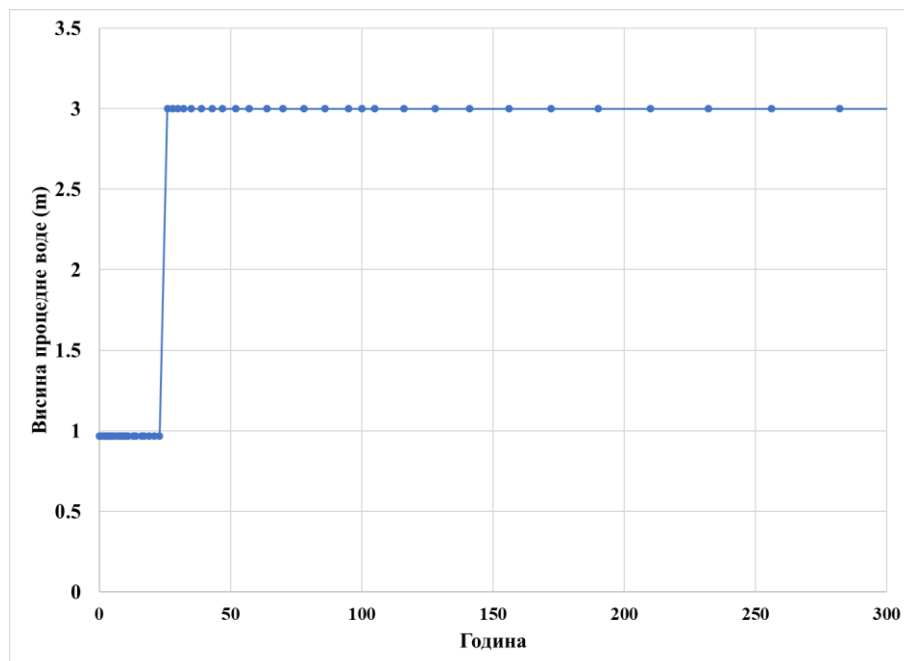
Изабрани временски периоди у симулатору су, као и за модел депоније „Гигош“, 3, 10, 30 и 100 година за 1.000 итерација. Поред одабраних периода, уколико се јави присутност процедурних вода и одређених компоненти у телу депоније и у пријемном водном телу у дужем временском периоду, модел приказује податке и за период од 20 000 година.

Резултати реалног стања санитарне депоније „Метерис“ добијени симулатором LandSim показују:

- висину процедурне воде на дну депоније,
- стопу миграције процедурних вода кроз дно депоније,
- концентрације компонената на дну тела депоније и
- концентрације компонената на тачки ван локације (локација реципијента тј, Батлијски поток- 100 m од локације депоније).

Симулације LandSim-а указују на то да је у периоду тридесетогодишњег рада депоније, висина процедурних вода на дну тела депоније у порасту са 0,96 m, од када је депонија почела са радом, на максималних 3 m током моделираних 300 година.

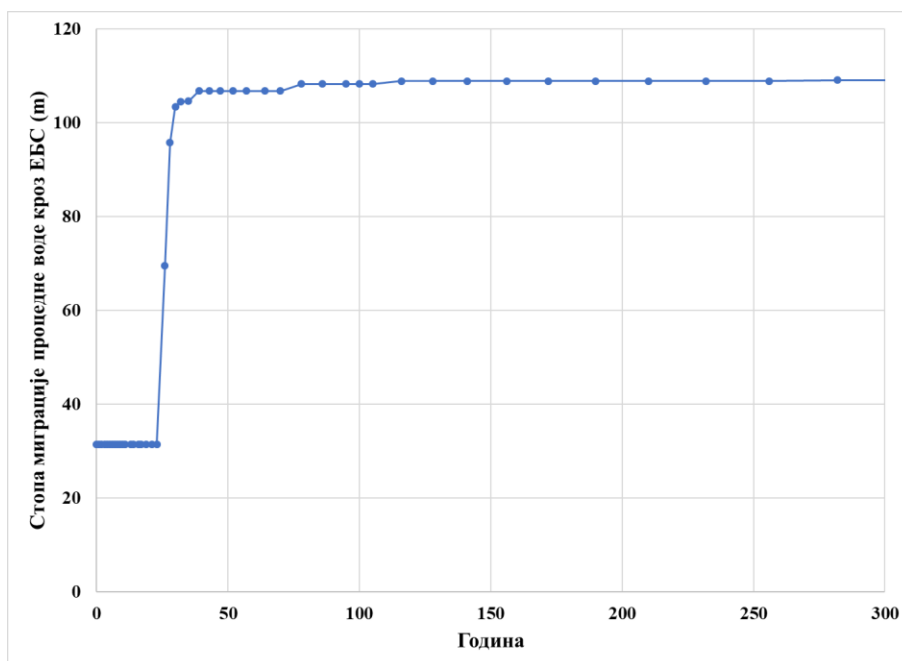
Према моделу, нагли пораст висине процедних вода јавља се у 22. години од почетка рада депоније и достиже максималну висину од 3 m у 26. години радног века депоније, што је приказано на слици 8.36.



Слика 8.36 Висина процедурне воде на дну тела депоније „Метерис“ (реално стање)

Као и на моделу депоније „Гигош“, након 25 година од почетка рада депоније, предикциони модел депоније „Метерис“ показује период наглог пораста висине процедурне воде на дну депоније који се подудара са временским периодом рада депоније, односно са периодом коначног попуњавања тела депоније [31].

Стопе миграције процедурних вода кроз композитну облогу су, као и на моделу „Гигош“, израчунате коришћењем вишеструких симулација LandSim-a, и показују да је минимална количина протицања процедурне воде кроз дно депоније 31,5 l/дан. Та количина процедурне воде остаје релативно константна до 23. године од почетка рада депоније када почиње нагли раст до свог максималног износа од 109 l/дан након 150 година, што је приказано на слици 8.37. Овај период наглог раста количине протицања процедурне воде кроз заштитну облогу подудара се са веком трајања ЕБС-а [140].



Слика 8.37 Стопа миграције процедне воде кроз ЕБС на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Као што се може видети са слике 8.37, за период до 3. и до 10. године рада депоније, стопа миграције је релативно константна у вредности од 31 л/дан. Овај тренд константности остаје све до 23. године рада депоније када се јавља нагли пораст стопе миграције процедне воде кроз ЕБС. У 30. години рада депоније стопа миграције процедних вода кроз ЕБС се у односу на 10. годину повећала за 232.26% и износи 103 л/дан. Након тога стопа миграције је у поновном порасту од 3,88% до 100 година рада депоније и износи 107 л/дан. У периоду од 150. године долази до почетка деградације ЕБС-а и тада стопа миграције процедних вода кроз исту достиже свој максимум од 109 л/дан која остаје константа до 20 000 година.

Иницијалне вредности концентрација компонената унете у софтвер као улазни параметри, добијене су лабораторијским мерењима у 2018. години на депонији „Метерис“, а даље концентрације су симулиране и предвиђене за дужи временски период (3,10,30 и 100 година).

8.2.2.1 Резултати предикционих модела концентрација компонената реалног стања санитарне депоније „Метерис“

Предикциони модели реалног стања депоније „Метерис“ показују резултате вредности концентрација компонената на дну тела депоније и ван локације депоније на рецептору (Батлијски поток) који се налази на око 100 m од локације депоније „Метерис“.

Симулиране вредности концентрација компонената добијене у моделу показују да нема значајних концентрација за првих 170 до 200 година, што се подудара са веком трајања заштитне облоге постављене на дну депоније. Након тога, концентрације компонената достижу своје максималне вредности у периоду између 300 и 800 година. Модели показују да су све компоненте присутне у одабраном временском интервалу до 300 година, а након тога, концентрације укупног азота, фенола и сулфата нису евидентне након дужег временског периода због њихових својстава брзе разградње [176]. Концентрације хрома, никла, нитрата, нитрита, флуорида, цијанида, арсена, олова, гвожђа, мангана и живе су присутне чак и у периоду до 20.000 година, због чињенице да ове компоненте деле својства високог фактора ретардације [12]. У табели 8.10 приказани су резултати симулираних предикционих модела максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору, као и граничне вредности емисија одређене законским актима Републике Србије и Европске Уније.

Табела 8.10 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору добијене симулатором LandSim

Компонента	Симулирана максимална концентрација компонената (mg/l)			
	Дно тела депоније	ГВЕ ¹ (mg/l)	Рецептор	ГВЕ ^{2,3,4} (mg/l)
Укупни азот	636	70	0.083	1
Нитрити	13	2	0.003	0.01
Нитрати	880	70	0.2	10 ⁻⁸
Флуориди	12	50	0.0017	н.п.
Сулфати	300	400	0.043	50
Цијаниди	0.09	0.2	1.13x10 ⁻⁵	0.05
Феноли	0.07	50	9x10 ⁻⁶	0.001
Арсен	0.047	0.1	9.2x10 ⁻⁶	0.005
Хром	1.2	0.5	1.7x10 ⁻⁴	0.025
Никл	0.45	1	5.9x10 ⁻⁵	0.034
Гвожђе	13	200	0.0034	0.2
Манган	0.98	5	0.00021	0.05

Олово	0.048	0.5	7.9×10^{-6}	0.014
Жива	0.002	0.05	2.7×10^{-7}	0.00007

¹ Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање

² Уредба о граничним загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање

³ Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазадних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање

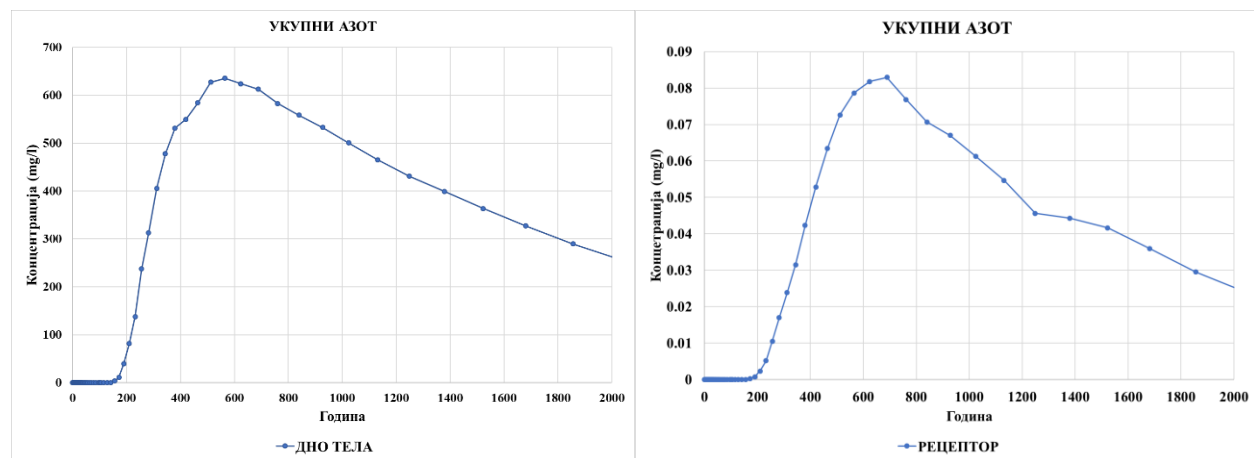
⁴ Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human

Н.п.- нема података

Вредности концентрација укупног азота у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору, односно изван локације депоније.

Након 160 година вредност концентрација укупног азота на дну тела депоније је у наглом порасту и у 300. години износи 370 mg/l. Од 300 до 600 година вредност концентрација на дну тела депоније је у порасту до максималних 636 mg/l у 600. години, што указује на повећање концентрације укупног азота од 71.89% у поменутом периоду.

У пријемном водном телу, након 200 година вредност концентрације азота је у наглом порасту и у 300. години достиже вредност од је 0.022 mg/l. Максимална концентрација укупног азота на рецептору депоније достиже своју вредност од 0.083 mg/l након 600 година. Ово указује на повећање концентрације укупног азота ван локације депоније у поменутом периоду од 277,27%. На слици 8.38 приказане су концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.38 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

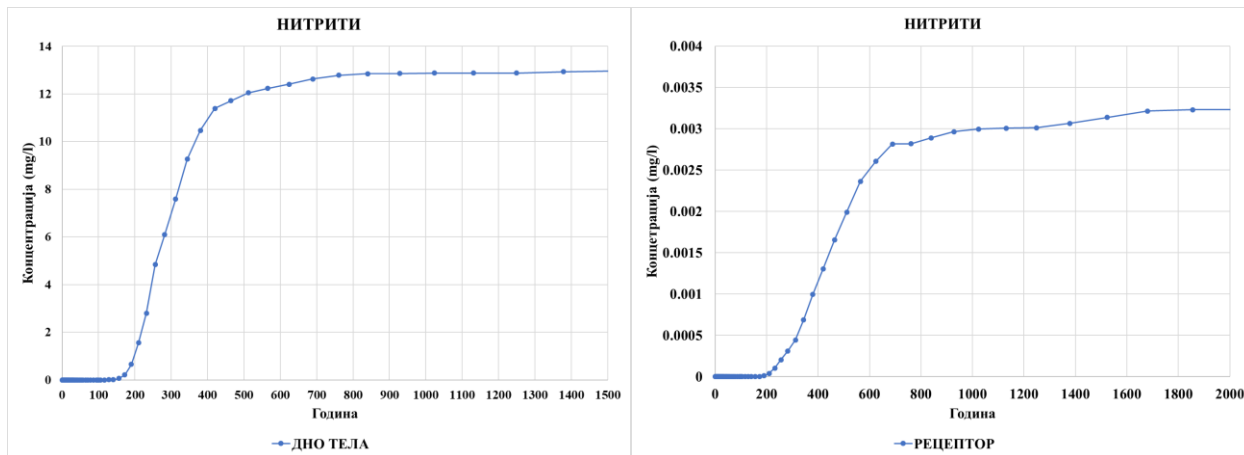
У периоду од 800 до 6000 година, симулациони модели бележе тренд опадања концентрације укупног азота на дну тела депоније и на рецептору. Након 5000 година креће процес стабилизације где концентрације укупног азота нису више детектоване.

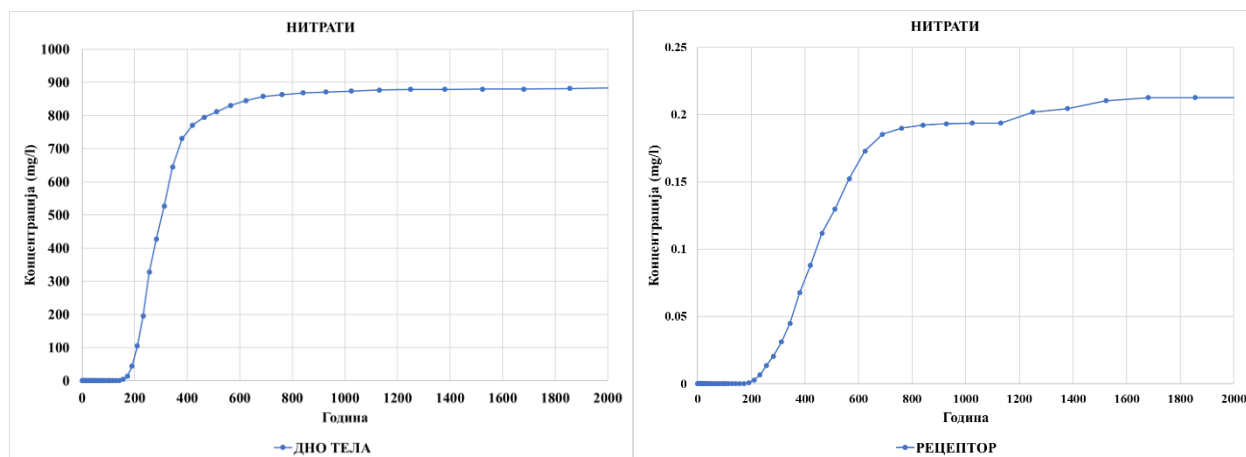
Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедној води на дну тела депоније „Метерис“ за 808,57% од дозвољене вредности дате Уредбом. Вредност максималне концентрације укупног азота на рецептору у износу од 0.083 mg/l не прелази граничне вредности емисије у површинске и подземне воде од 1 mg/l дате Уредбом [72].

Концентрације нитрита и нитрата у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору. Након 100 година, концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору показују постепени пораст који сугерише на постојање активних процеса нитрификације, где амонијак прелази у нитрите и нитрате под утицајем микроорганизама [113].

Након периода од 200 година до 1000. године, њихова концентрација нагло расте до максималних вредности од 13 mg/l за нитрите и 880 mg/l за нитрате на дну тела депоније и 0,003 mg/l за нитрите и 0,2 mg/l за нитрате на рецептору.

За период од 300 до 1000 година на дну тела депоније нагли пораст концентрација који је забележен за нитрите је 85,71%, а за нитрате је 76%, док је ван локације депоније, на рецептору, пораст концентрације нитрита 650%, а нитрата 670%, када концентрације достижу своје максималне вредности. На слици 8.39 приказане су концентрације нитрата и нитрита на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.





Слика 8.39 Концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Концентрације нитрита и нитрата након 1000 година остају константне до краја истраживаног периода од 20 000 година, што указује на то да су процеси који контролишу њихову концентрацију у равнотежи. Такође, постоји баланс између биолошке разградње нитрита и нитрата и њихове продукције, њихов транспорт из депоније је уравнотежен са брзином којом се стварају или су се формирали стабилни услови који више не подстичу њихово настајање [56].

Вредности максималних концентрација нитрита и нитрата на дну тела депоније прелазе граничне вредности емисије у отпадне воде дате Уредбом [70]. Гранична вредност емисије нитрита у отпадне воде је 2 mg/l, док је за нитрате 70 mg/l, што означава прекорачење граничних вредности емисија нитрита у отпадне воде за 550% и нитрата за 1157,14%.

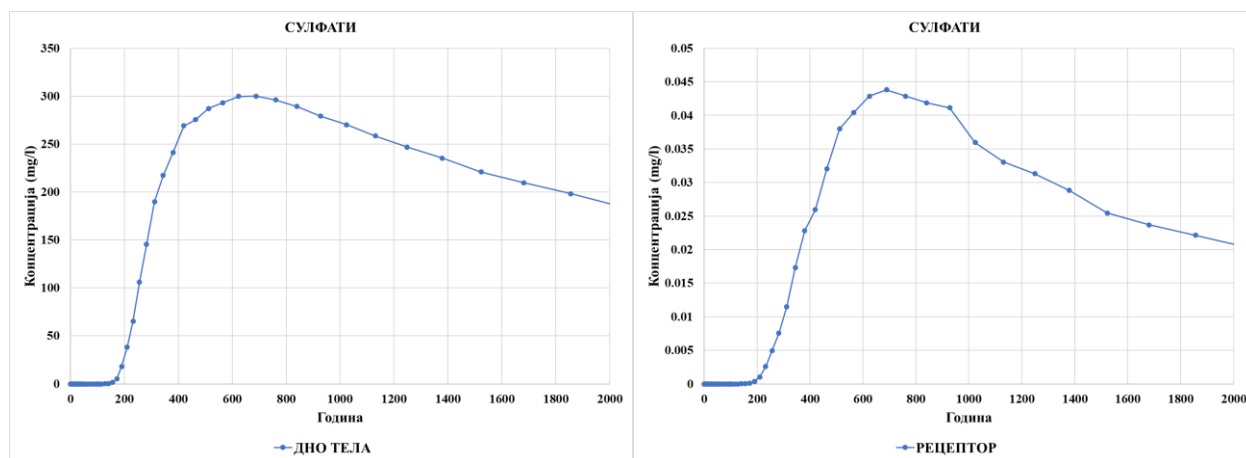
На рецептору максимална концентрација нитрита не прелази граничне вредности емисије у површинске воде које су дате Уредбом [72], док максимална концентрација нитрата прелази дозвољену граничну вредност од 10^{-8} mg/l и то 20 000 000 пута.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање нитрита у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације сулфата и флуорида на депонији „Метерис“ такође показују сличне трендове у вишеструким симулацијама LandSim-a. Почетни раст концентрација флуорида и сулфата показује сталан раст током првих 300 година, што би могло указивати на

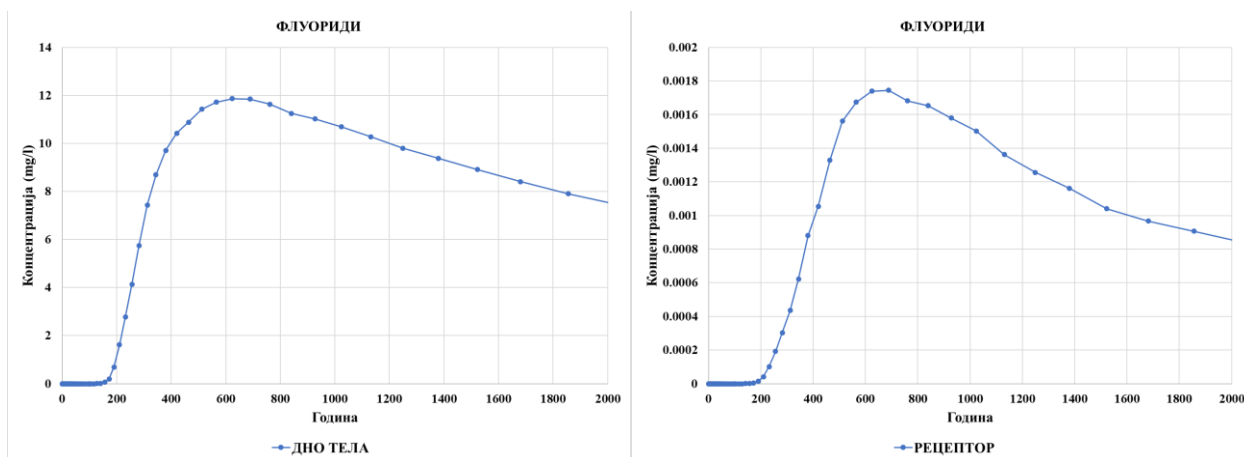
постепено акумулирање флуорида и сулфата у депонији услед сталног дотока отпада који садржи флуориде или сулфате. Нагли пораст концентрација почиње након 180 година и достижу своје максималне концентрације око између 600 и 700. година.

Концентрација сулфата на дну тела депоније у 300. години износи 175 mg/l, док на рецептору износи 0.01 mg/l. Након 600 година максималне концентрације сулфата на дну тела депоније износе 300 mg/l и на рецептору износе 0.043 mg/l, што указује на повећање концентрације сулфата у периоду од 300 до 700 година од 71,43% на дну тела депоније и 330% ван локације депоније. На слици 8.40 приказани су концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.40 Концентрације сулфата на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Концентрација флуорида на дну тела депоније у 300. години износи 7 mg/l, док на рецептору износи 0,0004 mg/l. Након 600 година максимална концентрација флуорида на дну тела депоније износе 12 mg/l и на рецептору износе 0.0017 mg/l, што указује на повећање концентрације сулфата у периоду од 300 до 600 година од 71,43% на дну тела депоније и 325% на рецептору. На слици 8.41 приказани су концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.41 Концентрације флуорида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Концентрације сулфата и флуорида се стабилизују на вишем нивоу од око 700 година и након тога долази до постепеног пада концентрација и тренда константности што може указивати на то да су се постигли равнотежни услови у којима је брзина акумулације флуорида и сулфата изједначена са брзином којом се флуорид или сулфат уклања из тела депоније или се претварају у друге облике.

Концентрације флуорида и сулфата остају детектоване и након периода од 20 000 година.

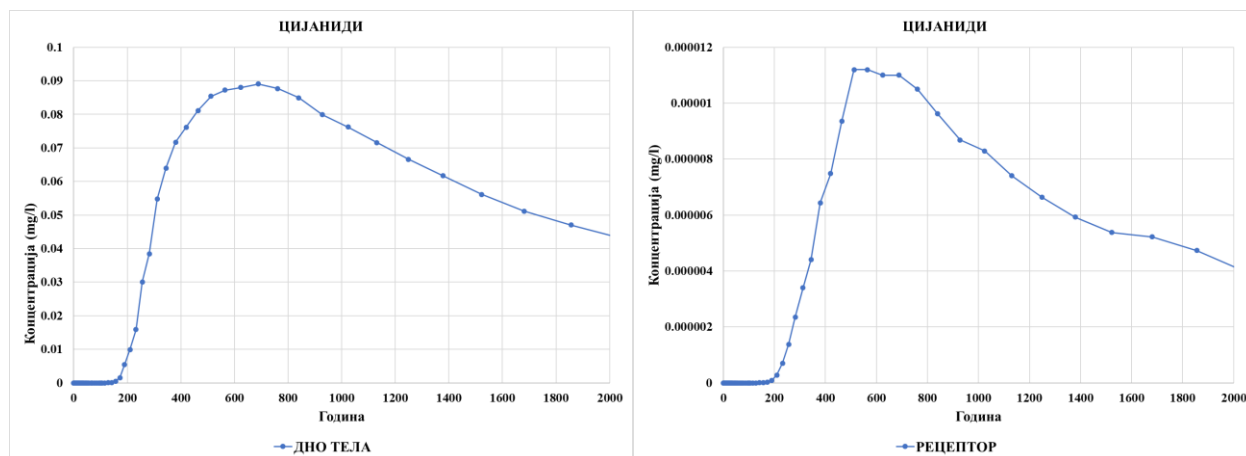
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације сулфата и флуорида на дну тела депоније и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање флуорида у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Вредности концентрација цијанида у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години вредност концентрација цијанида, на дну тела депоније, је 0,05 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација цијанида на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,09 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације цијанида на дну тела депоније од 80% у поменутом периоду.

Изван локације депоније, на рецептору, након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације цијанида је 3×10^{-6} mg/l. Максимална концентрација цијанида ван локације депоније достиже своју вредност $1,13 \times 10^{-5}$ mg/l након 600 година. Ово указује на повећање концентрације цијанида на рецептору у поменутом периоду од 276,67%. На слици 8.42 приказане су концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.42 Концентрације цијанида на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

У периоду од 700 до 8000 година од почетка рада депоније, симулациони модели показују тренд опадања концентрације цијанида на дну тела депоније и ван локације депоније. Након 8000 година креће процес стабилизације, али концентрације цијаниде остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година.

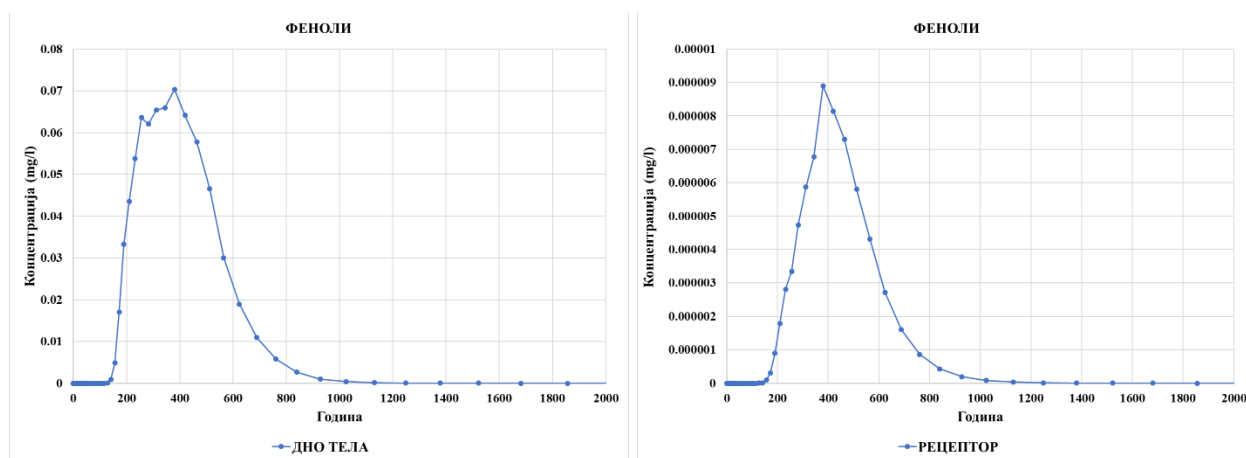
Према Уредби [70] гранична вредност емисије цијанида у отпадним водама је 0,2 mg/l, што указује на то да вредности концентрација цијанида на дну тела депоније не прелазе дозвољене границе концентрација цијанида у отпадним водама. Изван локације депоније вредност максималне концентрације цијанида не прелази граничне вредности емисије од 0,05 mg/l дате Уредбом [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање цијанида у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације фенола показује нешто другачије трендове од осталих компоненти у процедној води због њихових особина брзе разградње па тако већ у периоду до 160. године показује нагли тренд пораста концентрација.

Након тога је концентрација фенола и даље показује исти тренд и већ у 300. години, симулирана вредност концентрације фенола на дну тела депоније је 0,065 mg/l. Изван локације депоније симулирана концентрација фенола је у том периоду $5,5 \times 10^{-6}$ mg/l.

Своју максималну вредност феноли достижу већ након 400 година која на дну тела депоније износи 0,07 mg/l, а на рецептору 9×10^{-6} mg/l, након чега концентрација фенола нагло опада и након 1000 година више нису детектовани. На слици 8.43 приказане су концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



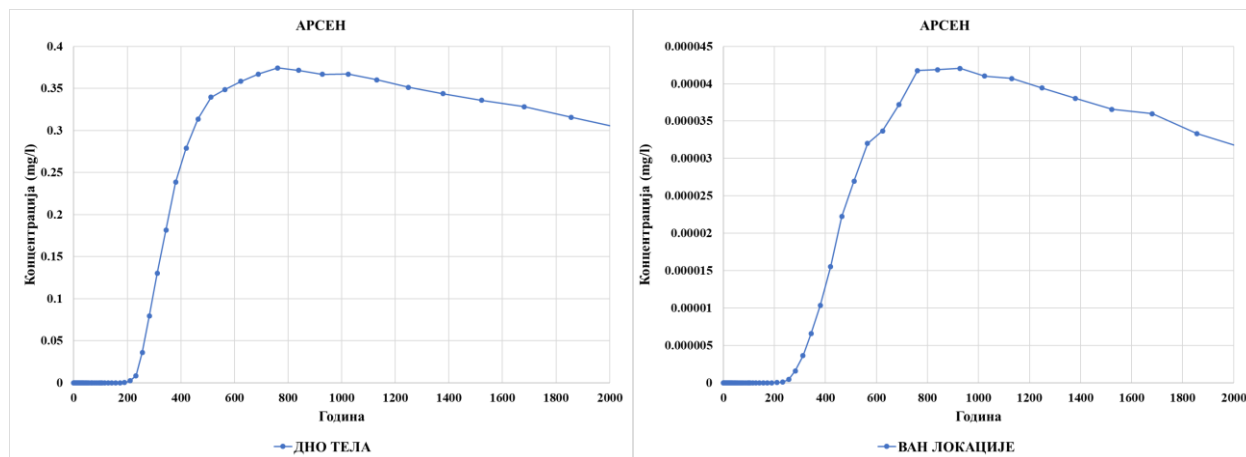
Слика 8.43 Концентрације фенола на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Симулиране вредности концентрација фенола на дну тела депоније „Метерис“ не прелазе максимално дозвољене концентracије фенола у отпадним водама од 50 mg/l које су дате Уредбом [70], нити прелазе дозвољене границе на рецептору од 0,001 mg/l, за површинске воде према Уредби [72].

Концентрације арсена у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентracија арсена на дну тела депоније је 0,025 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација арсена на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,047 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације

арсена на дну тела депоније од 88% у поменутом периоду. На слици 8.44 приказане су концентрације арсена на дну тела депоније и на рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.44 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Гугош“

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације арсена је $1,5 \times 10^{-6}$ mg/l. Максимална концентрација арсена на рецептору достиже своју вредност $9,2 \times 10^{-6}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације арсена на рецептору за 513,33% у поменутом периоду.

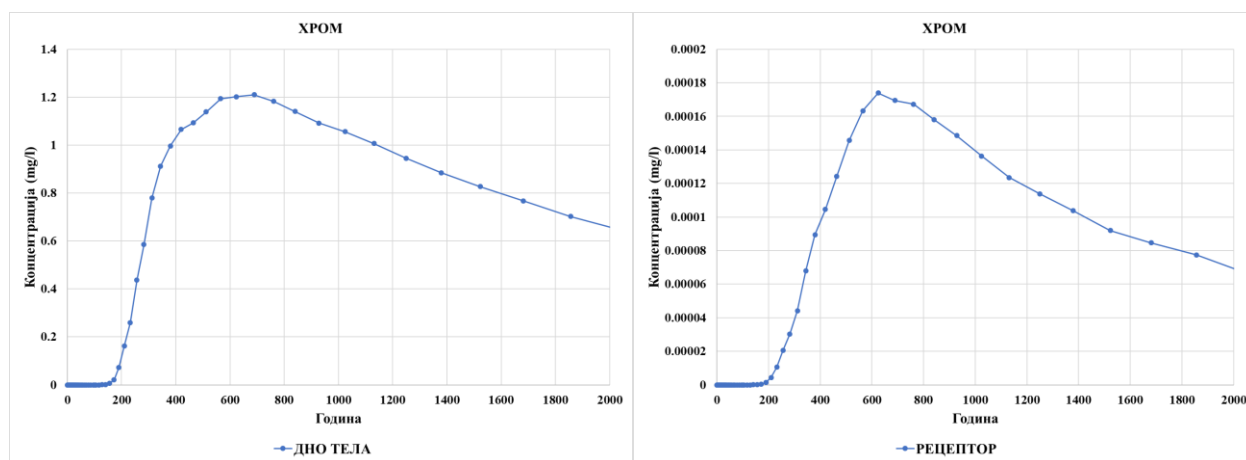
Након 700 година, симулациони модели показују нагли тренд опадања концентрације арсена на дну тела депоније и на рецептору до краја симулираног периода без периода стабилизације у међувремену. Концентрације арсена остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година и то у вредности од 0,01 mg/l на дну тела депоније „Метерис“ и 1×10^{-6} mg/l на рецептору.

Симулиране вредности концентрација арсена на дну тела депоније „Метерис“ не прелазе максимално дозвољене концентрације фенола у отпадним водама од 0,1 mg/l које су дате Уредбом [70], нити прелазе дозвољене границе на рецептору од 0,005 mg/l, за површинске воде према Уредби [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање арсена у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације хрома у истраживаном периоду од 3, 10, 30 и 100 показују нулте вредности концентрација. Тренд пораста концентрације хрома на дну тела депоније и на рецептору креће од 180. године и траје све до 700. године када концентрације хрома достижу своје максималне вредности.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација хрома на дну тела депоније је 0,7 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација хрома на дну тела депоније је у порасту до максималних 1,2 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације хрома на дну тела депоније од 71,43% у поменутом периоду. На слици 8.45 приказане су концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.45 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

У пријемном водном телу, након 300 година од почетка рада депоније, вредност концентрације хрома је 4×10^{-5} mg/l. Максимална концентрација хрома ван локације депоније достиже своју вредност $1,7 \times 10^{-4}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације хрома на рецептору за 325% у поменутом периоду.

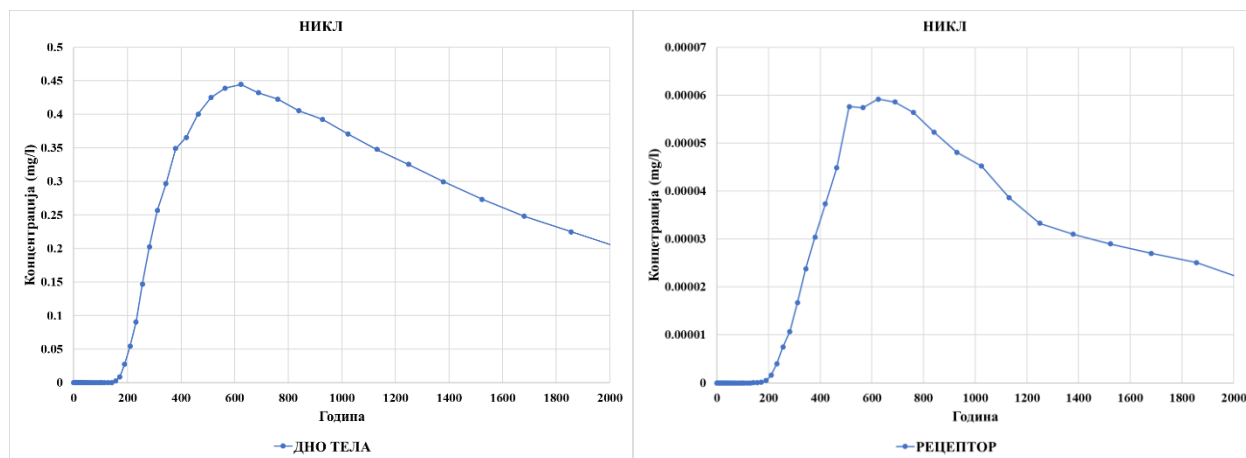
У периоду од 700 од почетка рада депоније, симулациони модели показују нагли тренд опадања концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору до 10 000. године рада депоније, када започиње процес стабилизације и након тога концентрација хрома више није детектована ни на дну тела депоније „Метерис“ ни на рецептору.

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније „Метерис“ износи 1,2 mg/l и прелази за 140% максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70]. Изван локације депоније, концентрације арсена не прелазе дозвољене границе емисије у површинске воде од 0,025 mg/l према Уредби [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање хрома у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Вредности концентрација никла у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година, указују на нулте вредности на дну тела депоније и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација никла, на дну тела депоније, је 0,23 mg/l. Од 300 до 600 година вредност концентрација никла на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,45 mg/l у 600. години, што указује на повећање концентрације никла на дну тела депоније од 95,65% у поменутом периоду. На слици 8.46 приказане су концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.46 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

На рецептору, након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације никла је $1,5 \times 10^{-5}$ mg/l. Максимална концентрација никла достиже своју вредност $5,9 \times 10^{-5}$ mg/l након

700 година. Ово указује на повећање концентрације никла на рецептору за 293,33% у поменутом периоду.

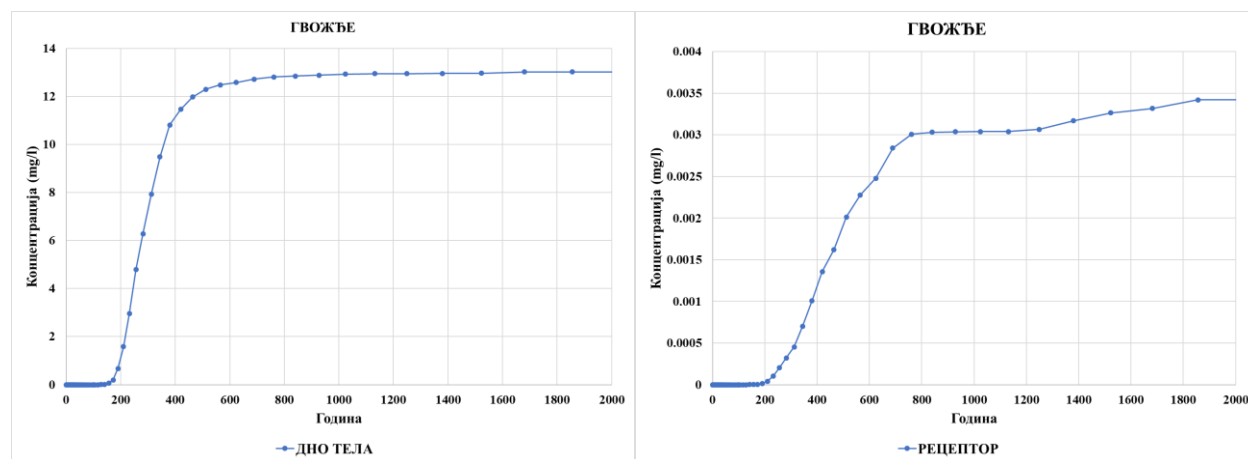
У периоду од 700 до 8000 година од почетка рада депоније, симулациони модели показују тренд опадања концентрације никла на дну тела депоније и рецептору. Након 8000 година креће процес стабилизације до 12 000 година када концентрације никла нису више детектоване на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору.

Према Уредбама [70], [72], максималне концентрације хрома на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање хрома у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

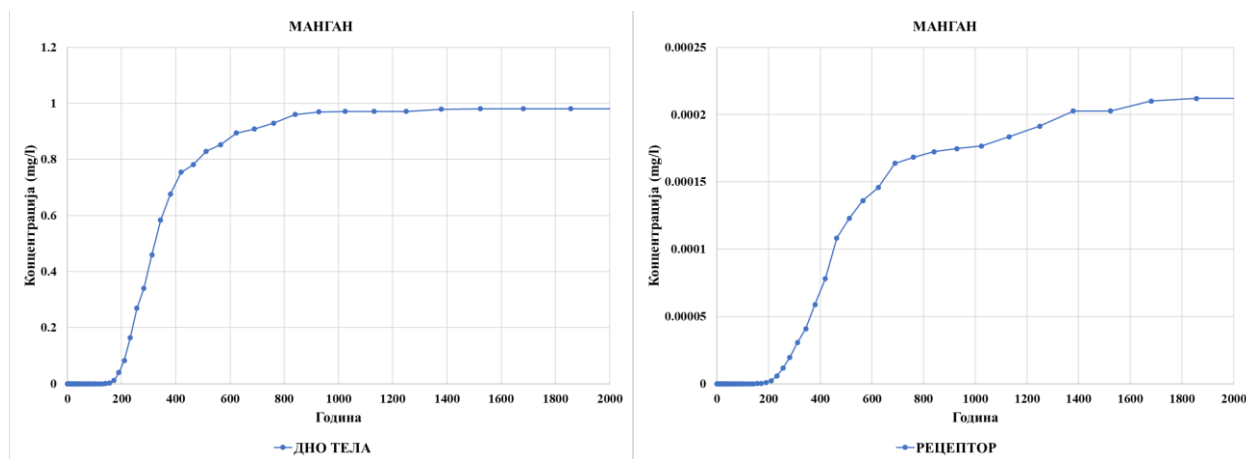
Концентрације гвожђа и мангана показују сличне трендове у вишеструким симулацијама LandSim-a. Почетни период симулираног периода не детектује концентрације гвожђа и мангана до 160. године када модели показују нагли тренд пораста концентрација.

Концентрација гвожђа на дну тела депоније у 300. години износи 7,3 mg/l, док изван локације износи 0.0004 mg/l. Након 700 година максималне концентрације гвожђа на дну тела депоније износе 13 mg/l и ван локације депоније износе 0.0034 mg/l, што указује на повећање концентрације гвожђа у периоду од 300 до 700 година од 78% на дну тела депоније и 750% ван локације депоније. На слици 8.47 приказане су концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.47 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Концентрација мангана на дну тела депоније у 300. години износи 0.4 mg/l, док изван локације износи $2,6 \times 10^{-5}$ mg/l. Након 800 година максимална концентрација мангана на дну тела депоније износи 0,98 mg/l и ван локације депоније износи 0,00021 mg/l, што указује на повећање концентрације мангана од 145% на дну тела депоније и 708% ван локације депоније. На слици 8.48 приказане су концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.48 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

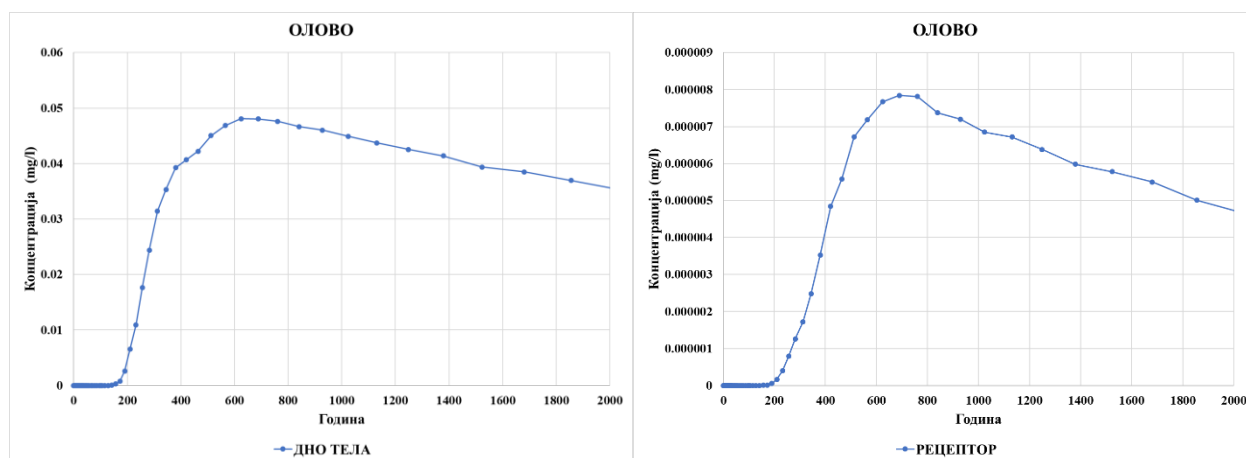
Концентрације гвожђа и мангана се стабилизују на вишем нивоу од око 800 година и остају константне до краја истраживаног периода од 20 000 година.

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације гвожђа и мангана на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору не прелазе граничне вредности емисије.

Концентрације олова у симулираним временским интервалима од 3,10,30 и 100 година указују на нулте вредности на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору.

У 300. години од почетка рада депоније вредност концентрација олова на дну тела депоније је 0,03 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација олова на дну тела депоније је у нагом порасту до максималних 0,048 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације олова на дну тела депоније од 60% у поменутом периоду. На слици 8.49

приказани су концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.49 Модели концентрација олова на дну тела депоније и изван локације реалног стања депоније „Метерис“

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације олова је $1,5 \times 10^{-6}$ mg/l. Максимална концентрација олова ван локације депоније „Метерис“ достиже своју вредност од $7,9 \times 10^{-6}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације арсена ван локације депоније у поменутом периоду од 426,67%.

Након 700 година симулациони модели показују тренд опадања концентрације олова на дну тела депоније и ван локације депоније, односно на рецептору, до краја симулираног периода без периода стабилизације у међувремену. Концентрације олова остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година и то у вредности од 0,001 mg/l на дну депоније „Метерис“ и $1,3 \times 10^{-7}$ mg/l на рецептору.

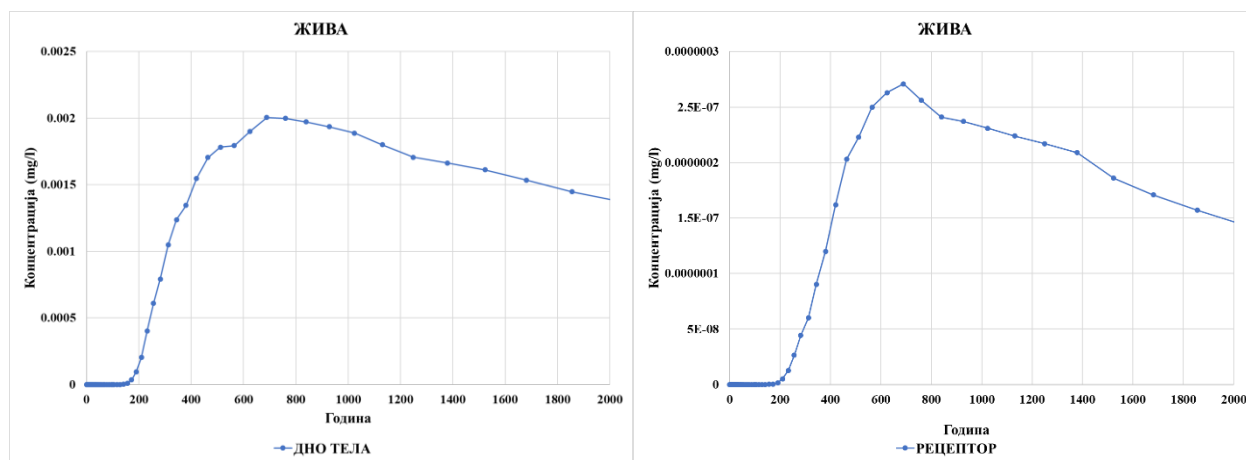
Симулирана вредност максималне концентрације олова на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору не прелазе граничне вредности које су дате Уредбама [70], [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање олова у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Вредности концентрација живе у временским интервалима од 3,10,30 и 100 година нису детектоване на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору.

У 300. години вредност концентрација живе, на дну тела депоније, је 0,001 mg/l. Од 300 до 700 година вредност концентрација живе на дну тела депоније је у порасту до максималних 0,002 mg/l у 700. години, што указује на повећање концентрације живе на дну тела депоније „Метерис“ од 100% у поменутом периоду.

Изван локације депоније након 300 година од почетка рада депоније вредност концентрације живе је $5,4 \times 10^{-8}$ mg/l. Максимална концентрација живе на рецептору достиже своју вредност од $2,7 \times 10^{-7}$ mg/l након 700 година. Ово указује на повећање концентрације живе у поменутом периоду за 400%. На слици 8.50 приказане су концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.50 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу реалног стања депоније „Метерис“

У периоду од 700 година до краја истраживаног периода, симулациони модели показују непрекидан тренд опадања концентрације живе на дну тела депоније и на рецептору. У истраживаном периоду нема процеса стабилизације већ концентрације живе остају детектоване до краја истраживаног периода од 20 000 година и то у вредности од 4×10^{-5} mg/l на дну тела депоније и 3×10^{-9} mg/l на рецептору.

Симулирана вредност максималне концентрације олова на дну тела реалног стања депоније „Метерис“ и на рецептору не прелазе граничне вредности које су дате Уредбама [70], [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање живе у подземне воде. Према томе, након 160 година од почетка рада депоније, постоји ризик од негативног утицаја реалног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Предикциони модели LandSim-a указују на прекорачење концентрација укупног азота, нитрита, нитрата и хрома у процедурним водама на дну тела депоније „Метерис“ у односу на граничне вредности дозвољених концентрација компонената у отпадним водама које су одређене Уредбом [70].

Максимална симулирана концентрација укупног азота у процедурним водама на дну тела депоније „Метерис“ показује вредност од 636 mg/l. Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније за **808,57%** од дозвољене вредности. Предикциони модел концентрација нитрата и нитрита у процедурним водама на дну тела депоније „Метерис“ показују вредности максималних 13 mg/l и 880 mg/l, редом, што представља увећану вредност од **550%** за нитрите и **1157,14%** за нитрате у односу на вредности дозвољене Уредбом [70] које износе 2 mg/l за нитрите и 70 mg/l за нитрате.

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније „Метерис“ износи 1,2 mg/l и прелази за **140%** максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70].

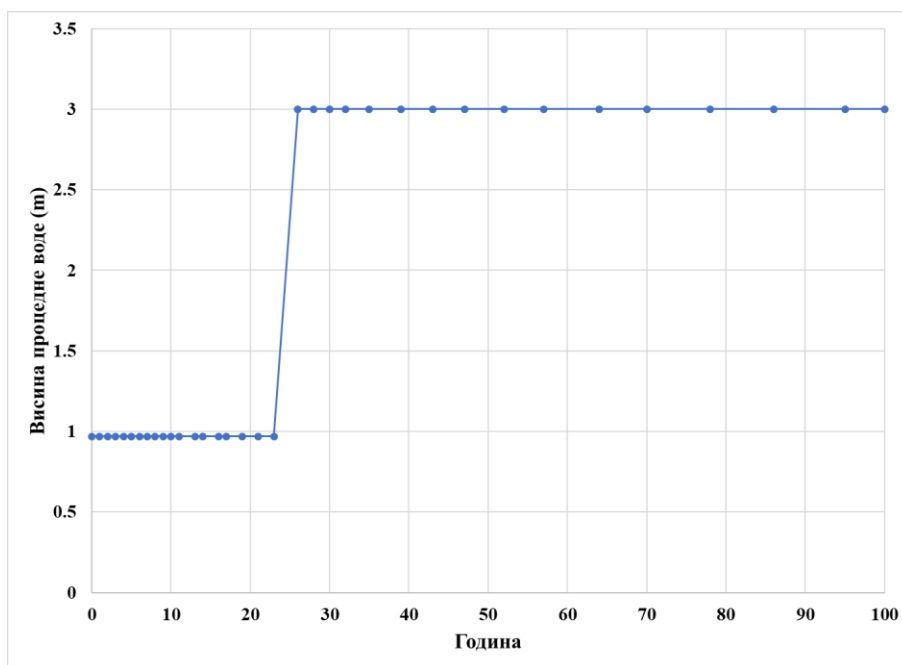
Симулирана вредност максималне концентрације нитрата прелази дозвољену граничну вредност од 10^{-8} mg/l, дате Уредбом [72] и то 20 000 000 пута.

Предикционим моделима утврђено је да вредности концентрација на дну тела депоније „Метерис“ преосталих компоненти не прелазе граничне вредности емисије дате Уредбом [70]. Такође, предикционим моделима утврђено је да остале вредности концентрација депоније „Метерис“ на рецептору не прелазе граничне вредности емисије које су дате Уредбом [72].

Према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање вода које садрже загађујуће материје у подземне воде и то: нитрити, флуориди, арсен, никл, хром, цијаниди, олово и жива. Сматра се да све поменуте компоненте морају бити једнаке нули. Како су концентрације свих 8 анализираних компоненти, на дну тела депоније и на рецептору, на реалном моделу депоније „Метерис“, веће од нуле, сматра се да већ након 160 година постоји ризик од негативног утицаја депоније на животну средину, односно на подземне воде.

8.2.3 Предикциони модели акцидентног стања санитарне депоније „Метерис“

Предикциони модели акцидентног стања депоније „Метерис“ у софтверском алату LandSim указују на то да је у периоду тридесетогодишњег рада депоније, висина процедних вода на дну тела депоније у порасту са 1 m на максималних 3 m током моделираних 300 година. Према моделу, нагли пораст висине процедних вода јавља се у 22. години од почетка рада депоније и достиже максималну висину од 3 m у 26. години радног века депоније, што је приказано на слици 8.51.

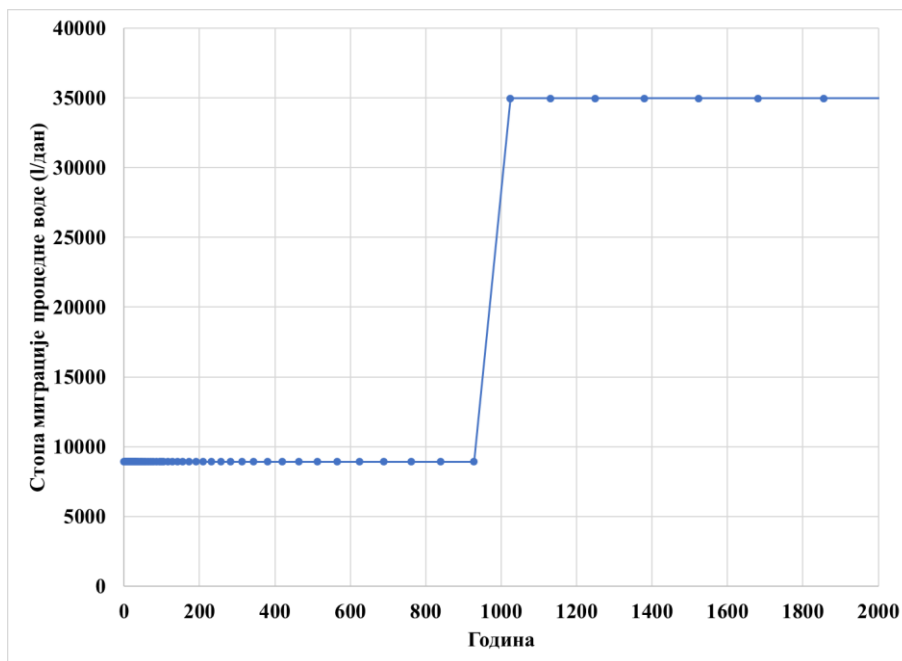


Слика 8.51 Висина процедурне воде на дну тела депоније „Метерис“ (акцидентно стање)

Након 25 година предикциони модел акцидентног стања показује период наглог пораста висине процедурне воде на дну депоније који се подудара са временским периодом рада депоније, односно са периодом коначног попуњавања тела депоније, као и са максималном висином коју достиже отпад приликом одлагања.

Ток догађаја настанка процедурне воде на дну тела депоније се не разликује у сценаријама реалног и акцидентног стања јер зависи искључиво од воде које се инфилтрира у тело депоније, а не од заштитних облога које су постављене на дну тела депоније, па самим тим су сличне вредности висине процедурне воде на дну тела депоније „Метерис“ на примеру ова два сценарија.

Са друге стране, стопа миграције процедне воде кроз ЕБС, односно у случају акцидентног стања кроз дно депоније, се значајно разликује у сценарију реалног и акцидентног стања, што је приказано на слици 8.52.



Слика 8.52 Предикциони модел стопе миграције процедне воде кроз дно депоније „Метерис“ (акцидентно стање)

Слика 8.52 показује почетну константну миграцију процедне воде кроз дно депоније од 9.000 l/дан, што одговара измереним вредностима просечне дневне количине процедне воде у телу депоније измерене у лабораторији (9 920 l/дан)[171]. Након временског периода од 900 година, долази до наглог повећања миграције процедне воде за 380% у односу на почетни период. Предикциони модел указује на максималну количину процедне воде од 35.000 l/дан која мигрира кроз дно депоније и која настаје услед потпуне деградације тла депоније. Вишеструке симулације LandSim-а указују на нешто нижу максималну количину процедне воде која мигрира кроз дно депоније „Метерис“ у односу на измерену максималну количину процедне воде која настаје у телу депоније, измерене у лабораторији и која износи 90 500 l/дан [171]. Ова разлика у измереним и симулираним вредностима максималне количине процедних вода у телу депоније се може оправдати обимнијим месечним падавинама забележеним у 2018. години, док је као улазни параметар за моделирање стопе

миграције процедурних вода унета просечна вредност инфилтрације која је знатно нижа од вредности инфилтрације која је анализирана за лабораторијска мерења на депонији.

Даље истраживање у дисертацији фокусирано је на концентрације компонената процедурне воде на предикционом акцидентном стању депоније „Метерис“. Иницијалне вредности концентрација компонената унете у софтвер као улазни параметри, добијене су лабораторијским мерењима у 2018. години, а даље концентрације су симулиране и предвиђене за дужи временски период (3,10,30 и 100 година).

8.2.3.1 Резултати предикционих модела концентрација компонената акцидентног стања санитарне депоније „Метерис“

Предикциони модели акцидентног стања санитарне депоније „Метерис“ показују резултате вредности концентрација компонената на дну тела депоније и ван локације депоније на рецептору (Батлијски поток) који се налази на око 100 m од локације депоније „Метерис“.

У моделима акцидентног стања депоније „Метерис“, концентрације различитих компонената у процедурној води видљиво расту у првих 5 до 10 година, што се објашњава одсуством заштитних баријера на дну депоније које омогућавају брзо пропуштање вода кроз отпад и дно депоније [30]. Модели показују да су све компоненте присутне у одабраном временском интервалу до 30 година. У временском периоду од 8 до 100 година симулираног периода, концентрације остају релативно стабилне јер старење депоније још увек није почело, а проток процедурних вода је релативно стабилан.

Међутим, након 200 година, када се радни век депоније заврши, концентрације компонената углавном опадају [140]. Са друге стране тешки метали остају у процедурним водама и до 20.000 година због њихове тешке растворљивости, као што су арсен, олово и жива у датом сценарију, док се остале компоненте брже разлажу и нестају због њихових својстава брже декомпозиције [176].

Овај тренд не прате концентрације гвожђа, мангана, нитрата и нитрита, већ показују тренд стабилизације на вишем нивоу након 10. године од почетка рада депоније, и њихове концентрације остају максималне до краја истраживаног временског периода од 20 000 година.

У табели 8.12 приказани су резултати симулираних предикционих модела акцидентног стања максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и рецептору, као и граничне вредности емисија одређене законским актима Републике Србије и Европске Уније.

Табела 8.11 Резултати вредности максималних концентрација компонената на дну тела депоније „Метерис“ и рецептору добијене симулатором LandSim (акцидентно стање)

Компонента	Симулирана максимална концентрација компонената (mg/l)			
	Дно тела депоније	ГВЕ ¹ (mg/l)	Рецептор	ГВЕ ^{2,3,4} (mg/l)
Укупни азот	865	70	10.5	1
Нитрити	13	2	0.15	0.01
Нитрати	900	70	10.7	10 ⁻⁸
Флуориди	14.5	50	0.16	н.п.
Сулфати	373	400	4.4	н.п.
Цијаниди	0.14	0.2	0.0013	0.05
Феноли	1.8	50	0.019	0.001
Арсен	0.051	0.1	0.0006	0.005
Хром	1.6	0.5	0.018	0.025
Никл	0.6	1	0.0065	0.034
Гвожђе	13	200	0.16	0.2
Манган	1	5	0.009	0.05
Олово	0.056	0.5	0.0006	0.014
Жива	0.0025	0.05	2.3x10 ⁻⁵	0.00007

¹ Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање

² Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање

³ Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазадних супстанци које загађују површинске воде и роковима за њихово достизање

⁴ Council Directive 98/83/EC on the Quality of Water Intended for Human

Н.п.- нема података

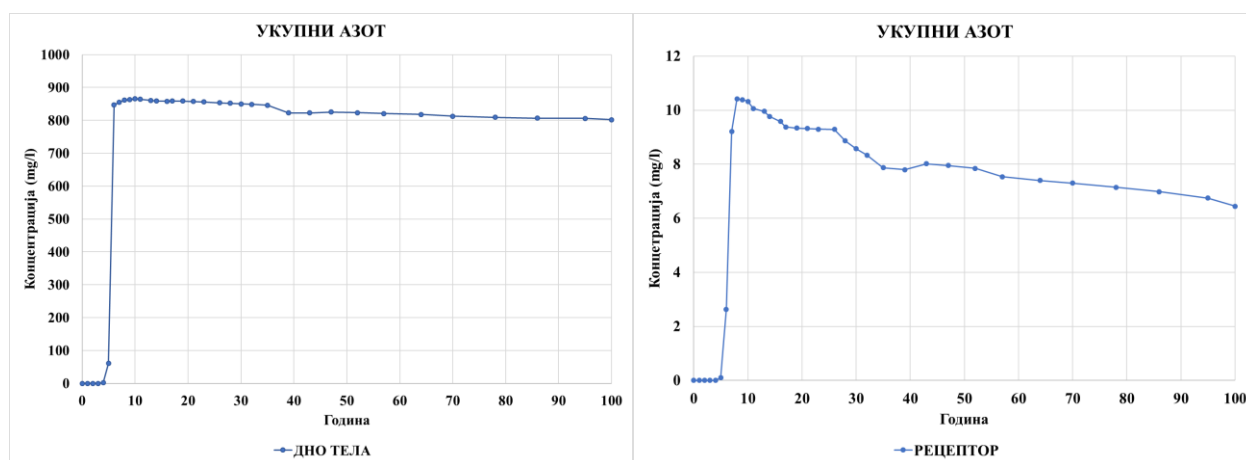
Концентрације укупног азота, како на самом дну депоније тако и на рецептору, прате сличне обрасце промена. У периоду од 1. до 3. године симулираног периода, нивои укупног азота нису забележени ни на дну депоније ни на рецептору. Међутим, након 4 године долази до израженог скока у концентрацијама укупног азота, који кулминирају у 10. години, достижући максималну вредност од 865 mg/l на дну депоније, док изван локације депоније достиже максималну вредност од 10,5 mg/l.

Како је већ поменуто, претходним истраживањима доказано је да тло депоније, без заштитних облога, подлеже оштећењима већ након 8 година од почетка попуњавања

депоније [30], [31], [140], што објашњава период највиших концентрација које се налазе у процедурној води на дну тела депоније.

Након 10 година рада депоније следи период стабилизације на дну тела депоније, који траје све до периода између 150 и 200 година када концентрације укупног азота крећу нагло да опадају. Нагли пад концентрације укупног азота у поменутом периоду се може објаснити као последица краја животног века депоније, који траје између 180 и 200 година за депоније које немају заштитне облоге, односно за несанитарне депоније [140]. Концентрације укупног азота на дну тела депоније су у константном паду све до 6000 година, када више нису детектоване до краја истраживаног периода.

На слици 8.53 приказане су концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.53 Концентрације укупног азота на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

На рецептору, концентрације укупног азота показују нешто другачије токове, периода стабилизације нема и модел показује тренд опадања концентрација азота већ након 10 година симулираног периода. У 30. години, концентрација укупног азота се смањује на 8,5 mg/l, док након 100 година концентрација опада на 6,5 mg/l.

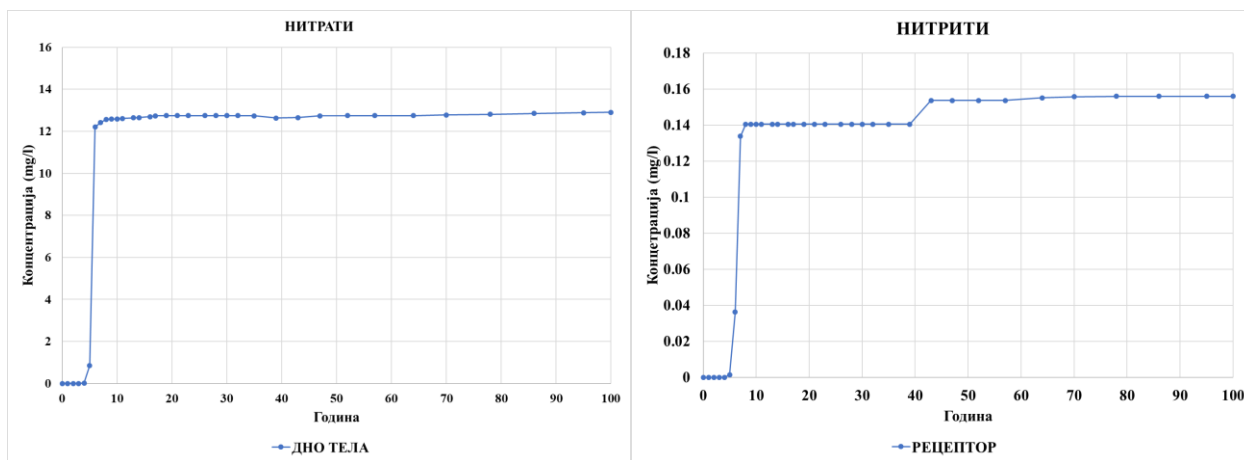
Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније „Метерис“ за 1135,71% од дозвољене вредности дате Уредбом. Изван локације депоније, на

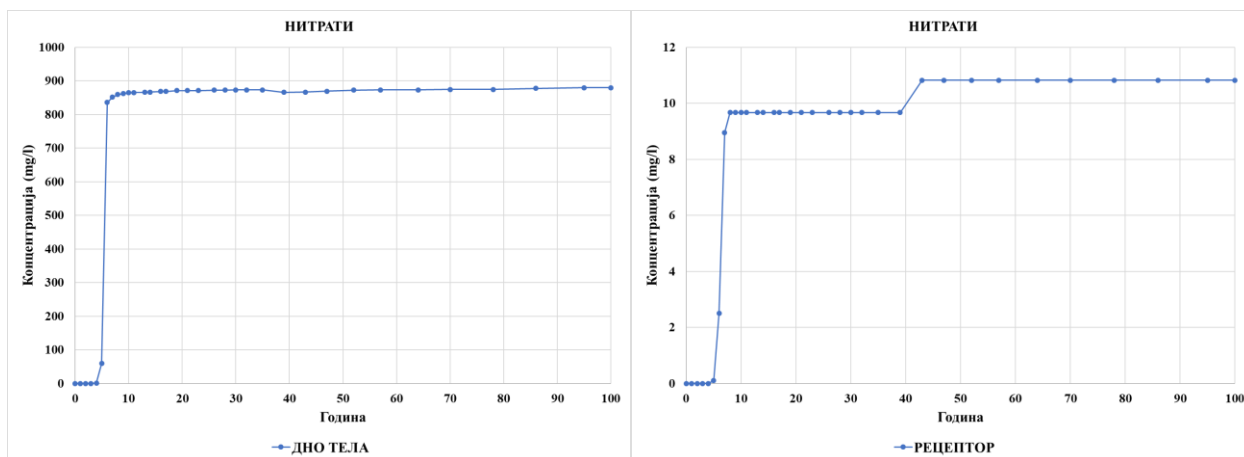
рецептору, вредност максималне концентрације укупног азота од 10,5 mg/l прелази граничне вредности емисије од 1 mg/l дате Уредбом [72] за 950%.

Концентрације нитрита и нитрата, на дну тела депонија и изван локације депоније за акцидентно стање, показују исте трендове токова промена. До 3. године рада депоније, концентрације нитрита и нитрата показују нулте вредности. Након 4. године долази до наглог пораста концентрација нитрита и нитрата, када у 10. години достижу своје максималне вредности. Предикциони модели бележе максималну концентрацију нитрита на дну тела депоније у вредности од 13 mg/l, док је на рецептору та вредност 0,15 mg/l.

Максимална концентрација нитрата на дну тела депоније је измерена у вредности од 900 mg/l на дну тела депоније и 10,7 mg/l на рецептору.

Након 10. године, почиње процес стабилизације нитрита и нитрата и без тренда опадања остају на својим максималним концентрацијама до краја истраживаног периода од 20 000 година. На слици 8.54 приказане су концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.





Слика 8.54 Концентрације нитрита и нитрата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Вредности максималних концентрација нитрита и нитрата на дну тела депоније и ван локације депоније за акцидентно стање, прелазе граничне вредности емисије за отпадне воде дате Уредбом [70] и граничне вредности које емисије у површинске и подземне воде, које су дате Уредбом [72].

Максимална вредност нитрита на дну тела депоније прелази граничну вредност емисије нитрита у отпадне воде (2 mg/l) за 550%, док максимална вредност нитрата на дну тела депоније прелази граничну вредност емисије нитрата у отпадне воде (70 mg/l) за 1185,71%.

Максимална вредност нитрита на рецептору прелази граничну вредност емисије нитрита у површинске воде (1 mg/l) за 950%, док максимална вредност нитрата на рецептору прелази граничну вредност емисије нитрата у површинске воде од 10^{-8} mg/l за 1.500.000.000%.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање нитрита у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

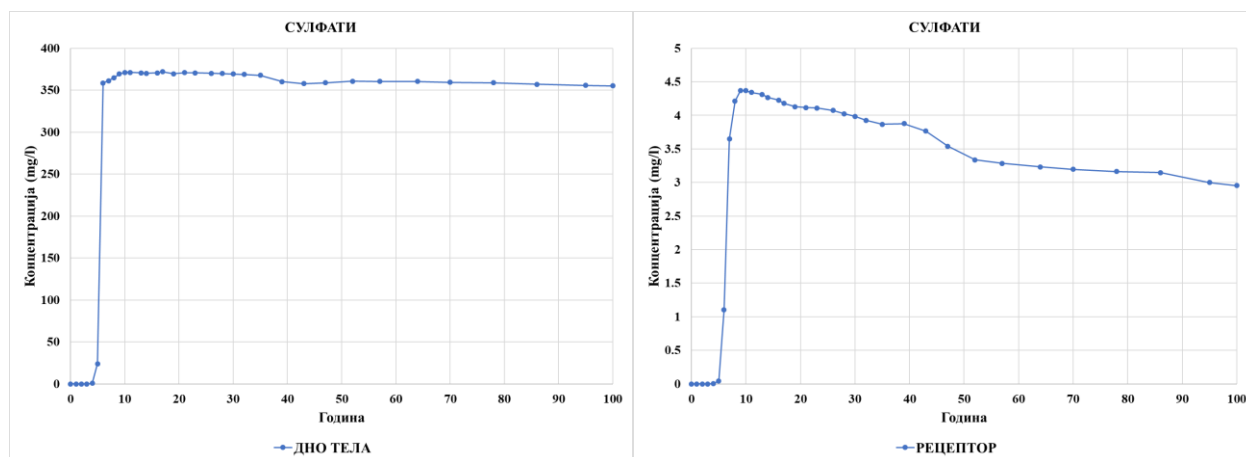
Концентрације сулфата и флуорида показују сличне трендове за акцидентно стање на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору у вишеструким симулацијама LandSim-a.

Концентрације сулфата и флуорида нису детектоване у периоду до 3. године рада депоније. Након 4. године концентрације су у нагом порасту и достижу своје максималне вредности у 10. години симулираног периода. Максимална вредност концентрације сулфата у

процедним водама, добијена предикционим моделима, је 373 mg/l на дну тела депоније и 4,4 mg/l на рецептору. Максимална вредност концентрације флуорида измерена је у износу од 14,5 mg/l на дну тела депоније и 0,16 mg/l на рецептору.

У периоду између 10. и 100. године на дну тела депоније настаје процес стабилизације сулфата и флуорида на вредностима максималних концентрација. Након 100 година концентрације показују тренд опадања. Измерене концентрације сулфата у 100. години показују вредности од 350 mg/l, што представља опадање концентрације у односу на максималну вредност концентрације сулфата за 6,17%. До краја истраживаног периода од 20 000 година концентрације сулфата су детектоване на 1,3 mg/l.

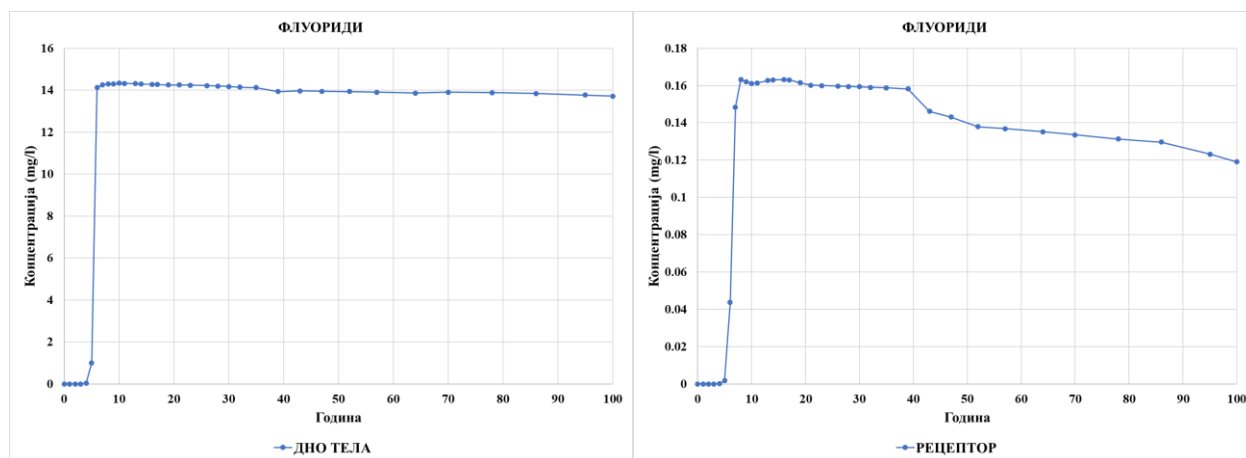
Концентрација сулфата у 100. години показује вредности од 3 mg/l на рецептору, док после 300 година концентрација сулфата се смањује за 33,33% и износи 2 mg/l. Концентрација сулфата, на рецептору, која је забележена након 8000 година је 0,05 mg/l, док након тога више није детектована. На слици 8.55 приказане су концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.55 Концентрације сулфата на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Измерене концентрације флуорида показују нешто дужи период стабилизације, па тако вредност концентрације у 300. години на дну тела депоније показују вредности од 13 mg/l, што представља опадање концентрације флуорида у односу на максималну вредност концентрације за 10,34%. До краја истраживаног периода од 20 000 година концентрација флуорида на дну тела депоније је детектована у износу од 0,05 mg/l.

Концентрација флуорида на рецептору након 100 година, је измерена у вредности од 0,12 mg/l, док после 300 година опада за 25% на вредност од 0,09 mg/l. Концентрација флуорида која је забележена након 12000 година а рецептору је 0,002 mg/l, и након тога више није детектована. На слици 8.56 приказане су концентрације флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.56 Концентрације флуорида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

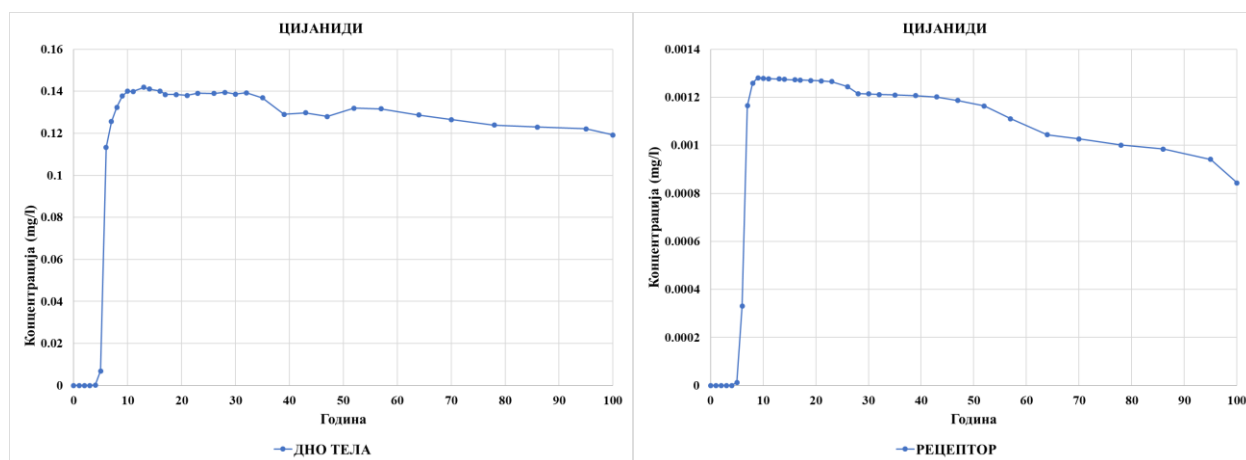
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације сулфата и флуорида на дну тела депоније „Метерис“ и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање флуорида у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације цијанида на дну тела депоније и изван локације депоније до 3. године рада депоније показују нулте вредности. Након 5. године концентрација цијанида је у наглом порасту до своје максималне вредности у 10. години и износи 0.14 mg/l на дну тела депоније и 0,0013 mg/l изван локације депоније. Процес стабилизације следи у периоду између 10 и 30 година на дну тела депоније и изван локације депоније када се концентрација цијанида у процедурним водама не мења и остаје на максималној вредности. На дну тела депоније након 30 година концентрација цијанида опада за 14,3% и у 100. години износи 0,12 mg/l.

На рецептору тренд опадања концентрација цијанида следи након 30 година. У 100. години концентрација цијанида на рецептору износи 0,0008 mg/l, што указује на смањење концентрације за 38,46% у периоду између 30 и 100 година симулираног периода.

Након 300 година ток концентрација цијанида је у константном опадању до 10 000 година када више није детектована на дну тела депоније „Метерис“. Изван локације депоније након 6000 година, концентрације цијанида више нису детектоване. На слици 8.57 приказане су концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.57 Концентрације цијанида на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације цијанида на дну тела депоније „Метерис“ и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

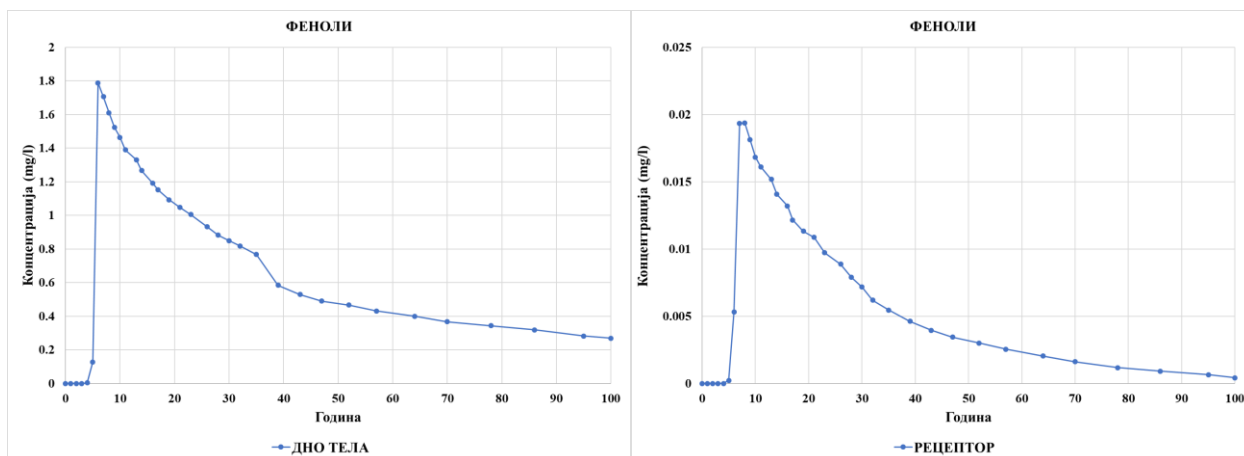
Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање цијанида у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације фенола, као и на моделу депоније „Гигош“ тако и на моделу депоније „Метерис“ показују нешто мало другачије трендове од осталих компонената у процедурној води. У 3. години рада депоније, измерена концентрација фенола на дну тела депоније износи 0,003 mg/l, док је на рецептору $3,7 \times 10^{-6}$ mg/l. Већ у 6. години достиже своју максималну вредност од 1,8 mg/l на дну тела депоније и 0,019 mg/l на пријемном водном

телу, што представља повећање концентрације у периоду од 3. до 6. године за 59 900 % на дну тела депоније и за 513 414% изван локације депоније.

Након достизања максималне вредности, концентрације фенола показују тренд опадања, када у 10. години вредност концентрације фенола опада на 1,4 mg/l на дну тела депоније и 0,016 mg/l на рецептору, што представља пад концентрације фенола за 22,22% на дну тела депоније и за 15,79% изван депоније, у односу на њихову максималну достигнуту вредност.

У 30. години вредност фенола у процедурној води опада за још 40% на дну тела депоније и износи 0,85 mg/l и за 56,25% на рецептору када износи 0,007 mg/l. Тренд опадања концентрације фенола се наставља и након 100 година опада за 70% на дну тела депоније и износи 0,25 mg/l и за 92,86% на рецептору када износи 0,0005 mg/l. На слици 8.58 приказане су концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.58 Концентрације фенола на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Након 500 година концентрација фенола више није детектована у процедурној води на дну тела депоније, док већ након 120 година феноли више нису детектовани изван локације депоније.

Према Уредбама о граничним вредностима, максималне концентрације фенола на дну тела депоније не прелазе граничну вредност емисије у отпадне воде (50 mg/l), док на рецептору прелази граничну вредност емисије у површинске воде (0,001 mg/l) за 1800% [70], [72].

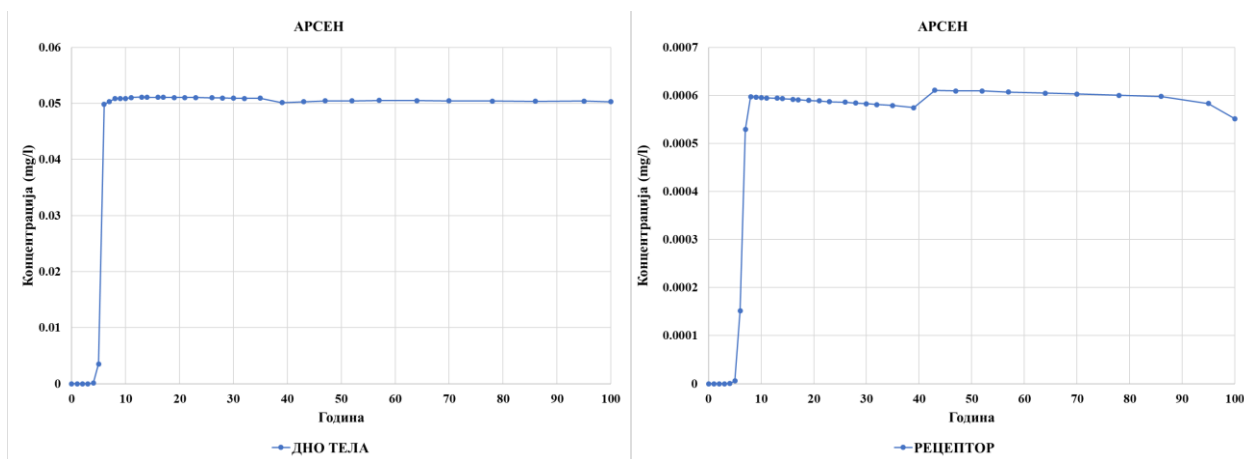
Повећане концентрације фенола у површинским водама могу ометати фотосинтетичке процесе у воденим биљкама и алгама, смањујући производњу кисеоника у воденим екосистемима. Такође присуство фенола у водама у већим концентрацијама од дозвољених могу изазвати непријатан мирис и укус, чинећи воду неприкладном за пиће и друге потребе.

Концентрација арсена у 3. години рада депоније, на дну тела депоније износи 0,00009 mg/l док на рецептору није детектована. Након 6 година, концентрација арсена достиже своју максималну вредност од 0,051 mg/l на дну тела депоније и 0,0006 mg/l на рецептору, што представља повећање концентрације арсена у периоду од 3. до 6. године 567 пута на дну тела депоније.

Након достизања максималне вредности, концентрација арсена у процедурној води на дну тела депоније показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 5,88 % и износи 0,048 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација арсена на дну тела депоније, све до краја истраживаног периода од 20 000 година када износи 0,01 mg/l.

Изван локације депоније након 100 година, концентрација арсена опада за 17% и износи 0,0005 mg/l. После 300 година, концентрација арсена показује још већи тренд опадања и износи 0,00045 mg/l, што указује на пад концентрације за 10% . Као и на дну тела депоније, концентрације арсена на рецептору су детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација арсена у пријемном водном телу износи 0,00002 mg/l.

На слици 8.59 приказане су концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.59 Концентрације арсена на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Гугош“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације арсена на дну тела депоније „Метерис“ и изван локације депоније акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање арсена у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

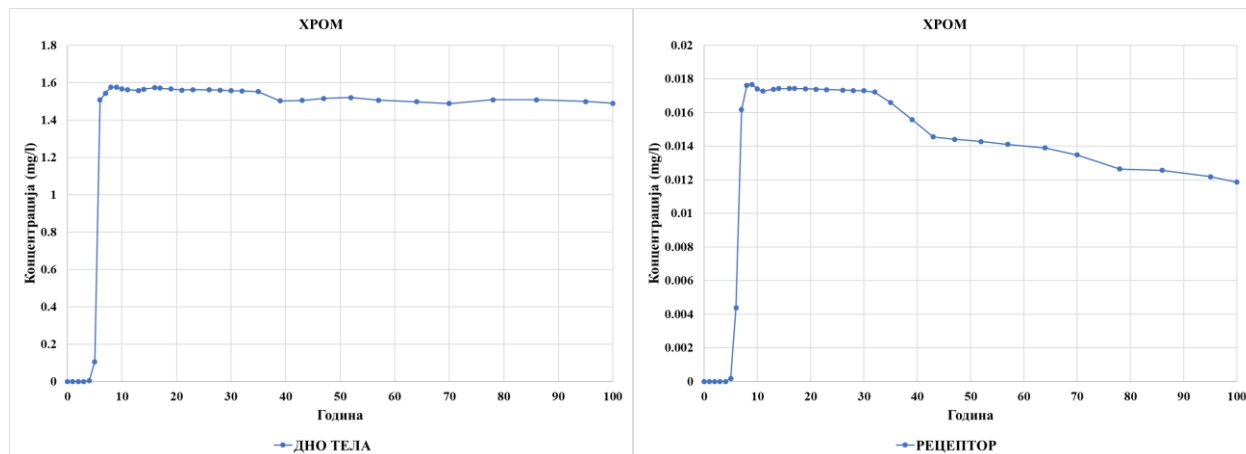
Концентрација хрома у 3. години рада депоније, на дну тела депоније износи 0,003 mg/l и 3×10^{-6} mg/l изван локације депоније. Након 7 година, достиже своју максималну вредност од 1,6 mg/l на дну тела депоније и 0,018 mg/l изван депоније, што представља повећање концентрације хрома у периоду од 3. до 7. године за 53 233 % на дну тела депоније, односно 6000 пута на рецептору .

Након достизања максималне вредности, концентрација хрома у процедурној води на дну тела депоније показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 16 % и износи 1,35 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација хрома на дну тела депоније, све до краја истраживаног периода од 20 000 година када износи 0,0002 mg/l.

Изван локације депоније, у периоду између 10 и 30 година долази до стабилизације концентрације хрома, након чега следи тренд опадања концентрације. После 100 година, концентрација хрома опада за 33.33 % и износи 0,012 mg/l. После 300 година, концентрација

хрома показује још већи тренд опадања изван локације депоније и износи 0,007 mg/l, што указује на пад концентрације за 42%. Као и на дну тела депоније, концентрације хрома на рецептору су детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација хрома износи $2,18 \times 10^{-7}$ mg/l.

На слици 8.60 приказане су концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.60 Концентрације хрома на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније износи 1,6 mg/l и прелази за 236 % максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70]. На рецептору, концентрације хрома не прелазе дозвољене границе емисије у површинске воде од 0,025 mg/l према Уредби [72].

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање хрома у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације никла на дну тела депоније и на рецептору до 3. године рада депоније показују нулте вредности. У 3. години рада депоније симулирана вредност концентрације никла износи 0,0008 mg/l на дну тела депоније и $1,05 \times 10^{-6}$ mg/l на рецептору.

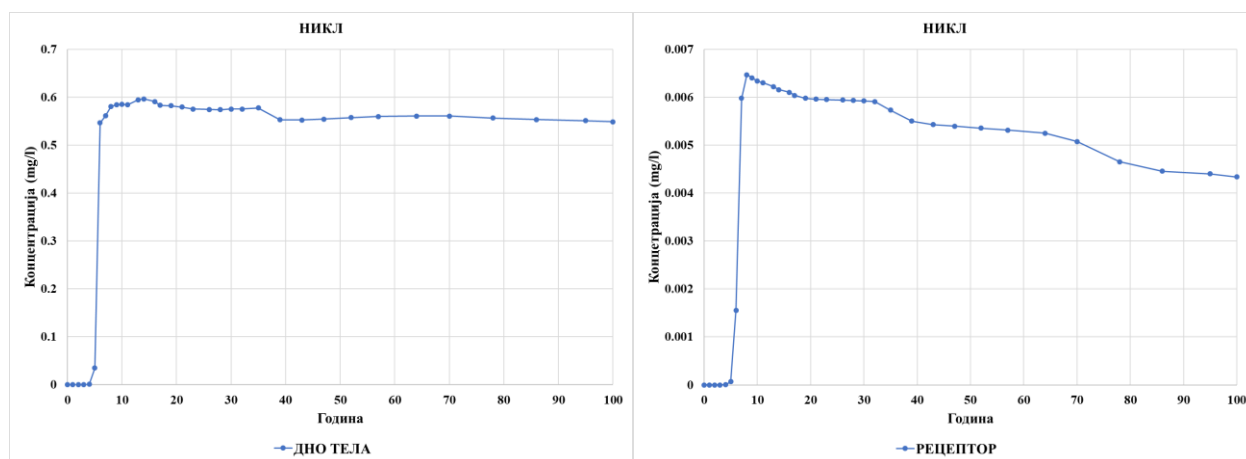
Након 5. године концентрација никла је у наглom порасту до своје максималне вредности у 8. години и износи 0.6 mg/l на дну тела депоније и 0,0065 mg/l изван локације депоније.

Процес стабилизације следи у периоду између 10 и 100 година на дну тела депоније када се концентрација никла у процедурним водама не мења и остаје око максималне вредности, док изван локације депоније нема периода стабилизације већ након 10. године почиње тренд постепеног опадања концентрација никла.

У 30. години концентрација никла на рецептору опада за 7,7% и износи 0,006 mg/l. У периоду између 30 и 100 година концентрација никла је и даље у благом паду од 33,33% и износи 0,004 mg/l.

На дну тела депоније након 100 година концентрација никла опада за 20% и у 300. години износи 0,48 mg/l, док је у том периоду концентрација никла на рецептору опада за 37,5% и износи 0,0025 mg/l.

Након 300 година ток концентрација никла је у константном опадању до 10 000 година после чега више није детектована у симулираном периоду. На слици 8.61 приказане су концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.

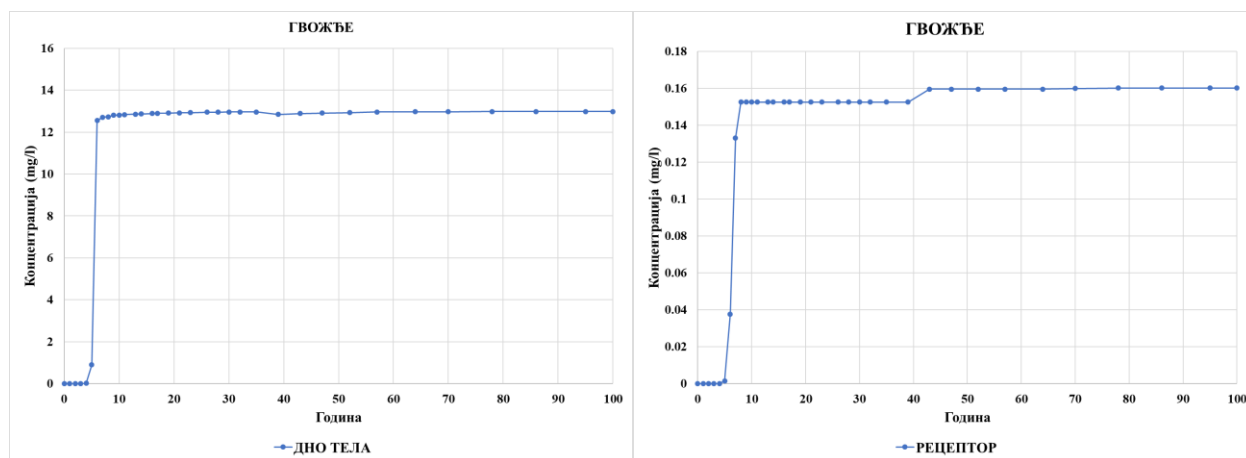


Слика 8.61 Концентрације никла на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације никла на дну тела депоније и изван локације депоније на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање никла у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

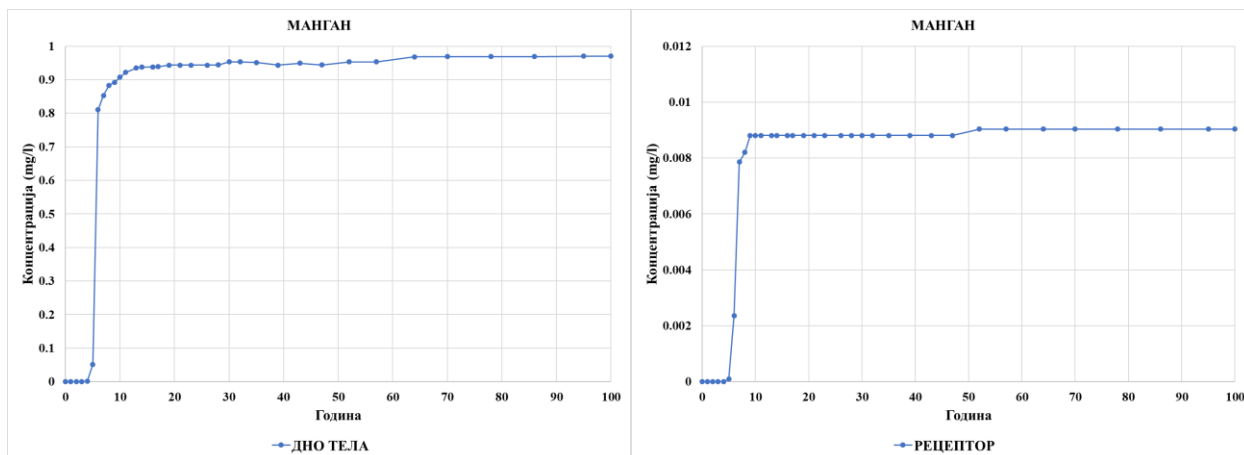
Концентрације гвожђа и мангана, као и на моделу депоније „Гигош“, показују сличне токове промена концентрација на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору. У 3. години рада депоније симулиране вредности концентрација гвожђа указују на вредност од 0,023 mg/l на дну тела депоније, док у том периоду нису детектоване изван локације депоније. На слици 8.62 приказане су концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.62 Концентрације гвожђа на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Концентрације мангана у 3. години симулирања указују на вредности од 0,0014 mg/l на дну тела депоније и такође нису детектоване на рецептору у поменутом периоду.

Нагли пораст концентрација забележен је након 5. године, након чега концентрација гвожђа достиже своју максималну вредност од 13 mg/l на дну тела депоније и 0,16 mg/l ван локације, и то у 10. години рада депоније. Концентрације мангана у истом том периоду достиже своју максималну вредност у износу од 1 mg/l на дну тела депоније и 0,009 mg/l ван локације депоније. На слици 8.63 приказане су концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.63 Концентрације мангана на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Карактеристичан ток концентрација гвожђа и мангана огледа се у томе што приликом достизања својих максималних вредности, остају у процесу стабилизације на највишим вредностима до краја истраживаног периода од 20 000 година и своје вредности не мењају.

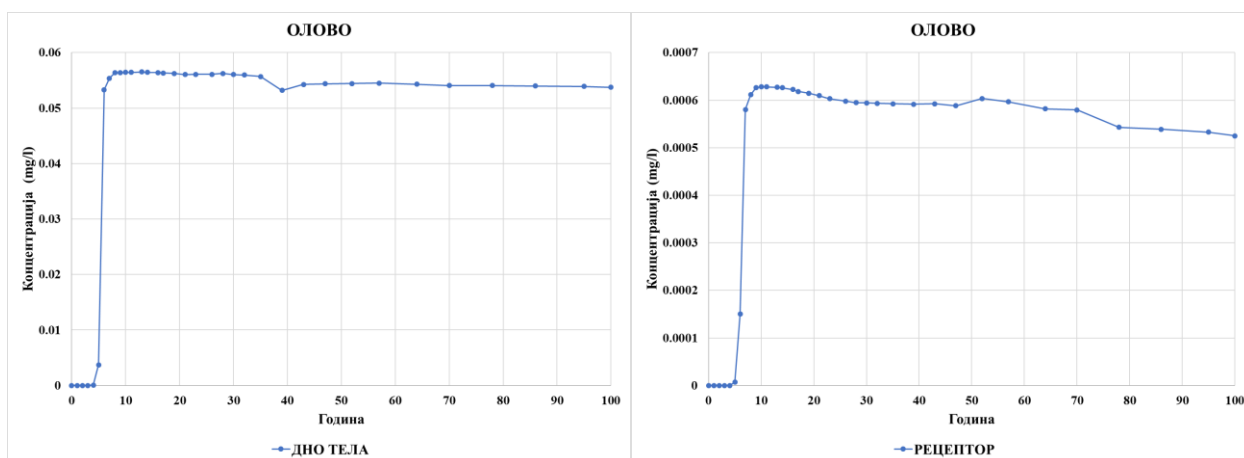
Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације гвожђа и мангана на дну тела депоније „Метерис“ и изван локације депоније на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Концентрације олова у 3. години симулирања, на дну тела депоније и на рецептору нису детектоване. Након 7 година, концентрације олова достижу своје максималне вредности од 0,056 mg/l на дну тела депоније и 0,0006 mg/l на рецептору.

Након достизања максималне вредности, концентрација олова у процедурној води на дну тела депоније „Метерис“ показује тренд стабилизације око максималне вредности све до 300. године када опада за 10,71 % и износи 0,05 mg/l. Након 300 година следи тренд константног опадања концентрација олова све до краја истраживаног периода од 20 000 година када концентрација олова у процедурној води на дну тела депоније износи 0,0014 mg/l.

На рецептору тренд стабилизације траје од 10. до 100. године, када концентрација олова опада за 13,33 % и износи 0,00052 mg/l. После 300 година, концентрација олова на рецептору показује још већи тренд опадања и износи 0,0004 mg/l, што указује на пад концентрације за 23%. Као и на дну тела депоније, концентрације олова на рецептору остају детектоване до краја истраживаног периода, па и након 20 000 година измерена концентрација олова на

рецептору износи 4×10^{-6} mg/l. На слици 8.64 приказане су концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.64 Концентрације олова на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације олова на дну тела депоније и у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање олова у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

Концентрације живе, у почетном периоду симулираног периода од 1. до 3. године, су приближно једнаке нултим вредностима на дну тела депоније „Метерис“ и на рецептору. Концентрација живе је у наглom порасту од 5. до 10. године када достиже своју максималну вредност од 0,0025 mg/l на дну тела депоније и $2,3 \times 10^{-5}$ mg/l на рецептору.

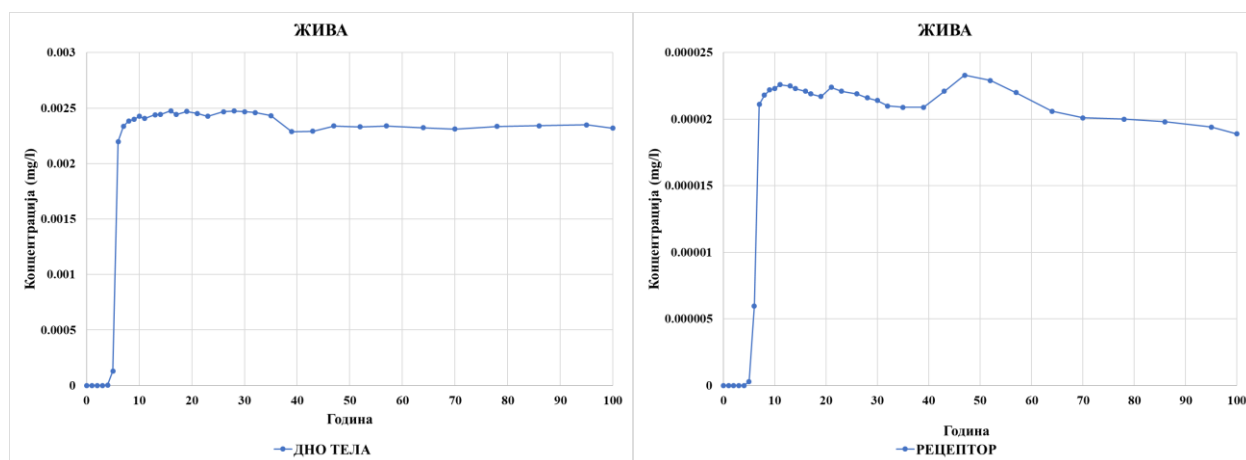
Концентрација живе на дну тела депоније се стабилизације на својој максималној вредности у периоду од 10. до 100. године када следи тренд опадања концентрације живе. У 300. години измерена вредност живе на дну тела депоније опада у односу на максималну вредност за 20% и износи 0,002 mg/l.

Изван локације депоније, процес стабилизације показује другачији тренд. У периоду између 10 и 30 година вредност живе остаје релативно константна око максималне вредности.

Након 30. године примећује се тренд опадања концентрације живе, када у 100. години опада за 17,4% и износи $1,9 \times 10^{-5}$ mg/l. У периоду између 100 и 300 концентracије живе опада за 23% када износи $1,47 \times 10^{-5}$ mg/l.

Вредност живе у процедурној води на дну тела депоније симулирана је до краја истраживаног периода од 20 000 година и износи 0,000045 mg/l, док је на рецептору, измерена вредност живе до краја симулираног периода износи $1,6 \times 10^{-7}$ mg/l.

На слици 8.65 приказане су концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“.



Слика 8.65 Концентрације живе на дну тела депоније и рецептору на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Према Уредбама о граничним вредностима [70], [72], максималне концентрације живе на дну тела депоније и у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања не прелазе граничне вредности емисије.

Такође, према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање живе у подземне воде. Према томе, након 3 године од потенцијалног ванредног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја акцидентног стања депоније „Метерис“ на подземне воде.

На основу приказаних резултата концентрација компоненти у процедурним депонијским водама на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“ може се видети да, од укупно 14 симулираних компоненти, 4 компоненте прелазе граничне вредности емисије у отпадним водама, које су дате Уредбом [70] и то укупни азот, нитрити, нитрати и хром, и 4 компоненте

прелазе граничну вредност у површинским водама [72] и то укупни азот, нитрити, нитрати и феноли.

Према Уредби [70] гранична вредност емисије укупног азота у отпадним водама је 70 mg/l, што указује на повећану концентрацију азота у процедурној води на дну тела депоније „Метерис“ за **1135,71%** од дозвољене вредности дате Уредбом. У пријемном водном телу вредност максималне концентрације укупног азота од 10,5 mg/l прелазе граничне вредности емисије од 1 mg/l дате Уредбом [72] за **950%**.

Симулирана вредност максималне концентрације нитрита на дну тела депоније „Метерис“ прелазе граничну вредност емисије нитрита у отпадне воде (2 mg/l) за **550%**, док максимална вредност нитрата на дну тела депоније „Метерис“ прелазе граничну вредност емисије нитрата у отпадне воде (70 mg/l) за **1185,71%** [70].

Максимална вредност нитрита на рецептору прелазе граничну вредност емисије нитрита у површинске и подземне воде (1 mg/l) за **950%**, док максимална вредност нитрата на рецептору прелазе граничну вредност емисије нитрата у површинске и подземне воде од 10^{-8} mg/l за **1.500.000.000%** [72].

Максималне концентрације фенола на рецептору прелазе граничну вредност емисије у површинске воде (0,001 mg/l) за **1800%** [72].

Симулирана вредност максималне концентрације хрома на дну тела депоније „Метерис“ износи 1,68 mg/l и прелазе за **236 %** максимално дозвољену концентрацију хрома у отпадним водама која износи 0,5 mg/l и дата је Уредбом [70].

Према Уредби [72], није дозвољено директно или индиректно испуштање вода које садрже загађујуће материје у подземне воде и то: нитрити, флуориди, арсен, никл, хром, цијаниди, олово и жива. Сматра се да све поменуте компоненте морају бити једнаке нули. Како су концентрације свих 8 анализираних компоненти, на дну тела депоније и на рецептору, на акцидентном моделу депоније „Метерис“, веће од нуле, сматра се да већ након 3 године од настанка акцидентног догађаја, постоји ризик од негативног утицаја депоније на животну средину, односно на подземне воде.

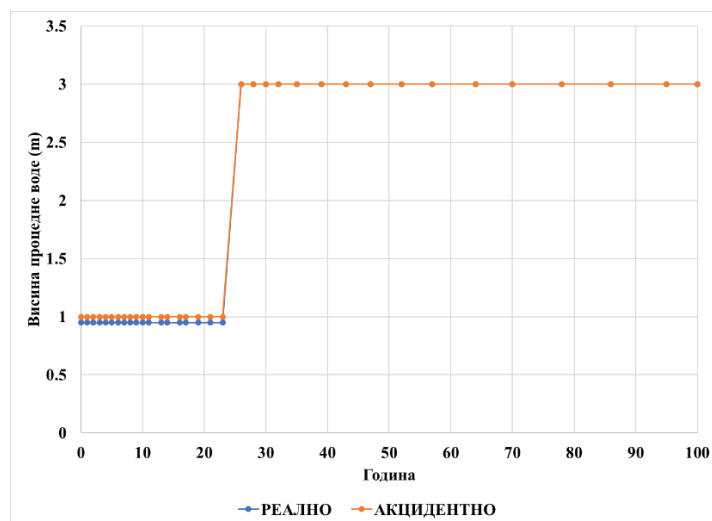
8.2.4 Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања на санитарној депонији „Метерис“

Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“ спроводи се како би се указао значај постојања система заштитних облога на дну тела депоније, односно како би се препознала разлика између санитарних и несанитарних депонија.

Упоредна анализа показује разлику између:

- Висине процедне воде на моделу реалног и акцидентног стања;
- Стопе миграције процедне воде кроз дно депоније на моделу реалног и акцидентног стања;
- Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања.

Висина процедне воде на дну тела приказује количину воде која се временом сакупља у телу депоније и концентрише се на самој бази тела депоније. Која количине процедне воде ће се генерисати у телу депоније, зависи пре свега од инфилтрације воде (падавина) у тело депоније, док количина воде која се сакупи на бази, зависи поред инфилтрације и од присутности дренажног система. На слици 8.66 приказана је висина процедура воде која се генерише на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Метерис“.

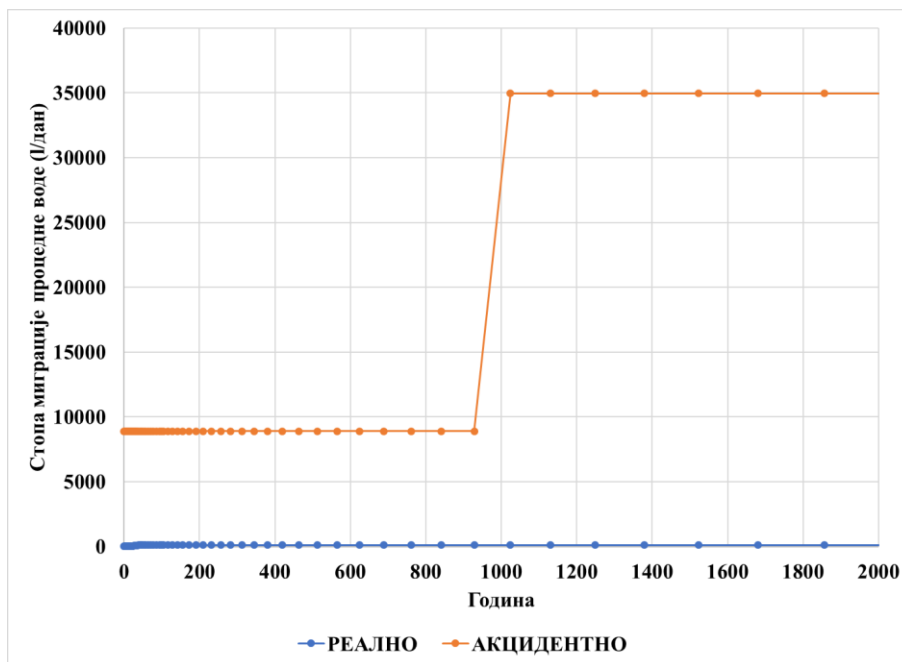


Слика 8.66 Висина процедура воде на дну тела депоније на моделу реалног стања и акцидентног стања депоније „Метерис“

Као што се са слике 8.66 може видети, ток промене висине процедне воде на дну тела депоније на моделу реалног стања се не разликује од тока промене висине процедне воде на моделу акцидентног стања из разлога што је количина инфилтриране воде у тело депоније идентична током истраживаног периода у оба сценарија. Константа вредност висине процедне воде јавља се у периоду од 1. до 23. године симулираног периода и то у вредности од 0,96 m у реалном стању и 1 m у акцидентном стању депоније „Метерис“, па тако ова разлика указује на то да је висина процедне воде у поменутом периоду у акцидентном стању увећана за око 5%, односно 1,05 пута у односу на реално стање депоније „Метерис“. Ова разлика у висини процедне воде јавља се као последица постојања дренажног система на моделу реалног стања депоније, док дренажни систем на моделу акцидентног стања не постоји.

Након периода од 25 година, када долази до затварања депоније „Метерис“ и њене стабилизације, у оба сценарија висина процедне воде је у порасту до максималних 3 m, и остаје на тој вредности до краја истраживаног периода од 20 000 година.

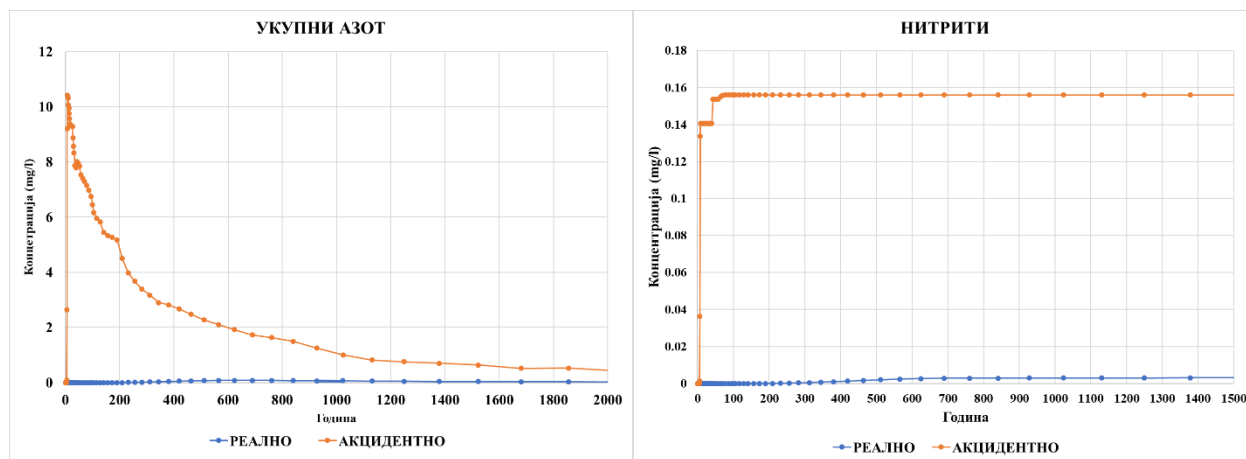
Резултати стопе миграције процедне воде кроз тело депоније „Метерис“ на моделу реалног и акцидентног стања показују потпуно другачије токове и вредности у односу на резултате добијене за висину процедне воде. Модел реалног стања депоније „Метерис“ показује почетне вредности стопе миграције процедне воде кроз дно тела депоније од 31,5 l/дан, док модел акцидентног стања показује на вредност од 9000 l/дан, што указује на то да је количина процедне воде која прође кроз тело депоније у акцидентном стању већа 285 пута у односу на количину процедне воде која прође кроз тело депоније реалног стања. На слици 8.67 приказана је стопа миграције процедне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“.

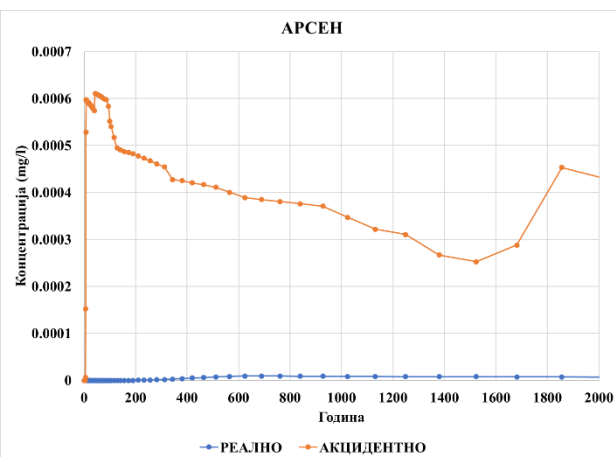
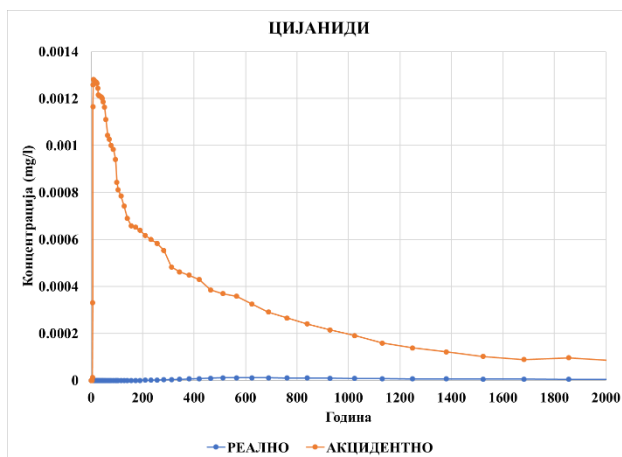
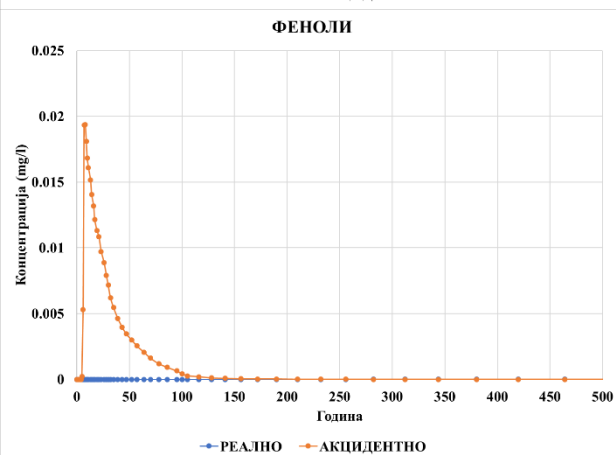
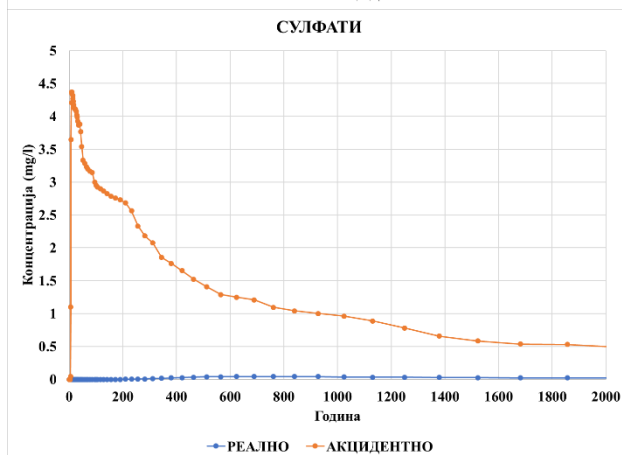
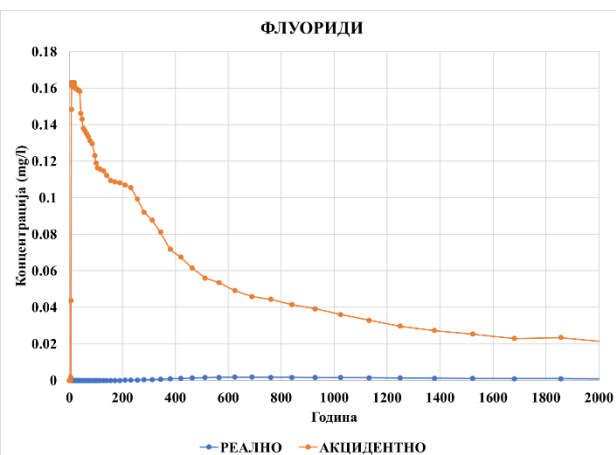
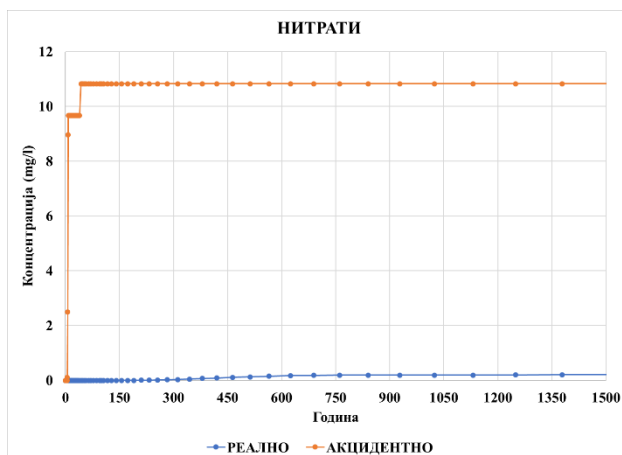


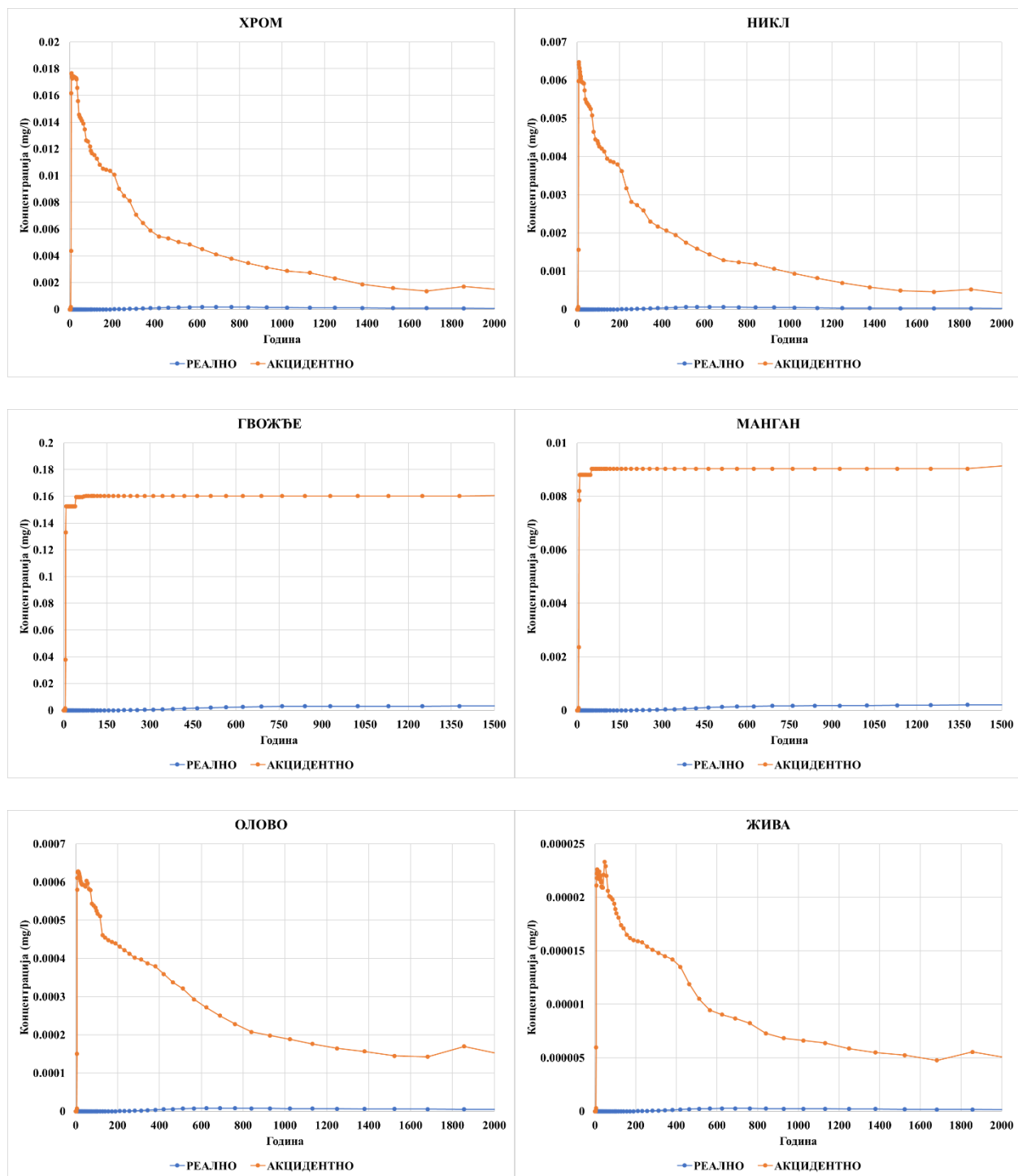
Слика 8.67 Стопа миграције проведне воде на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“

Максимална вредност стопе миграције проведне воде кроз тело депоније на моделу реалног стања показује вредности од 109 l/дан, која је на моделу акцидентног стања увећана 321,2 пута и износи 35 000 l/дан.

У дисертацији су анализирани и концентрације компоненти које доспевају у пријемно водно тело (Батлијски поток), на основу модела реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“. На слици 8.68 приказане се концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“.







Слика 8.68 Концентрације компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“

Токови концентрација компоненти на моделу реалног стања и на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“, као и на моделима депоније „Гигош“, показују различите промене у току истраживаног периода. Модел реалног стања указује на нулте вредности

концентрација компоненти у пријемном водном телу у периоду између 160 и 200 година. Модел акцидентног стања указује на нулте вредности концентрација компоненти само до 3. године рада депонија. Разлика између тока промене концентрација компоненти настаје као последица постојања система заштитних облога на дну депоније реалног стања, која има век трајања између 180 и 200 година [31], док на моделу акцидентног стања систем заштитних облога не постоји. На основу ових чињеница и добијених резултата симулатором LandSim, може се закључити да је брзина продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније акцидентног стања 55 до 65 пута већа у односу на брзину продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније реалног стања депоније „Метерис“.

Након 200 година концентрације компоненти на депонији реалног стања су у наглом порасту и достижу своје максималне вредности у периоду између 600 и 800 година. Претходним истраживањем Xiang et al [140], утврђено је да је животни век санитарне депоније између 300 и 650 година, чиме се објашњава нагли пораст концентрација на депонији реалног стања у поменутом периоду. Период достизања максималних концентрација компоненти на депонији акцидентног стања настаје у периоду између 6 и 10 година од настанка акцидентног догађаја, у зависности од анализиране компоненте. На основу ових чињеница и добијених резултата симулатором LandSim, може се закључити да је брзина достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији акцидентног стања 75 до 100 пута већа у односу на брзину достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији реалног стања.

На депонији „Метерис“ вредности максималних концентрација компоненти на рецептору, на моделу депоније акцидентног стања у односу на вредности максималних концентрација компоненти на депонији реалног стања представљене су фактором повећања и приказани су у табели 8.12.

Табела 8.12 фактор повећања између концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног и акцидентног на депонији „Метерис“

Компонента	Реално стање (mg/l)	Акцидентно стање (mg/l)	Фактор повећања
Укупни азот	0,083	10,5	126,51
Нитрити	0,003	0,15	50
Нитрати	0,2	10,7	53,5
Флуориди	0,0017	0,16	94,12
Сулфати	0,043	4,4	102,33
Цијаниди	$1,13 \times 10^{-5}$	0,0013	115,04
Феноли	9×10^{-6}	0,019	2111,11
Арсен	$9,2 \times 10^{-6}$	0,0006	65,22
Хром	$1,7 \times 10^{-4}$	0,018	105,88
Никл	$5,9 \times 10^{-5}$	0,0065	110,17
Гвожђе	0,0034	0,16	47,06
Манган	0,00021	0,009	42,86
Олово	$7,9 \times 10^{-6}$	0,0006	75,95
Жива	$2,7 \times 10^{-7}$	$2,3 \times 10^{-5}$	85,19

Табела приказује факторе повећања концентрација за сваку компоненту, где фактор повећања указује колико пута је концентрација компоненте у акцидентном стању већа у односу на реално стање.

Као и на моделу депоније „Гигош“, најнижи фактор повећања концентрација компоненти реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“ показују нитрати, нитрити, гвожђе и манган што се може објаснити посебним токовима промена концентрација ових компоненти у телу депоније и изван локације депоније, односно тиме што се показују особине теже растворљивих компоненти у процедурној води па показују тренд стабилизације на максималним концентрацијама до краја истраживаног периода у оба сценарија.

Највиши фактор повећања концентрација компоненти реалног и акцидентног стања депоније „Метерис“, као и на симулираном моделу депоније „Гигош“, показују феноли због њихове особине брзе декомпозиције у телу депоније, па се тиме ток промене концентрације знатно разликује на депонији која има систем заштитних облога на дну депоније и на депонији која нема система заштитних облога на дну тела депоније.

8.3. Упоредна анализа предикционих модела регионалне санитарне депоније „Гигош“ и предикционих модела санитарне депоније „Метерис“

Упоредна анализа модела реалног и акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ и санитарне депоније „Метерис“ спроводи се како би се приказале разлика у количини процедурних вода и концентрацијама компоненти у процедурним водама у зависности од старосног века депоније.

Санитарна депоније „Метерис“ почела је са радом 2002. године, и према њеном просторном капацитету, период одлагања отпада је одређен на 25 година, што значи да је депонија пред само затварање. Количине отпада које се одлажу на депонију се смањују док се простор у потпуности не испуни у наредних пар година.

Са друге стране, депонија „Гигош“ почела је са радом 2010. године и према њеном просторном капацитету, период одлагања отпада је такође одређен на 25 година, што значи да је депонија „Гигош“ на, отприлике, половини свог радног века.

Величине депоније су релативно сличне. Укупна површина депоније „Гигош“ износи 62 127 m², док је укупна површина депоније „Метерис“ 62 250 m². Само тело депоније „Гигош“ заузима површину од 22 042 m², док тело депоније „Метерис“ заузима нешто већу површину од 30 670 m².

Дна тела депонија, су такође, обложена идентичним системом заштитних облога.

Количина отпада која се одлаже на депонијама се тренутно доста разликују, управо због старосног века ове две депоније. У табели 8.13 приказане су количине отпада које се одлажу на депонији „Метерис“ и на депонији „Гигош“ у периоду од 2015-2022. године

Табела 8.13 Количине отпада које се одлажу на депонији „Метерис“ и на депонији „Гигош“ у периоду од 2015-2022. године [87]

Година	СД Метерис (t)	РСД Гигош (t)
2015	180	62.760
2016	19.890	74.113
2017	16.841	62.893
2018	17.247	61.660
2019	20.087	75.360
2020	21.946	69.042
2021	23.504	75.835
2022	19.519	80.276

Као што се може видети из табеле 8.13 у симулираном периоду количина отпада која се одлагала на депонији „Гигош“ је скоро три пута већа од количине отпада која се одлагала на депонији „Метерис“.

Морфолошки састав отпада који се одлаже на депонији „Гигош“ је прилично сличан саставу отпада који се одлаже на депонији „Метерис“, и приказан је у табели 8.14.

Табела 8.14 Морфолошки састав отпада који се одлаже на депонијама Гигош и Метерис [145], [157]

	Компонента	Удео у укупној количини (%)	
		РСД Гигош	СД Метерис
1.	Папир	10,8	8,1
2.	Стакло	6,78	2,9
3.	Пластика	7,31	11,5
4.	ПЕТ	/	4,4
5.	Гума	6,33	/
6.	Отпад са јавних површина	27,12	/
7.	Текстил	4,3	1,4
8.	Метални отпад	0,45	2,1
9.	Остали биоразградиви отпад	21,96	31,2
10.	Баштенски отпад	/	10
11.	Грађевински отпад	5,92	/
12.	Остало	9,04	18,9

Као што се може видети из табеле 8.14 састав комуналног отпада који се одлаже на депонијама је јако сличан и претежно је састављен од органског отпада, затим следе папир, пластика, стакло и сл.

Количина падавина, која је једна од кључних извора настанка процедурних вода у телу депоније, је такође релативно слична на примерима две депоније. У Јагодини, забележена количина падавина је 619 mm годишње, док је у Врању нешто виша и износи 647 mm годишње.

Пријемна водна тела око депонија су на релативно сличној удаљености од тела ове две депоније. Хајдучки поток који представља локацију испуста вода са тела депоније је удаљен око 150 m од депоније „Гигош“, док је река Велика Морава удаљена око 1800 m од депоније. Слична ситуација је и на депонији „Метерис“. Батлијски поток је од депоније удаљен око 100 m, док је река Јужна Морава удаљена око 1700 m од депоније.

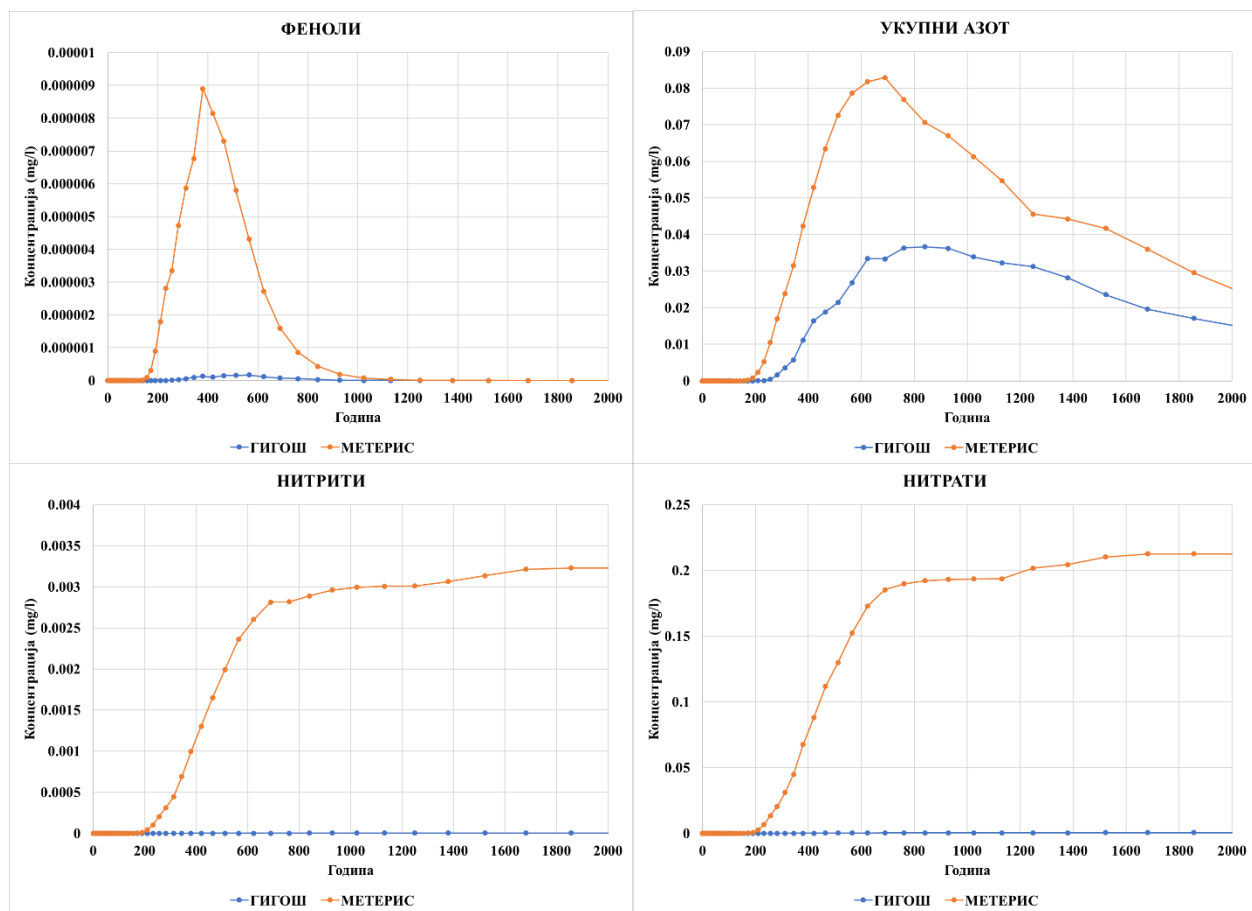
Према досадашњим подацима у дисертацији, може се закључити да је, приликом поређења депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“, највећа разлика управо у квалитету процедурних вода која се генерише у телу депоније, као последица старосног века депонија.

8.3.1 Упоредна анализа модела реалног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ и Санитарне депоније „Метерис“

Предикционим моделима, добијених LandSim симулатором, може се приказати предикција дугорочног утицаја, реалног стања депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“, на пријемна водна тела.

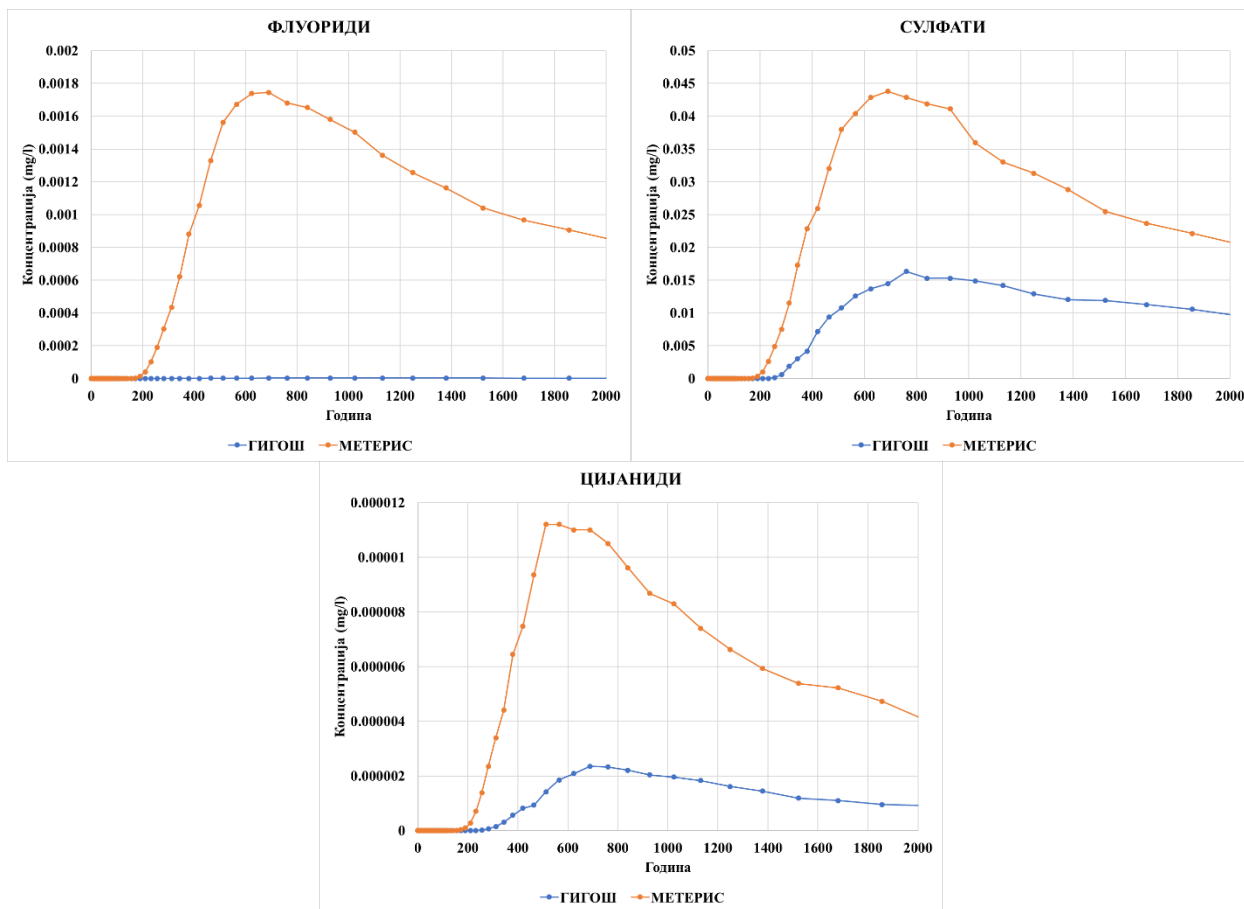
Модели реалних стања депонија указују на одсуство свих компоненти у пријемном водном телу у првих 160 година симулираног периода. Након тога, модели депоније „Метерис“ указују на тренд раста концентрација компоненти у периоду између 160 и 200 година у зависности од анализиране компоненте. На моделу депоније „Гигош“, тренд раста концентрација компоненти показује нешто каснији ток промене и то у периоду између 170 и 220 година симулираног периода, у зависности од анализиране компоненте. То означава да концентрације компоненти на моделу депоније „Метерис“ показују тренд пораста 1,1 пута брже него концентрације компоненти на моделу депоније „Гигош“. Како је достизање детектованих концентрација компоненти, у просеку, 10 година касније на депонији „Гигош“ у односу на депонију „Метерис“, може се закључити да се предикциони модели подударају са реалним старосним вековима анализираних депонија (депонија „Метерис“ је старија 8 година у односу на депонију „Гигош“).

У дисертацији је издвојено три компоненте из групе нутријената и то укупни азот, нитрити и нитрати, док су из групе органских супстанци, као репрезентативна компонента, издвојени феноли. На слици 8.69 приказане је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу, из групе нутријената и органских супстанци на реалном моделу депоније „Гигош“ и на реалном моделу депоније „Метерис“.



Слика 8.69 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе нутријената и органских супстанци на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“

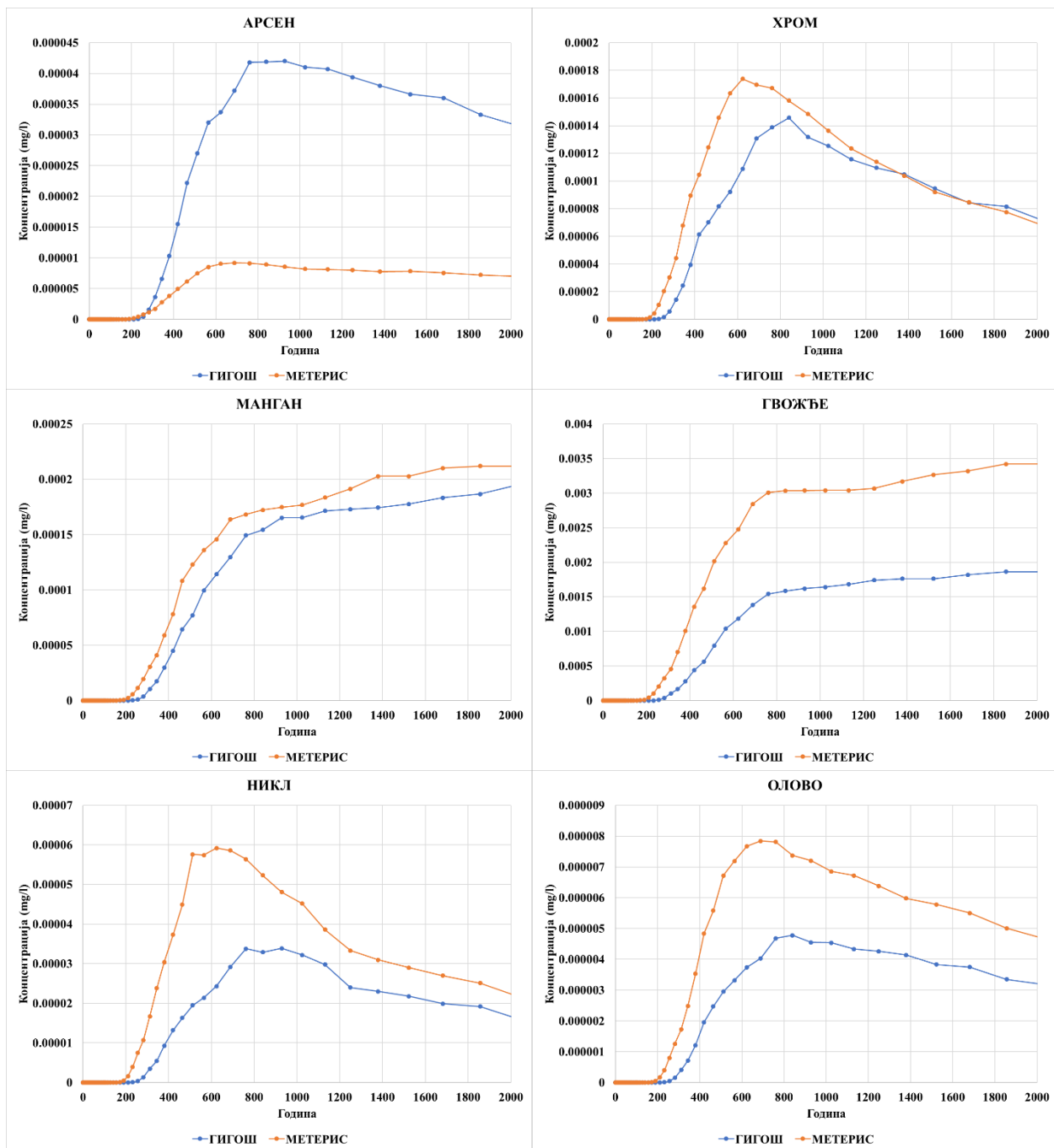
Из групе салинитета издвојене су три репрезентативне компоненте и то флуориди, сулфати и цијаниди. На слици 8.70 приказан је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на реалном моделу депоније „Гигош“ и на реалном моделу депоније „Метерис“.

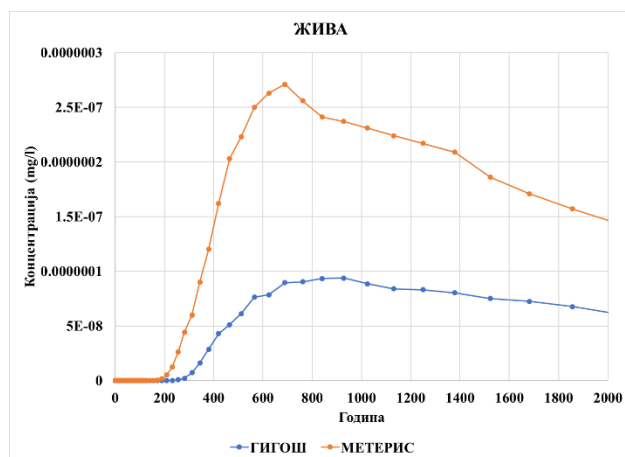


Слика 8.70 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“

На самом крају анализираних компоненти издвојено је и 7 репрезентативних компоненти из групе метала и то арсен, хром, никл, гвожђе, манган, олово и жива.

На слици 8.71 приказан је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу из групе метала на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“.





Слика 8.71 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе метала на реалним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“

Разлике у вредностима максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу, на моделу реалног стања депоније „Гигош“ у односу на вредности максималних концентрација компоненти на реалном стању депоније „Метерис“, које су приказане на претходним графицима, представљене су и фактором повећања и приказани су у табели 8.15.

Табела 8.15 Фактор повећања између максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу реалног стања депоније „Гигош“ и на моделу реалног стања депоније „Метерис“

Компонента	РСД Гигош (mg/l)	СД Метерис (mg/l)	Фактор повећања
Укупни азот	0,037	0,083	2,24
Нитрити	$3,5 \times 10^{-6}$	0,003	857,14
Нитрати	6×10^{-4}	0,2	333,33
Флуориди	$3,7 \times 10^{-6}$	0,0017	459,46
Сулфати	0,016	0,043	2,69
Цијаниди	$2,4 \times 10^{-6}$	$1,13 \times 10^{-5}$	4,71
Феноли	$1,7 \times 10^{-7}$	9×10^{-6}	52,94
Арсен	$4,2 \times 10^{-5}$	$9,2 \times 10^{-6}$	4,57
Хром	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	1,21
Никл	$3,4 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-5}$	1,74
Гвожђе	0,0019	0,0034	1,79
Манган	0,0002	0,00021	1,05
Олово	$4,7 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-6}$	1,68
Жива	$9,5 \times 10^{-8}$	$2,7 \times 10^{-7}$	2,84

Табела 8.15 приказује факторе повећања концентрација за сваку компоненту, где фактор повећања указује колико пута је концентрација компоненте реалног стања депоније „Метерис“ већа у односу на концентрацију компоненте реалног стања депоније „Гигош“.

Најнижи фактор разлике између концентрација компоненти депоније „Метерис“ и депоније „Гигош“ показују метали, што се може објаснити прилично сличним уделом метала у укупној количини морфолошког састава одложеног отпада на обе депоније.

Највиши фактор разлике показују нитрати, нитрити и флуориди. Разлог веће разлике у концентрацијама нитрита и нитрата може бити присуство веће количине укупног органског отпада који је одложен на депонију „Метерис“ у односу на количину органског отпада који је одложен на депонији „Гигош“. Такође већи фактор разлике концентрације флуорида на депонији „Метерис“ у односу на депонију „Гигош“ се такође може објаснити присуством веће количине баштенског отпада у телу депоније „Метерис“, а отпад из баштенског и пољопривредног отпада који садржи остатке фосфатних ђубрива може бити извор веће количине флуорида.

Као што се може видети са слика 8.70, 8.71 и 8.72, ни једна вредност концентрација компоненти из група органских супстанци, нутријената, салинитета, нити метала не прелазе граничне вредности емисије у површинске воде, дате Уредбом [72].

Међутим, како према Уредби [72], члан 8, није дозвољено директно ни индиректно испуштање загађујућих материја у подземну воду, док се не одреди нулти ниво концентрације следећих загађујућих материја: жива, цијаниди, никл, олово, арсен, флуориди и нитрати, може се закључити да део анализираних компоненти може имати негативне последице на подземне воде.

Како процедурне воде долазе до површинских вода и путем подземних пукотина и вода, може се закључити да реално стање депоније може имати нежељене последице по животну средину, посебно на подземне воде, када дође до попуштања система заштитних облога на дну тела депоније, јер сви присутни анализирани метали и нитрити, предикционим моделима, показују концентрације које су веће од нуле.

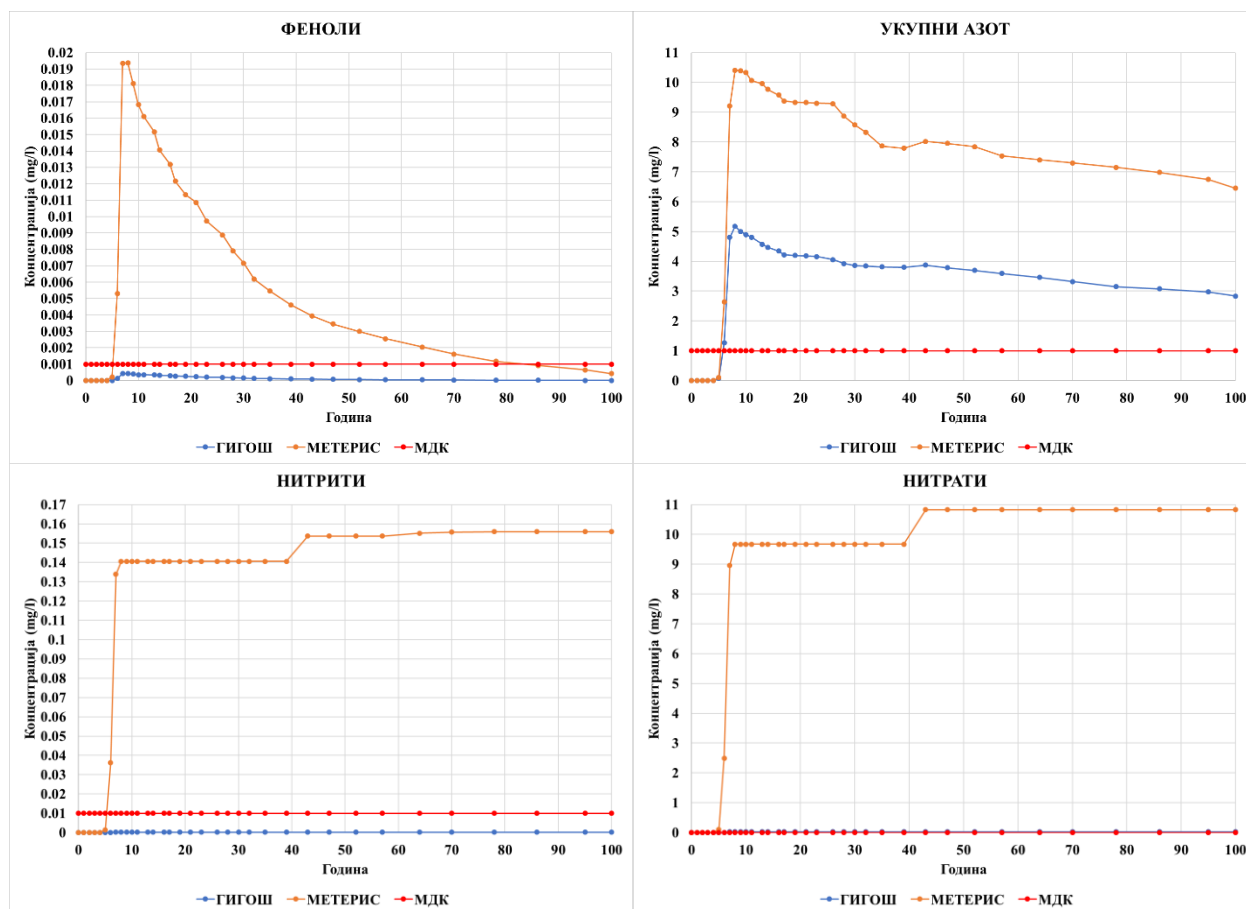
Од укупно 14 анализираних компоненти, 8 компоненти показују прекорачење дозвољених концентрација у подземне воде [72] за оба сценарија реалног стања депонија и то: жива, цијаниди, никл, хром, олово, арсен, флуориди и нитрати.

8.3.2 Упоредна анализа модела акцидентног стања регионалне санитарне депоније „Гигош“ и санитарне депоније „Метерис“

Предикционим моделима, добијених LandSim симулатором, може се приказати и предикција дугорочног утицаја, акцидентног стања депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“, на пријемна водна тела.

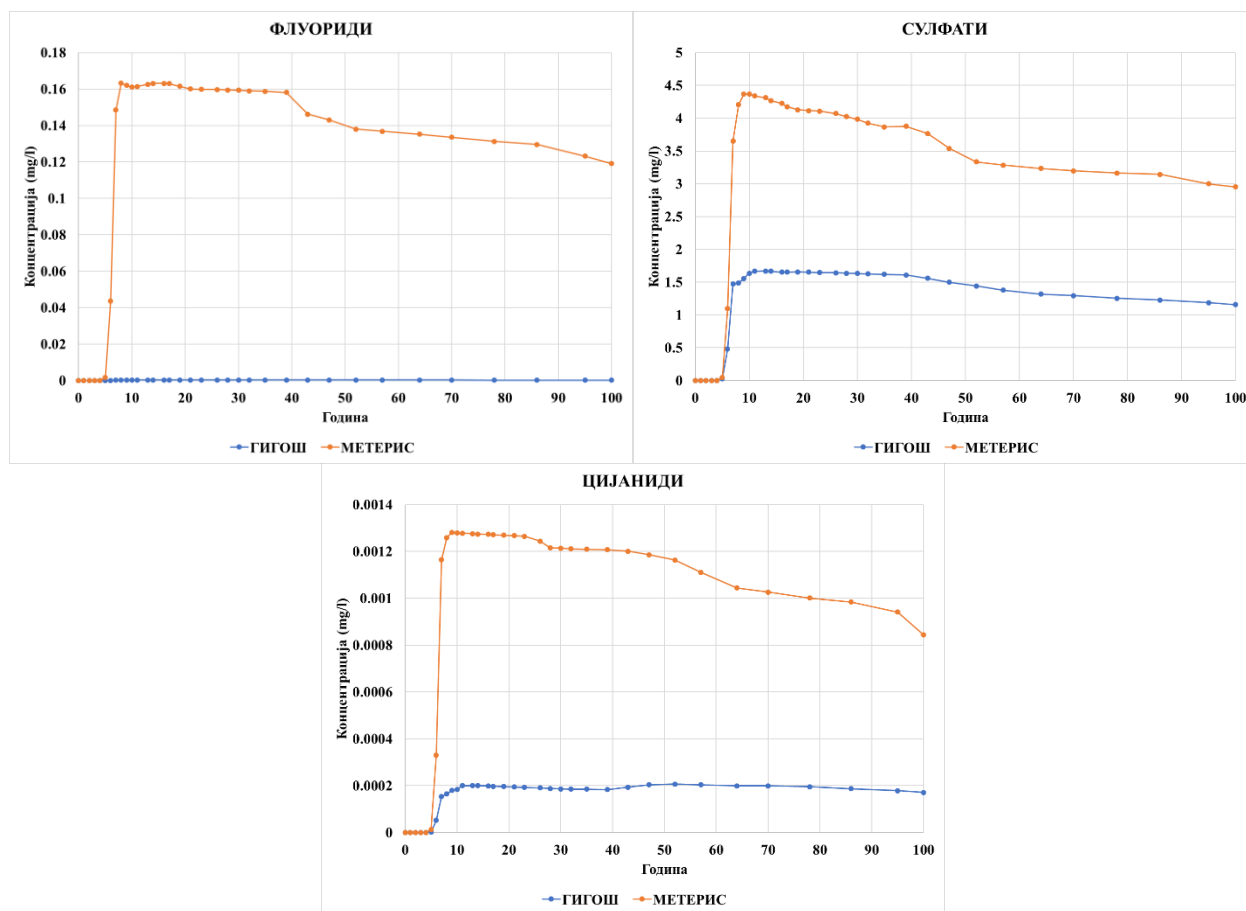
Модели акцидентних стања депонија указују на одсуство свих компоненти у пријемном водном телу у прве 3 године симулираног периода. Након тога, модели депоније „Метерис“ указују на тренд раста концентрација компоненти у периоду између 5 и 10 година симулираног периода, у зависности од анализиране компоненте. На моделу депоније „Гигош“, тренд раста концентрација компоненти показује исти ток промене концентрације компоненти као и на депонији „Метерис“, и то у периоду између 5 и 10 година симулираног периода, такође у зависности од анализиране компоненте. Разлог идентичним токовима промена концентрација у случају акцидентних стања на депонијама „Гигош“ и „Метерис“ јесте зато што предикциони модели препознају настанак акцидентног стања у тренутно симулираној години, што је у дисертацији 2018. година у случају обе депоније. То значи да је тренутак настанка дефеката система заштитних облога у почетној симулираној години, односно 2018. години, за разлику од реалног стања депонија, где је ток концентрација одређен у односу на век трајања депоније до почетка симулираног периода.

У дисертацији је издвојено три компоненте из групе нутријената и то укупни азот, нитрити и нитрати, док су из групе органских супстанци, као репрезентативна компонента, издвојени феноли. На слици 8.72 приказане је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу, из групе нутријената и органских супстанци на акцидентном моделу депоније „Гигош“ и на акцидентном моделу депоније „Метерис“.



Слика 8.72 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе нутријената и органских супстанци на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“ у односу на МДК

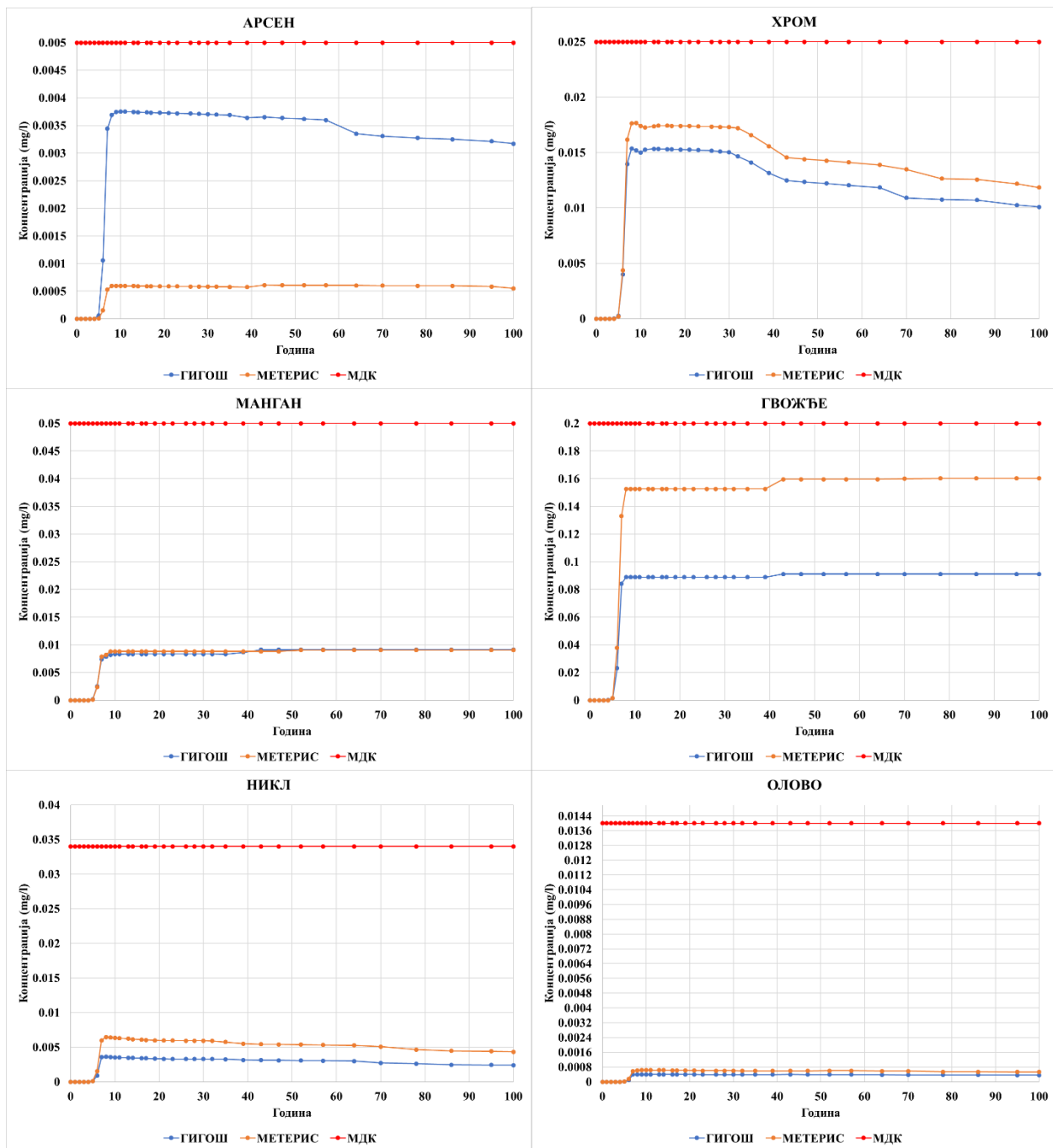
Из групе салинитета издвојене су три репрезентативне компоненте и то флуориди, сулфати и цијаниди. На слици 8.73 приказан је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на акцидентном моделу депоније „Гигош“ и на акцидентном моделу депоније „Метерис“.

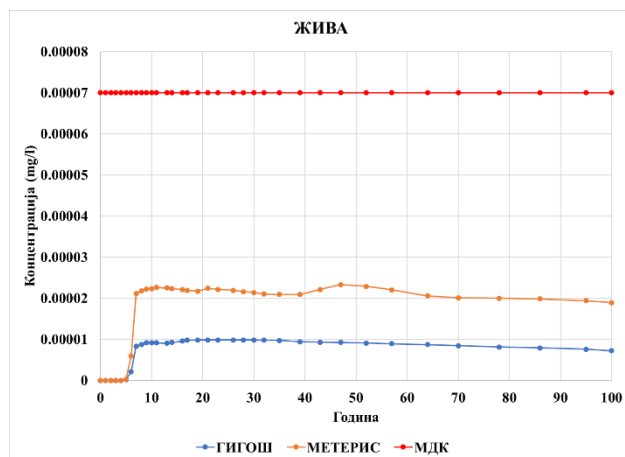


Слика 8.73 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе салинитета на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“

На самом крају анализираних компоненти издвојено је и 7 репрезентативних компоненти из групе метала и то арсен, хром, никл, гвожђе, манган, олово и жива.

На слици 8.74 приказан је ток концентрација компоненти у пријемном водном телу из групе метала на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“.





Слика 8.74 Концентрације компоненти у пријемном водном телу из групе метала на акцидентним моделима депоније „Гигош“ и депоније „Метерис“

Разлике у вредностима максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу, на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“ у односу на вредности максималних концентрација компоненти на акцидентном стању депоније „Метерис“, које су приказане на претходним графицима, представљене су и фактором повећања и приказани су у табели 8.16.

Табела 8.16 Фактор повећања између максималних концентрација компоненти у пријемном водном телу на моделу акцидентног стања депоније „Гигош“ и на моделу акцидентног стања депоније „Метерис“

Компонента	РСД Гигош (mg/l)	СД Метерис (mg/l)	Фактор повећања
Укупни азот	5.2	10,5	2.02
Нитрити	0.00019	0,15	789
Нитрати	0.027	10,7	396
Флуориди	0.0003	0,16	533
Сулфати	1.67	4,4	2.63
Цијаниди	0.0002	0,0013	6.5
Феноли	0.0004	0,019	47.5
Арсен	0.0038	0,0006	-0.158
Хром	0.015	0,018	1.2
Никл	0.0036	0,0065	1.81
Гвожђе	0.09	0,16	1.78
Манган	0.009	0,009	1
Олово	0.0004	0,0006	1.5
Жива	9.8×10^{-6}	$2,3 \times 10^{-5}$	2.35

Табела 8.16 приказује факторе повећања концентрација за сваку компоненту, где фактор повећања указује колико пута је концентрација компоненте акцидентног стања депоније „Метерис“ већа у односу на акцидентно стање депоније „Гигош“.

Најнижи фактор разлике између концентрација компоненти депоније „Метерис“ и депоније „Гигош“ показују метали, што се може објаснити прилично сличним уделом метала у укупној количини морфолошког састава одложеног отпада на обе депоније.

Највиши фактор разлике на моделима акцидентног стања депонија, као и на моделима реалног стања, показују нитрати, нитрити и флуориди. Разлог веће разлике у концентрацијама нитрита и нитрата на депонији „Метерис“ може бити због присуства веће количине укупног органског отпада који је одложен на депонију „Метерис“ у односу на количину органског отпада који је одложен на депонији „Гигош“. Такође већи фактор разлике концентрације флуорида на депонији „Метерис“ у односу на депонију „Гигош“ се такође може објаснити присуством веће количине баштенског отпада у телу депоније „Метерис“, а отпад из баштенског и пољопривредног отпада који садржи остатке фосфатних ђубрива може бити извор веће количине флуорида.

Како се може видети са слика 8.73, 8.74 и 8.75, све компоненте из групе нутријената и органских супстанци на акцидентном моделу депоније „Метерис“ прелазе граничне вредности емисије у површинске воде, уређене Уредбом [72], док на акцидентном моделу депоније „Гигош“ из групе нутријената, граничне вредности прелазе само укупни азот и нитрати.

Из групе салинитета ни једна компонента не прелази граничну вредност емисије у површинске воде на моделима акцидентног стања депонија, нити су близу граничне вредности.

Из групе метала, на моделима акцидентних стања депонија, ни једна компонента не прелази граничне вредности емисије у површинске воде, али су арсен, хром и гвожђе јако близу граничних вредности.

Према Уредби [72], члан 8, није дозвољено директно ни индиректно испуштање загађујућих материја у подземну воду, док се не одреди нулти ниво концентрације следећих загађујућих материја: жива, цијаниди, никл, хром, олово, арсен, флуориди и нитрати.

Како процедурне воде долазе до површинских вода и путем подземних пукотина и вода, може се закључити да акцидентно стање депоније може имати катастрофалне последице по животну средину, посебно на подземне воде, јер сви присутни анализирани метали, предикционим моделима, показују концентрације које су веће од нуле.

Од укупно 14 анализираних компоненти, 11 компоненти показују прекорачење дозвољених концентрација у површинске и подземне воде, за оба сценарија акцидентног стања депонија, и то: укупни азот, нитрати, нитрити, феноли, флуориди, жива, цијаниди, никл, хром, олово и арсен.

На крају, у случају несанитарних депонија или потенцијалних нежељених ванредних ситуација на санитарним депонијама, утицај депоније на животну средину може бити јакo негативан, како на површинске тако и на подземне воде.

8.4. Процена утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела

Процена утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела представља процес којим се идентификују и анализирају потенцијални утицаји које процедурне воде могу имати на акватичне екосистеме. Овај процес укључује анализу различитих компоненти, укључујући тешке метале, органске компоненте и нутријенте који могу изазвати промене у физичко-хемијским параметрима воде, што може утицати на биодиверзитет и здравље водних организама [122], [177].

Научна истраживања и доприноси у области процене утицаја депонија на животну средину бележе се још од 1980. године када је Nakanson предложио метод потенцијалног еколошког ризика (PERI), који се користи за одређивање комбинованог ефекта тешких метала, где различите врсте тешких метала заједно доприносе комбинованом загађивању животне средине [178]. Након тога, бројна истраживања су се бавила овом темом [122], [177], [179]. На пример, студија извршена у Тајху језеру у Кини истраживала је утицаје тешких метала из седимената и површинских вода, користећи вишеструке методе процене ризика за оцену еколошких и здравствених последица [105]. Такође, еминентна студија бавила се проценом еколошког ризика од процедурних депонијских вода коришћењем EUSES модела (European Union System for the Evaluation of Substances) за квантитативну анализу ризика [180].

Еколошки ризик подразумева квантитативну меру опасности од настанка негативних промена у животној средини и угрожавања здравља људи [181].

Еколошки ризик од негативног утицаја депонијских процедурних вода на пријемна водна тела према карактеру деловања јесте непрекидан, према дужини деловања је дуготрајни, а последице су регионалне и дуготрајне и спадају у кумулативну групу ризика [181].

Према изворима еколошке опасности као и ризика према њиховом оптерећењу околине тешки метали заузимају 28% удела, органске компоненте имају 27% удела, а комбиновани отпад има 20% релативног удела у оптерећењу животне средине.

Према компонентама животне средине, површинске воде, као полазна основа за процену ризика у дисертацији, имају релативни удео у оптерећењу чак 53%, док подземне воде имају 7% удела у оптерећењу животне средине [181].

Процес процене еколошког ризика негативног утицаја процедурних депонијских вода по пријемна водна тела може се вршити на основу анализе следећих фактора [105], [180]:

1. Морфолошки састав отпада у телу депонија- садржај депоније Гигош и депоније Метерис је релативно сличан, састоји се чврстог комуналног отпада (папир, стакло, текстил, метали, пластика, баштенски, биоразградиви отпад и остало). Детаљније информације о садржини отпада у телу депоније описане су у поглављу 7.
2. Састав процедурних вода: компоненте које улазе у састав процедурних вода као и њихове концентрације добијене су лабораторијским мерењима у акредитованим лабораторијама депоније Гигош и депоније Метерис (детаљно представљене у поглављу 7, табеле 7.4 и 7.10). Даље предикције концентрација процедурних вода у дужем временском периоду, добијене су симулационим моделима софтвера LandSim (детаљно описане у поглављу 8)
3. Геотехничка својства локација- представљају јако важан сегмент у процесу процене утицаја процедурних депонијских вода на пријемна водна тела, јер могу одређивати пут миграције процедурних вода са депонија до реципијената. Детаљан опис карактеристика локација налази се у поглављу 7.
4. Физичке, хидролошке и геолошке карактеристике реципијената- реципијенти депоније Гигош и депоније Метерис су реке Велика Морава и Јужна Морава. Велика

Морава је најдужа река у Србији која настаје спајањем Западне и Јужне Мораве код града Сталаћа, протиче кроз централни део Србије и улива се у Дунав код Смедерева. У просеку река има ширину од 50 до 100 m, док дубина може достићи и до 5 m у одређеним деловима. Проток Велике Мораве је изразито променљив, зависи од сезонских и временских услова, просечан годишњи проток је око 100 m³/s [94]. Карактеристични су високи водостаји у пролеће због топљења снега и јесењих киша, док су у току летњег периода могуће суше [93]. Долина је углавном састављена из кварцних пескова, глина и шљунка, што је резултат продужене ерозије и седиментације. Због велике количине седимента и релативно плитке дубине, Велика Морава има тенденцију да мења своје речно корито током времена, што може довести до измештања речних меандара и промена у току реке. Јужна Морава протиче кроз југоисточну Србију и улива се у Велику Мораву, са укупном дужином од око 295 km. Ширина реке је између 30 и 50 m, док дубина реке варира. Јужна Морава такође има велике варијације у протоку, са просечним годишњим протоком од око 40 m³/s [94]. Карактерише је сличан режим као што има Велика Морава са пролећним и јесењим поплавама. Долина Јужне Мораве пролази кроз различите геолошке формације, укључујући карбонатне стене, шкриљце и алувијалне наносе. Ово утиче на њену ерозивну активност и способност да транспортује седimente. Има висок ниво седиментације, нарочито у свом доњем току, где се сусреће са Великом Моравом. Седименти су често богати органским материјама и минералима, што утиче на плодност околног земљишта. Јужна Морава је позната по својим ерозивним процесима, који могу довести до измена у каналу реке и облику долине, посебно током обилних киша и поплава [91].

Удаљеност депоније Гигош од реке Велике Мораве износи око 1,8 km, а депоније Метерис од реке Јужне Мораве износи око 1,7 km.

5. Оцена еколошког ризика- одређује се уз помоћ матрице ризика која омогућава категоризацију ризика у зависности од концентрације полутаната и њиховог потенцијалног утицаја на животну средину.

Шема процене еколошког ризика процедурних депонијских вода на пријемна водна тела спроведена је кроз следеће фазе [182], [183]:

1. Идентификација компоненти у процедурним водама;

2. Одређивање граничних вредности емисије компоненти;
3. Утврђивање нивоа ризика;
4. Оцена ризика;
5. Анализа ризика.

Идентификација компоненти- компоненте које су анализиране у оквиру дисертације обухватају 14 параметара из групе нутријената, салинитета, органских супстанци и тешких метала и то: укупни азот, нитрати, нитрити, сулфати, флуориди, феноли, арсен, цијаниди, хром, гвожђе, манган, никл, олово и жива. Концентрације компонената у процедурним водама у телу депоније добијене су лабораторијским испитивањима, док су предикционе концентрације процедурних вода на реципијенту добијене софтверским алатом LandSim и детаљно су описане у поглављима 7 и 8. Предикционе вредности концентрација компоненти у процедурним водама које достижу до реципијената, односе се на реално стање (300,700 и 1500 година) и акцидентно стање (5,10 и 30 година) депоније Гигош као и на реално и акцидентно стање депоније Метерис и приказане су у табели 8.18 и 8.19.

Ове године су изабране као критичне године за оцену ризика због животног века депоније за коју се врши процена утицаја на пријемно водно тело, односно године забележених промена концентрација на рецептору [30], [31], [140].

Утврђивање нивоа ризика- дефинисање нивоа прихватљивости ризика зависи од више фактора. Један од начина утврђивања ризика јесте подела ризика на прихватљив и на неприхватљив ризик, при чему се дефинише гранична област [181].

За потребе дисертације, гранична област дефинисана је Уредбама [71] и [72], које се односе на граничне вредности емисија компоненти у површинске воде.

Оцена нивоа ризика укључује квантитативну оцену концентрација компоненти у процедурним депонијским водама у поређењу са регулаторним граничним вредностима емисија у површинске воде. Овај начин оцено ризика омогућава идентификацију и класификацију ризика на [181]:

1. прихватљив ризик, уколико је измерена вредност концентрације компоненте нижа од њене граничне вредности, и

2. неприхватљив ризик, уколико је измерена вредност концентрације компоненте једнака или виша од њене граничне вредности.

На овај начин се омогућава даља анализа утицаја процедурних депонијских вода на реципијенте и развој стратегија за управљање ризицима и смањење потенцијалних негативних утицаја [183].

У табели 8.17 и 8.18 приказана је идентификација компоненти, граничне вредности емисија компоненти у површинске воде као и симулиране вредности концентрација компоненти у критичним годинама животног века депонија, при чему је поред бројчане вредности концентрација, црвеном бојом приказан неприхватљив, а зеленом бојом прихватљив ризик од негативног утицаја процедурних вода са депонија на реципијент, у односу на граничну вредност емисије компоненте.

Табела 8.17 Оцена ризика процедурних вода са депонија реалног и акцидентног стања депоније Гугош на пријемно водно тело

Компонента	Симулиране концентрације компоненти на рецептору						
	Реално стање (mg/l)			ГВЕ (mg/l)	Акцидентно стање (mg/l)		
	300. (год)	700. (год)	1500. (год)		5. (год)	10. (год)	30. (год)
Укупни азот	0.005	0.037	0.027	1	1.2	5.2	4
Нитрити	5×10^{-7}	3.5×10^{-6}	3.5×10^{-6}	0.01	5×10^{-5}	0.00019	0.00019
Нитрати	0.0001	6×10^{-4}	6×10^{-4}	10^{-8}	0.005	0.027	0.027
Флуориди	5×10^{-7}	3.7×10^{-6}	3.3×10^{-6}	н.п.	5×10^{-5}	0.0003	0.00028
Сулфати	0.002	0.016	0.012	50	0.2	1.67	1.6
Цијаниди	5×10^{-7}	2.4×10^{-6}	1.2×10^{-6}	0.05	5×10^{-5}	0.0002	0.00018
Феноли	1.1×10^{-7}	1.7×10^{-7}	0	0.001	5×10^{-5}	0.00044	0.00015
Арсен	5×10^{-6}	4.2×10^{-5}	3.7×10^{-5}	0.005	0.001	0.0038	0.0038
Хром	2×10^{-5}	1.4×10^{-4}	1.1×10^{-4}	0.025	0.004	0.015	0.015
Никл	5×10^{-6}	3.4×10^{-5}	2.5×10^{-5}	0.034	0.001	0.0036	0.0034
Гвожђе	1.1×10^{-4}	0.0019	0.0019	0.2	0.05	0.09	0.09
Манган	1.1×10^{-5}	0.0002	0.0002	0.05	0.004	0.009	0.009
Олово	3.5×10^{-7}	4.7×10^{-6}	4×10^{-6}	0.014	0.0001	0.0004	0.00039
Жива	9×10^{-9}	9.5×10^{-8}	8×10^{-8}	0.00007	2×10^{-6}	9.8×10^{-6}	9.8×10^{-6}

Табела 8.18 Оцена ризика процедурних вода са депонија реалног и акцидентног стања депоније Метерис на пријемно водно тело

Компонента	Симулиране концентрације компоненатана рецептору (mg/l)						
	Реално стање (год)			ГВЕ ^{2,3,4} (mg/l)	Акцидентно стање (год)		
	300.	700.	1500.		5.	10.	30.
Укупни азот	0.022	0.083	0.045	1	2	10.5	9
Нитрити	0.0005	0.003	0.003	0.01	0.02	0.15	0.15
Нитрати	0.05	0.2	0.2	10 ⁻⁸	2	10.7	10.7
Флуориди	0.0004	0.0017	0.0011	н.п.	0.04	0.16	0.16
Сулфати	0.01	0.043	0.025	50	0.5	4.4	4
Цијаниди	3x10 ⁻⁶	1.13x10 ⁻⁵	5x10 ⁻⁶	0.05	0.0002	0.0013	0.0012
Феноли	5,5x10 ⁻⁶	9x10 ⁻⁶	0	0.001	0.005	0.019	0.007
Арсен	1,5x10 ⁻⁶	9.2x10 ⁻⁶	3.6x10 ⁻⁶	0.005	0.0002	0.0006	0.0006
Хром	4x10 ⁻⁵	1.7x10 ⁻⁴	9x10 ⁻⁵	0.025	0.004	0.018	0.018
Никл	1,5x10 ⁻⁵	5.9x10 ⁻⁵	3x10 ⁻⁵	0.034	0.002	0.0065	0.006
Гвожђе	0.0004	0.0034	0.0034	0.2	0.04	0.16	0.16
Манган	2,6x10 ⁻⁵	0.00021	0.00021	0.05	0.004	0.009	0.009
Олово	1,5x10 ⁻⁶	7.9x10 ⁻⁶	6x10 ⁻⁶	0.014	0.0002	0.0006	0.0006
Жива	5,4x10 ⁻⁸	2.7x10 ⁻⁷	2x10 ⁻⁷	0.00007	5x10 ⁻⁶	2.3x10 ⁻⁵	2.3x10 ⁻⁵

Анализа ризика- утицај реалног стања депоније Гигос и депоније Метерис на реципијент се углавном може сматрати минималним, с обзиром на то да је за већину компонената утврђен прихватљив ниво ризика. Ово указује на то да је вредности концентрација ових компоненти у реципијенту остају далеко испод граничних вредности које би могле представљати здравствене или еколошке проблеме у анализираним временским периодима. Једина компонента која је категорисана као "неприхватљив ризик" јесу нитрати. Ова оцена указује на то да би њихова концентрација могла имати негативне последице за животну средину и здравље људи. Нитрати могу довести до еутрофикације, што може смањити нивое кисеоника у води и негативно утицати на рибе и друге водене организме.

У акцидентном стању депоније Гигос и депоније Метерис, укупни утицај на животну средину и реципијенте може бити знатно израженији у поређењу са редовним условима. Нитрати, нитрити, укупни азот и присуство фенола у високим концентрацијама, посебно показују високе нивое ризика, а њихови негативни утицаји су претходно представљени.

Приликом процене утицаја депонија на животну средину, поред вредности концентрација која достижу до пријемних водних тела, јако је важно истаћи и време за које ће те концентracије стићи до водних тела. Предикционим мерењима утврђено је да у случају

реалног стања депоније, све компоненте до 180. године припадају прихватљивом нивоу ризика, док у случају акцидентног стања депоније, прихватљив ниво ризика имају све компоненте до 3. године симулираног периода.

Према томе, највећа разлика између депонија у реалном стању и акцидентном стању јесте управо време за које ће концентрације компоненти из прихватљивог нивоа ризика прерасти у неприхватљив, где је евидентно да већ након 3 године од нарушеног редовног стања депоније се може очекивати присуство високих концентрација компоненти у водном телу, док у редовном стању депоније, те концентрације потенцијално могу стићи тек након 180 година од почетка рада депоније. Овај дужи временски период омогућава боље превентивне мере заштите животне средине од негативног утицаја депоније, док код несанитарних депонија то није случај.

Како је веома тешко предвидети стварни састав процедурних вода, јер он зависи од низа променљивих фактора као што су: састав отпада, температура и садржај влаге, путања миграције процедурне воде, дебљина депоније, фазе разлагања отпада, могућност међуслојева да апсорбују и уклоне загађење, дисертација даје детаљан увид у све ове параметре како би се извршила процена утицаја депонија на пријемна водна тела. Предикцијом догађаја у дисертацији добијене су потенцијалне количине процедурне воде која пролази кроз дно депоније и долази до реципијента у различитим сценаријима, што је реалним мерењима јако тешко. Из тог разлога, применом напредног софтверског алата LandSim могуће је предвиђање и управљање различитим утицајима депонија на околину. Овај алат се користи током различитих етапа развоја и старења депонија, пружајући детаљне анализе и прогнозе које се потенцијално могу догодити на депонији. LandSim софтвер се може користити при пројектовању нових депонија у раним фазама планирања, при чему се могу моделирати различити сценарији и оценити могући утицаји на околину. Такође, LandSim омогућава добијање података о потенцијалном ширењу контаминаната, што је корисно за састављање извештаја о утицају депоније на животну средину. На крају, LandSim помаже у праћењу и анализи текућих утицаја, као и у развијању стратегија за смањење негативних последица, што помаже даље у процесу мониторинга и управљања постојећим депонијама.

Валидацијом софтвера LandSim и статистичком анализом реално измерених и симулираних вредности концентрација компоненти у процедурним водама указује се на висок ниво

поузданости симулационог модела. На основу тога, може се закључити да симулациони модели пружају адекватне процене концентрација компоненти, што је од значаја за даље планирање и предвиђање утицаја депонија на животну средину.

Планирање и предвиђање утицаја депоније на животну средину и пријемна водна тела спроводи се мониторингом, односно надзором евентуалних промена одређених хемијских или физичких карактеристика емисије загађујућих компоненти. Дугорочни мониторинг вода након затварања депонија представља јакo важан процес који захтева систематско и редовно праћење параметара квалитета вода које могу указивати на евентуалне еколошке ризике или контаминацију изазвану депонијом [62].

Овај тип дугорочног мониторинга је посебно важан јер депоније често могу имати негативни утицај на пријемна водна тела и након престанка њихове активне употребе. Према законској регулативи и стандардима ЕУ и Републике Србије, потребно је вршити мониторинг депонија око 30 година након њиховог затварања. Међутим, резултати овог истраживања указују ипак на дужи период негативног утицаја депонија на околину и пријемна водна тела (дужи од 30 година). План мониторинга треба да буде довољно флексибилан да омогући праћење депонија и током непредвиђених услова, као што су изливања или акцидентна стања која могу додатно загадити воду, али такође флексибилност показати и кроз продужавање временског периода мониторинга депонија и након њеног затварања, у колико је то потребно и на дуже од 30 година [184].

Интегрисано спречавање и контрола загађења од депонија, обухвата поступак издавања дозволе за рад депоније и све активности које могу имати нежељене утицаје на здравље људи и околину, регулишу емисије загађујућих материја, осигуравају примену најбољих доступних техника за заштиту животне средине али и мониторинг над свим активностима везаних за рад депоније како би се спречило и контролисало загађење животне средине [185] [186]. Према ЕУ Директиви о превенцији и контроли загађења од депонија [187], депоније које примају више од 10 t отпада дневно или имају укупан капацитет већи од 25 000 t морају имати одговарајућу Интегрисану дозволу за рад депоније, а самим тим спроводити и додатни мониторинг вода са депонија у дужем временском периоду и након њеног затварања. Учесталост периодичног мониторинга треба обављати најмање једном сваких пет година за подземне воде и једном сваких десет година за земљиште. Такође,

дозвола треба да укључује листу свих врста отпада који могу бити третирани и информације о количини сваког типа отпада. Директива описује и компоненте које су релевантне приликом мониторинга вода са депонија због специфичности њиховог утицаја на пријемна водна тела, па су међу њима, као и у дисертацији: укупни азот, нитрати и нитрити, сулфати, хром, цијаниди, феноли, арсен, никл, олово и жива.

Генерално, у контексту ефикасног мониторинга, потребно је подстицати развој и примену нових, емергентних, техника које су идентификоване у документима о најбољим доступним техникама (БАТ) [184]. Најбоље доступне технике могу обухватити широк спектар технологија, метода управљања и опреме које се користе за смањење негативног утицаја депонија на животну средину. БАТ се не ограничава само на физичке или хемијске технологије за третман или контролу емисија, већ може укључивати и софтверске алате који помажу у предвиђању и управљању утицајима на животну средину [187]. Према томе, софтвер LandSim, кроз предикцију миграције процедних вода са депонија и концентрација компоненти у пријемним водним телима, може бити важан алат у оквиру БАТ јер омогућава:

1. Рано упозоравање и превентивно деловање кроз способност предвиђања кретања контаминаната омогућавајући оператерима депонија да предузму мере за заштиту пријемних водних тела пре него што дође до стварне контаминације;
2. Оптимизација процеса управљања депонијом јер софтвер помаже у одређивању најефикаснијих метода за управљање, складиштење и обраду отпада на основу предикционих мерења и резултата утицаја у дужем временском периоду;
3. Побољшање постојећих мера заштите кроз интеграцију резултата софтвера у стратегије управљања, може се унапредити постојећи систем мониторинга и контроле.

У контексту Директиве 2010/75/EU [187] као и Закона о спречавању и контроли загађења у Републици Србији [185], БАТ се дефинишу као најефикаснија и најнапреднија техничка средства која нису само ограничена на технологију, већ укључују и начин на који је инсталација пројектована, изграђена, одржавана и на крају експлоатисана. Дакле, софтвер LandSim, који помаже у управљању еколошким утицајима депоније може се сматрати делом

БАТ, с обзиром да је доступан, економски оправдан и практично применљив у датом сектору управљања депонијама и процедним водама.

9. ЗАКЉУЧАК

У дисертацији је моделиран састав процедних вода који се мења у зависности од тога кроз коју фазу биолошке разградње органских компоненти отпада депонијска процедура вода пролази. Посебна пажња је посвећена процесу старења депонија, јер се састав депонијских процедних вода мења у зависности од старости депоније. За предикцију догађаја, коришћен је софтверски алат LandSim који је намењен за моделирање састава депонијских процедних вода, симулацију кретања депонијских процедних вода и анализу њиховог утицаја на пријемна водна тела.

Општи циљ овог истраживања јесте процена утицаја депонијских процедних вода са санитарних и несанитарних депонија на пријемна водна тела као и унапређење система мониторинга кроз предикцију догађаја на депонијама у дужем временском периоду, који је испуњен у оквиру дисертације. Посебни циљеви истраживања су такође испуњени у дисертацији и то:

- опис стања постојећих депонија- детаљно описано у поглављу 3, кроз мапирање санитарних и несанитарних депонија и морфолошки састав отпада који се одлаже на њих,
- карактеризација реципијената- интерпретирана кроз интеракцију депонија са околним пријемним водним телима и њиховој удаљености, описано у поглављу 3
- систематизација еколошког ризика- спроведена кроз фазе и описана у поглављу 8
- компаративна анализа количина процедних вода на санитарним и несанитарним депонијама- спроведена на основу предикционих модела на депонијама реалног и акцидентног стања представљена кроз стопу миграције процедних вода са тела депоније.
- моделирање састава процедних вода са депонија софтверским алатом LandSim- детаљно спроведено кроз поглавље 8, где је извршено моделирање концентрација 14 компоненти у процедурној води на реалном и акцидентном стању депоније Гигош и Метерис
- систематизација фактора који утичу на перформансе рада депоније- значај представљен у поглављу 5, а затим су перформансе приказане и кроз софтверско

моделирање стопе миграције и састава компоненти процедних вода на моделу депоније са заштитном баријером дна и без заштите дна депоније.

Основна хипотеза истраживања, која је у дисертацији и потврђена, је да постоји значајна разлика у нивоу оптерећења животне средине са санитарне депоније у односу на несанитарну депонију, односно у односу на депонију која нема систем заштитних облога или је систем подлегао оштећењу, па према томе добијени резултати указују да:

- **На примеру регионалне санитарне депоније „Гигош“** максимална вредност стопе миграције процедурне воде кроз тело депоније на моделу без система заштитних облога (акцидентно стање) увећана **343 пута** у односу на вредност стопе миграције процедурне воде кроз тело депоније на моделу реалног стања депоније „Гигош“, са системом заштитних облога.
- Брзина продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније акцидентног стања је **60 до 80 пута** већа у односу на брзину продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније реалног стања депоније.
- Брзина достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији акцидентног стања је **90 до 120 пута** већа у односу на брзину достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији реалног стања
- Од укупно 14 анализираних компоненти, све компоненте показују да су концентрације на моделу акцидентног стања депоније више **45 пута до 2353 пута** у односу на концентрације компоненти модела реалног стања депоније.
- **На примеру санитарне депоније „Метерис“** количина процедурне воде која прође кроз тело депоније у акцидентном стању већа је **285 пута** у односу на количину процедурне воде која прође кроз тело депоније реалног стања.
- Брзина продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније акцидентног стања је **55 до 65 пута** већа у односу на брзину продирања минималних концентрација компоненти кроз базу депоније реалног стања
- Брзина достизања максималних вредности концентрације компоненти на депонији акцидентног стања је **75 до 100 пута** већа у односу на брзину достизања

максималних вредности концентрације компоненти на депонији реалног стања депоније.

- Од укупно 14 анализираних компоненти, све компоненте показују да су концентрације на моделу акцидентног стања депоније више **42 пута до 2112 пута** у односу на концентрације компоненти модела реалног стања депоније „Метерис“.

На основу добијених резултата о постојању значајне разлике у нивоу оптерећења животне средине са санитарне депоније у односу на несанитарну депонију, односно у односу на депонију која нема систем заштитних облога или је систем подлегао оштећењу, може се закључити да се **основна хипотеза у потпуности прихвата**.

Из основне хипотезе, изведене су посебне хипотезе.

Посебна хипотеза 1 (ПХ 1) је да се концентрације компонената у процедурним водама мењају током фаза старења депоније. Према томе, добијени резултати показују промене концентрација 14 компоненти од почетка до завршетка животног века депоније (400-800 година реалног стања и 3-10 година акцидентног стања).

Модел депоније „Гигош“

1. *Укупни азот* – повећање концентрације азота од **257%** до 700 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније реалног стања и повећање концентрације азота од **438%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније акцидентног стања.
2. *Нитрити*- повећање концентрације нитрита од **233%** до 800 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрита у телу депоније реалног стања и повећање концентрације азота од **450%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрита у телу депоније акцидентног стања.
3. *Нитрати*- повећање концентрације нитрата од **250%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације нитрата у телу депоније реалног стања и повећање концентрације нитрата од **520%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрата у телу депоније акцидентног стања.
4. *Сулфати*- повећање концентрације сулфата од **228%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације сулфата у телу депоније реалног стања и повећање

концентрације сулфата од **300%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације сулфата у телу депоније акцидентног стања.

5. *Флуориди*- повећање концентрације флуорида од **200%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације флуорида у телу депоније реалног стања и повећање концентрације флуорида од **270%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације флуорида у телу депоније акцидентног стања.
6. *Цијаниди*- повећање концентрације цијанида од **650%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације цијанида у телу депоније реалног стања и повећање концентрације цијанида од **400%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније акцидентног стања.
7. *Феноли*- повећање концентрације фенола од **1900%** до 400 година у односу на почетне вредности концентрације фенола у телу депоније реалног стања и повећање концентрације фенола од **480%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације фенола у телу депоније акцидентног стања.
8. *Арсен*- повећање концентрације арсена од **270%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације арсена у телу депоније реалног стања и повећање концентрације арсена од **300%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације арсена у телу депоније акцидентног стања.
9. *Хром*- повећање концентрације хрома од **200%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације хрома у телу депоније реалног стања и повећање концентрације хрома од **700%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације хрома у телу депоније акцидентног стања.
10. *Никл*- повећање концентрације никла од **200%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације никла у телу депоније реалног стања и повећање концентрације никла од **320%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације никла у телу депоније акцидентног стања.
11. *Гвожђе*- повећање концентрације гвожђа од **293%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније реалног стања и повећање концентрације гвожђа од **400%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније акцидентног стања.

12. *Манган*- повећање концентрације мангана од **500%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације мангана у телу депоније реалног стања и повећање концентрације мангана од **450%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације мангана у телу депоније акцидентног стања.
13. *Олово*- повећање концентрације олова од **290%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације олова у телу депоније реалног стања и повећање концентрације олова од **370%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације олова у телу депоније акцидентног стања.
14. *Жива*- повећање концентрације живе од **400%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније реалног стања и повећање концентрације живе од **900%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације живе у телу депоније акцидентног стања.

Модел депоније „Метерис“

1. *Укупни азот* – повећање концентрације азота од **72%** до 600 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније реалног стања и повећање концентрације азота од **760%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније акцидентног стања.
2. *Нитрити*- повећање концентрације нитрита од **86%** до 800 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрита у телу депоније реалног стања и повећање концентрације азота од **525%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрита у телу депоније акцидентног стања.
3. *Нитрати*- повећање концентрације нитрата од **76%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације нитрата у телу депоније реалног стања и повећање концентрације нитрата од **330%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације нитрата у телу депоније акцидентног стања.
4. *Сулфати*- повећање концентрације сулфата од **72%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације сулфата у телу депоније реалног стања и повећање концентрације сулфата од **640%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације сулфата у телу депоније акцидентног стања.
5. *Флуориди*- повећање концентрације флуорида од **71%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације флуорида у телу депоније реалног стања и

повећање концентрације флуорида од **600%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације флуорида у телу депоније акцидентног стања.

6. *Цијаниди*- повећање концентрације цијанида од **80%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације цијанида у телу депоније реалног стања и повећање концентрације цијанида од **830%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације азота у телу депоније акцидентног стања.
7. *Феноли*- повећање концентрације фенола од **75%** до 400 година у односу на почетне вредности концентрације фенола у телу депоније реалног стања и повећање концентрације фенола од **800%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације фенола у телу депоније акцидентног стања.
8. *Арсен*- повећање концентрације арсена од **88%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације арсена у телу депоније реалног стања и повећање концентрације арсена од **400%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације арсена у телу депоније акцидентног стања.
9. *Хром*- повећање концентрације хрома од **71%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације хрома у телу депоније реалног стања и повећање концентрације хрома од **685%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације хрома у телу депоније акцидентног стања.
10. *Никл*- повећање концентрације никла од **96%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације никла у телу депоније реалног стања и повећање концентрације никла од **480%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације никла у телу депоније акцидентног стања.
11. *Гвожђе*- повећање концентрације гвожђа од **78%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније реалног стања и повећање концентрације гвожђа од **535%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније акцидентног стања.
12. *Манган*- повећање концентрације мангана од **145%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације мангана у телу депоније реалног стања и повећање концентрације мангана од **350%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације мангана у телу депоније акцидентног стања.

13. *Олово*- повећање концентрације олова од **60%** до 700 година у односу на почетне вредности концентрације олова у телу депоније реалног стања и повећање концентрације олова од **460%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације олова у телу депоније акцидентног стања.

14. *Жива*- повећање концентрације живе од **100%** до 800 година у односу на почетне вредности концентрације гвожђа у телу депоније реалног стања и повећање концентрације живе од **525%** до 10 година, у односу на почетне вредности концентрације живе у телу депоније акцидентног стања.

На основу добијених резултата о променама концентрација 14 компонената у процедурним водама током фаза старења депоније од почетка до завршетка животног века депоније (400-800 година реалног стања и 3-10 година акцидентног стања) може се закључити да се **посебна хипотеза 1 (ПХ1) у потпуности прихвата.**

Посебна хипотеза 2 (ПХ 2) је да количина атмосферских падавина директно утиче на количину депонијских процедурних вода. Према томе, добијени резултати дисертације показују разлике између количине процедурних вода сакупљених на дну тла депоније.

На регионалној санитарној депонији „Гигош“, подаци о количини падавина указују на просечну вредност падавина од 619 mm годишње. Симулациони модели софтверског алата LandSim показују да је, у периоду 25 година рада депоније, висина процедурне воде на бази депоније 0,6 m. На санитарној депонији „Метерис“, подаци о количини падавина указују на просечну вредност падавина од 647 mm годишње. Симулациони модели софтверског алата LandSim показују да је у периоду 25 година рада депоније, висина процедурне воде на бази депоније 0,96 m, што означава да је количина процедурне воде на санитарној депонији „Метерис“ већа за 60% у односу на количину процедурне воде на регионалној санитарној депонији „Гигош“, односно да количина падавина директно утиче на количину депонијских процедурних вода у телу депоније.

На основу добијених резултата о утицају атмосферских падавина на количину процедурних депонијских вода у телу депоније, може се закључити да се **посебна хипотеза 2 (ПХ2) у потпуности прихвата.**

Посебна хипотеза 3 (ПХ 3) је да промене у дренажним системима на санитарним депонијама доводе до промена у протоку процедурних вода кроз тело депоније и да миграција процедурне

воде ка подземним водама и земљишту зависи од карактеристика вештачких гео-хидролошких баријера (геомембране, геосинтетичка глинена подлога, непропусна минерална баријера) и хидрауличке порозности земљишта. Према томе, добијени резултати дисертације показују разлике између стопе миграције процедних вода на примеру реалног стања депоније (са системом заштитних облога) и акцидентног стања депоније (без система заштитних облога)

Модел регионалне санитарне депоније „Гигош“

- Модел реалног стања депоније показује почетне вредности стопе миграције процедурне воде кроз дно тела депоније од 20 л/дан, док модел акцидентног стања показује вредност од 5000 л/дан, што указује на то да је количина процедурне воде која прође кроз тело депоније у акцидентном стању већа **250 пута** у односу на количину процедурне воде која прође кроз тело депоније реалног стања.
- Максимална вредност стопе миграције процедурне воде кроз тело депоније на моделу реалног стања показује вредности од 70 л/дан, која је на моделу акцидентног стања увећана **343 пута** и износи 24 000 л/дан.

Модел санитарне депоније „Метерис“

- Модел реалног стања депоније „Метерис“ показује почетне вредности стопе миграције процедурне воде кроз дно тела депоније од 31,5 л/дан, док модел акцидентног стања показује на вредност од 9000 л/дан, што указује на то да је количина процедурне воде која прође кроз тело депоније у акцидентном стању већа **285 пута** у односу на количину процедурне воде која прође кроз тело депоније реалног стања.
- Максимална вредност стопе миграције процедурне воде кроз тело депоније на моделу реалног стања показује вредности од 109 л/дан, која је на моделу акцидентног стања увећана **321,2 пута** и износи 35 000 л/дан.

На основу добијених резултата о променама у протоку процедурних вода кроз тело депоније у зависности од карактеристика вештачких гео-хидролошких баријера (геомембране, геосинтетичка глинена подлога, непропусна минерална баријера) и хидрауличке

порозности земљишта, може се закључити да се **посебна хипотеза 3 (ПХЗ) у потпуности прихвата.**

Очекивани допринос дисертације јесте пре свега дефинисање општих и специфичних перформанси рада депонија у циљу заштите животне средине које обухвата представљање значаја постојања заштитних система облога на дну депоније где резултати указују на значајно мању количину процедурне воде која доспева до реципијента у сценарију реалног стања депонија у односу на количину процедурних вода у сценарију акцидентног стања депонија. Такође перформансе рада депонија су приказане и кроз количине загађујућих компоненти које се генеришу у телу депоније и достижу до реципијента. Истраживањем се утврдило да много ниже концентрације компоненти доспевају до реципијента на моделу реалног стања депонија у односу на концентрације компоненти у сценарију акцидентног стања депонија.

Процена ризика депонија на животну средину спроведена је на у оквиру више временских интервала и то за реално стање депоније временски периоди 300,700 и 1500 година и за акцидентно стање депоније 5,10 и 30 година рада депоније. Утицај реалног стања депоније Гигош и депоније Метерис на реципијент се углавном може сматрати минималним, с обзиром на то да је за већину компонената утврђен прихватљив ниво ризика. Ово указује на то да је вредности концентрација ових компоненти у реципијенту остају далеко испод граничних вредности које би могле представљати здравствене или еколошке проблеме у анализираним временским периодима. Једина компонента која је категорисана као "неприхватљив ризик" јесу нитрати. Ова оцена указује на то да би њихова концентрација могла имати негативне последице за животну средину и здравље људи.

У акцидентном стању депоније Гигош и депоније Метерис, укупни утицај на животну средину и реципијенте може бити знатно израженији у поређењу са редовним условима. Нитрати, нитрити, укупни азот и присуство фенола у високим концентрацијама, посебно показују високе нивое ризика.

Приликом процене утицаја депонија на реципијенте, највећа разлика између депонија у реалном стању и акцидентном стању јесте управо време достизања процедурних вода до реципијената, где је евидентно да већ након 3 године од нарушеног редовног стања депоније се може очекивати присуство високих концентрација компоненти у водном телу, док у

редовном стању депоније, те концентрације потенцијално могу стићи тек након 180 година од почетка рада депоније. Овај дужи временски период омогућава боље превентивне мере заштите животне средине од негативног утицаја депоније, док код несанитарних депонија то није случај.

Даљи допринос у овој области који би се ослањао на овај јесте детаљније процене еколошког ризика на здравље људи и водотокове широм земље.

Допринос дисертације у дефинисању механизма кретања процедних вода са депонија је представљен предикционим моделима софтвера LandSim који даје излазне вредности стопе миграције процедних вода до реципијената у дужем временском периоду, који би реалним мерењима било јако тешко спровести.

Моделирање концентрација компоненти на дну тела депоније и на реципијенту допринело је сазнањима које су то концентрације компоненти процедних вода које би потенцијално могле доспети до водотокова и тиме угрозити здравље људи и животну средину. На основу оваквог истраживања могу се побољшати превентивне мере приликом пројектовања нових депонија и евентуално продужити временски период мониторинга депонија након њеног затварања. Дакле, LandSim софтвер, који се користи за управљање утицајима депонија на околину, представља једну од најбољих доступних техника. Због своје доступности, економичности и практичности у примени, може бити важан алат у сектору управљања депонијама и процедним водама.

На основу резултата истраживања, може се закључити да се они примарно могу искористити за даље детаљније анализе утицаја депонија на околину. Поред тога, корисни су и за планирање и пројектовање хидрогеолошких карактеристика нових санитарних депонија, при пројектима санације и ремедијације постојећих санитарних и несанитарних депонија, као и за оптимизацију мониторинг система у различитим фазама старења депоније.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J. P. Giroud and R. Bonaparte, “Leakage through Liners Constructed with Geomembrane= Part I. Geomembrane Liners*,” 1989.
- [2] D. H. Hall, “Dealing With Uncertainty In The Assessment Of Groundwater Impacts From Landfills: The LandSim Model,” in *Hydrogeology & Waste Management, Proceedings of the 18th Annual Groundwater Seminar*, International Association of Hydrogeologists, Irish Group, 1998.
- [3] B. R. Plimmer, A. B. Pringle, S. J. Moncaster, and G. Associates, “A probabilistic risk assessment methodology for landfills, with particular reference to the representation of chemical containment,” *Chemical Containment of Waste in the Geosphere*, vol. 157, pp. 275–280, 1999, [Online]. Available: <http://sp.lyellcollection.org/>
- [4] P. Carey and G. Carty, “Landfill manuals: landfill site design,” Ireland, 2000. [Online]. Available: www.epa.ie
- [5] T. Katsumi, C. H. Benson, G. J. Foose, and M. Kamon, “Performance-based design of landfill liners,” *Engineering Geology*, no. 60, pp. 139–148, 2001, [Online]. Available: www.elsevier.nl/locate/enggeo
- [6] J. Leeson, A. Edwards, J. W. N. Smith, and H. A. B. Potter, “Hydrogeological Risk Assessments for Landfills and the Derivation of Groundwater Control and Trigger Levels,” 2003. [Online]. Available: www.environment-agency.gov.uk
- [7] P. R. Schroeder, R. L. Peyton, B. M. Mcenroe, and J. W. Sjostrom, “The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model,” Vicksburg, 1984.
- [8] G. Ozbay, M. Jones, M. Gadde, S. Isah, and T. Attarwala, “Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health,” *Journal of Environmental and Public Health*, vol. 2021. Hindawi Limited, 2021. doi: 10.1155/2021/6921607.
- [9] R. Yang, J. Ren, X. Chang, and K. Yang, “Seepage Model of Heterogeneous Municipal Solid Waste Landfill and Application under Process of Waste Accumulation,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 23, Dec. 2023, doi: 10.3390/w15234115.
- [10] T. H. Christensen *et al.*, “Biogeochemistry of landfill leachate plumes,” *Applies Geochemistry*, vol. 16, pp. 659–718, 2001, [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/apgeochem
- [11] K. Jagloo, “Groundwater Risk Analysis in the Vicinity of a Landfill: A Case Study in Mauritius,” *Royal Institution of Technology*, pp. 1–68, 2002.
- [12] R. J. Slack, J. R. Gronow, and N. Voulvoulis, “Household hazardous waste in municipal landfills: Contaminants in leachate,” *Science of the Total Environment*, vol. 337, no. 1–3. Elsevier B.V., pp. 119–137, Jan. 20, 2005. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.002.

- [13] B. P. Naveen, D. M. Mahapatra, T. G. Sitharam, P. V. Sivapullaiah, and T. V. Ramachandra, "Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate," *Environmental Pollution*, vol. 220. Elsevier Ltd, pp. 1–12, Jan. 01, 2017. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.002.
- [14] R. H. Hredoy, M. A. B. Siddique, M. A. Akbor, M. A. A. Shaikh, and M. M. Rahman, "Impacts of Landfill Leachate on the Surrounding Environment: A Case Study on Amin Bazar Landfill, Dhaka (Bangladesh)," *Soil Systems*, vol. 6, no. 4, Dec. 2022, doi: 10.3390/soilsystems6040090.
- [15] M. M. Abd El-Salam and G. I. Abu-Zuid, "Impact of landfill leachate on the groundwater quality: A case study in Egypt," *Journal of Advanced Research*, vol. 6, no. 4, pp. 579–586, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.jare.2014.02.003.
- [16] F. Parvin and S. M. Tareq, "Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment," *Applied Water Science*, vol. 11, no. 6. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, Jun. 01, 2021. doi: 10.1007/s13201-021-01431-3.
- [17] K. Szymański, B. Janowska, A. Iżewska, R. Sidełko, and I. Siebielska, "Method of evaluating the impact of landfill leachate on groundwater quality," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, no. 7, Jul. 2018, doi: 10.1007/s10661-018-6776-2.
- [18] M. P. Papadopoulou, G. P. Karatzas, and G. G. Bougioukou, "Numerical modelling of the environmental impact of landfill leachate leakage on groundwater quality - A field application," *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 12, no. 1, pp. 43–54, 2007, doi: 10.1007/s10666-006-9050-x.
- [19] R. J. Slack, J. R. Gronow, D. H. Hall, and N. Voulvoulis, "Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration," *Environmental Pollution*, vol. 146, no. 2, pp. 501–509, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.envpol.2006.07.011.
- [20] E. Palmeri, G. Mancini, A. Luciano, and P. Viotti, "Risk Analysis of a Disused Landfill as Support Tool for Defining Strategy and Priority of the Remediation Actions," *Chemical Engineering Transaction*, vol. 28, pp. 43–48, 2012, doi: 10.3303/CET1228008.
- [21] W. Zhou, J. Chai, Z. Xu, Y. Qin, J. Cao, and P. Zhang, "A review of existing methods for predicting leachate production from municipal solid waste landfills," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 31, no. 11. Springer, pp. 16131–16149, Mar. 01, 2024. doi: 10.1007/s11356-024-32289-y.
- [22] K. Ishii, M. Sato, and S. Ochiai, "Prediction of leachate quantity and quality from a landfill site by the long short-term memory model," *Journal of Environmental Management*, vol. 310, May 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.114733.
- [23] A. Iqbal, A. B. Tabinda, and A. Yasar, "Environmental risk assessment of a young landfill site and its vicinity for possible human exposure," *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, pp. 1–16, 2019, doi: 10.1080/10807039.2019.1706152.

- [24] M. Grugnaletti, S. Pantini, I. Verginelli, and F. Lombardi, “An easy-to-use tool for the evaluation of leachate production at landfill sites,” *Waste Management*, vol. 55, pp. 204–219, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.wasman.2016.03.030.
- [25] T. Abunama, F. Othman, T. Alslaibi, and M. Abualqumboz, “Quantifying the generated and percolated leachate through a landfill’s lining system in Gaza strip, Palestine,” *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 26, no. 6, pp. 2455–2461, 2017, doi: 10.15244/pjoes/73803.
- [26] A. López, T. Calero, and A. Lobo, “Mathematical simulation to improve municipal solid waste leachate management: a closed landfill case,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 28, pp. 28169–28184, Oct. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2844-y.
- [27] J. S. Murcia Fandiño, A. Nagalli, and R. C. Moro Filho, “Modeling of the dispersion of pollutants in porous media: Case of a landfill in Brazil,” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 6, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.104400.
- [28] Y. M. Chen, W. J. Xu, D. S. Ling, L. T. Zhan, and W. Gao, “A degradation–consolidation model for the stabilization behavior of landfilled municipal solid waste,” *Computers and Geotechnics*, vol. 118, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.compgeo.2019.103341.
- [29] H. Mishra, M. Rathod, S. Karmakar, and R. Kumar, “A framework for assessment and characterization of municipal solid waste landfill leachate: an application to the Turbhe landfill, Navi Mumbai, India,” *Environmental Monitoring Assessment*, vol. 188, no. 6, Jun. 2016, doi: 10.1007/s10661-016-5356-6.
- [30] H. Mishra, S. Karmakar, R. Kumar, and P. Kadambala, “A long-term comparative assessment of human health risk to leachate-contaminated groundwater from heavy metal with different liner systems,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 3, pp. 2911–2923, Jan. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-0717-4.
- [31] X. chen Sun *et al.*, “Evolution of geomembrane degradation and defects in a landfill: Impacts on long-term leachate leakage and groundwater quality,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 224, pp. 335–345, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.200.
- [32] N. Petrović, D. Vasović, B. Nešić, and N. Petrović, “Landfill Leachate Migration Modeling Using the LandSim Software. Case Study of Gigoš Regional Sanitary Landfill,” *Environment Protection Engineering*, vol. 49, no. 4, pp. 89–108, 2023, doi: 10.37190/epe230406.
- [33] C. Nai *et al.*, “Potentially contamination and health risk to shallow groundwater caused by closed industrial solid waste landfills: Site reclamation evaluation strategies,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 286, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125402.
- [34] D. H. Hall, D. Drury, J. R. Gronow, A. Rosevear, S. J. T. Pollard, and R. Smith, “Estimating pollutant removal requirements for landfills in the UK: I. Benchmark study and characteristics of waste treatment technologies,” *Environmental Technology*, vol. 27, no. 12, pp. 1309–1321, 2006, doi: 10.1080/09593332708618753.

- [35] R. J. Slack, J. R. Gronow, D. H. Hall, and N. Voulvoulis, "Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration," *Environmental Pollution*, vol. 146, no. 2, pp. 501–509, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.envpol.2006.07.011.
- [36] T. E. Butt, A. J. D. Ingles, and M. I. Baloch, "A conceptual model outline for integrated exposure assessment of waste disposal sites," *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol. 30, no. 4, pp. 696–708, Dec. 2011, doi: 10.1002/ep.10526.
- [37] C. Madear and G. Madear, "Clay liner design of a landfill in Jiu Valley based on deterministic & stochastic risk analysis," *Annals of the University of Petroșani, Mining Engineering*, vol. 19, pp. 248–257, 2018.
- [38] J. N. Meegoda, H. Hettiarachchi, and P. Hettiaratchi, "Landfill design and operation," in *Sustainable Solid Waste Management*, American Society of Civil Engineers (ASCE), 2016, pp. 577–604. doi: 10.1061/9780784414101.ch18.
- [39] J. Štefaňák and J. Chalmovský, "Assessment of the Landfill Barrier System through Numerical Analysis: Rehabilitation and Expansion of Belgrade Landfill Case Study," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14137647.
- [40] F. B. Abdelaal, R. K. Rowe, and M. Z. Islam, "Effect of leachate composition on the long-term performance of a HDPE geomembrane," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 42, no. 4, pp. 348–362, 2014, doi: 10.1016/j.geotexmem.2014.06.001.
- [41] A. M. R. Ewais and R. K. Rowe, "Effect of aging on the stress crack resistance of an HDPE geomembrane," *Polymer Degradation and Stability*, vol. 109, pp. 194–208, 2014, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2014.06.013.
- [42] B. J. Gary Foote, C. H. Benson, and T. B. Edil, "Predicting Leakage Through Composite Landfill Liners," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 127, no. 6, pp. 510–520, 2001.
- [43] R. Bonaparte, D. E. Daniel, and R. Koerner, "Assessment and Recommendations for Improving the Performance of Waste Containment Systems," Washington, DC, USA, 2002. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/237604037>
- [44] K. Hughes, A. Christy, and J. Heimlich, "Landfill types and liner systems," Ohio, 2007.
- [45] A. A. Hassan, "Hydraulic Performance of Compacted Clay Liners (CCLS) Under Simulated Landfill Conditions," Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, 2014.
- [46] Н. Ђалић and М. Ристић, "Испитивање карактеристика процедних вода депоније 'Винча' методом излуживања," *Хемијска индустрија*, vol. 60, no. 7–8, pp. 171–175, 2006.
- [47] Г. Вујић, "Прелиминарна квалитативна и квантитативна анализа процедних вода и гасова са депонија у циљу успостављања континуалног мониторинга," Факултет

- техничких наука, Департман за инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, 2009.
- [48] М. Каранац, М. Јовановић, М. Михајловић, А. Дајић, Д. Стевановић, and Ј. Јовановић, “Прилог технолошком пројектовању депонија у Србији,” *Рециклажа и одрживи развој*, no. 8, pp. 27–37, 2015.
 - [49] М. Ђого, “Нивои концентрација и управљање перзистентним органским полутантима у хетерогеном систему депонија комуналног отпада,” Докторска дисертација, Факултет техничких наука, Инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, 2017.
 - [50] Н. Цолев, “Модел енергетског искоришћења депонијског гаса на депонијама са рецикулацијом концентрата и процедурне воде,” Докторска дисертација, Факултет техничких наука, Инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, 2018.
 - [51] Д. Крчмар *et al.*, “Квалитет подземних и процедурних вода градске депоније комуналног отпада,” in *47. конференција о актуелним темама коришћења вода*, Сокобања: Српско друштво за заштиту вода, 2018, pp. 279–284.
 - [52] N. Tošić, D. Vasović, B. Nešić, and N. Petrović, “Leachate treatment by reverse osmosis method- Regional sanitary landfill ‘Zeljkovac’ case study,” *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, vol. 17, no. 3, pp. 175–184, Dec. 2020, doi: 10.22190/fuwlep2003175t.
 - [53] N. Petrović, D. Vasović, N. Petrović, and S. Stanković, “Possibilities for Curricula Improvement in the Field of Landfill Leachate Management,” in *International Multidisciplinary Conference “Challenges of Contemporary Higher Education” - CCHE 2024*, B. Savić, Ed., Beograd: Conference of Academies for Applied Studies in Serbia (CAASS), 2024, pp. 412–417. [Online]. Available: www.fsu.edu.rs
 - [54] Ј. Радосављевић and А. Ђорђевић, *Депоније и депоновање комуналног отпада*. Ниш: Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, 2012.
 - [55] Република Србија, “Закон о управљању отпадом (‘Сл. гласник РС’, бр. 36/2009, 88/2010, 14/2016, 95/2018- др. закон и 35/2023)),” 2023.
 - [56] M. Banifateme, A. Behbahaninia, and G. Pignatta, “Estimating the chemical composition of municipal solid waste using the inverse method,” *J Clean Prod*, vol. 393, p. 136156, Mar. 2023, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2023.136156.
 - [57] Л. Т. Милошевић, “Методолошки приступ процене ризика од депонијског пожара у циљу оцене загађености ваздуха, Докторска дисертација, Факултет заштите на раду у Нишу ” Ниш, 2016.
 - [58] J. Rodrigo-Illari, M. E. Rodrigo-clavero, and E. Cassiraga, “Bioleach: A new decision support model for the real-time management of municipal solid waste bioreactor landfills,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 17, no. 5, Mar. 2020, doi: 10.3390/ijerph17051675.

- [59] S. Stanković and N. Petrović, “Sustainability Enhancement in Water Supply and Municipal Waste Management Utilities,” 2023, pp. 114–146. doi: 10.4018/978-1-6684-7730-4.ch005.
- [60] I. Madon, D. Drev, and J. Likar, “Long-term risk assessments comparing environmental performance of different types of sanitary landfills,” *Waste Management*, vol. 96, pp. 96–107, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.07.001.
- [61] B. Aslam, A. Maqsoom, M. D. Tahir, F. Ullah, M. S. Ur Rehman, and M. Albattah, “Identifying and Ranking Landfill Sites for Municipal Solid Waste Management: An Integrated Remote Sensing and GIS Approach,” *Buildings*, vol. 12, no. 5, May 2022, doi: 10.3390/buildings12050605.
- [62] Д. Кнежевић, Д. Нишић, А. Цвијетић, Д. Ранђеловић, and З. Секулић, *Мониторинг у животној средини*. Београд: Универзитет у Београду-Рударско-геолошки факултет, 2015.
- [63] Н. Почуча, *Управљање комуналним чврстим отпадом*. Beograd-Zemun: AGM knjiga doo, 2020.
- [64] Република Србија, “Закон о заштити животне средине ,” (“Сл. гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009, 36/2009 – др. закон, 72/2009 – др. закон, 43/2011- одлука УС, 14/2016, 76/2018, 95/2018 - др. закон и 95/2018 - др. закон. 2018.
- [65] Република Србија, “Закон о водама ,” “Сл. гласник РС”, бр. 30/2010, 93/2012, 101/2016, 95/2018 и 95/2018 - др. закон. 2018.
- [66] Република Србија, “Правилник о начину и условима за мерење количине и испитивање квалитета отпадних вода и садржини извештаја о извршеним мерењима,” „Сл. Гласник РС“, бр. 33/2016. 2016.
- [67] Република Србија, “Уредба о одлагању отпада на депоније.” “Сл. гласник РС” бр. 92/2010, Београд, 2010.
- [68] Република Србија, „Правилник о категоријама, испитивању и класификацији отпада“ „Сл. Гласник РС“, бр. 56/2010, 93/2019 и 39/2021, 2021.
- [69] Република Србија, “Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине,” “Сл. гласник РС”, бр. 135/2004, 25/2015 и 109/2021. 2021.
- [70] Република Србија, “Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање ” „Сл. Гласник РС“, бр. 67/2011, 48/2012 и 1/2016
- [71] Република Србија, “Уредба о граничним вредностима приоритетних и приоритетних хазардних супстанци које загађују површинске воде и рокови за њихово достизање,” “Сл. гласник РС”, бр. 24/2014. 2014.

- [72] Република Србија, “Уредба о граничним вредностима загађујућих материја у површинским и подземним водама и седименту и роковима за њихово достизање,” “Сл. гласник РС”, број 50/2012. 2012.
- [73] M. Farooq, J. Cheng, N. U. Khan, R. A. Saufi, N. Kanwal, and H. A. Bazkiaei, “Sustainable Waste Management Companies with Innovative Smart Solutions: A Systematic Review and Conceptual Model,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 20, Oct. 2022, doi: 10.3390/su142013146.
- [74] A. Laurent *et al.*, “Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives,” *Waste Management*, vol. 34, no. 3. pp. 573–588, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.wasman.2013.10.045.
- [75] D. M. C. Chen, B. L. Bodirsky, T. Krueger, A. Mishra, and A. Popp, “The world’s growing municipal solid waste: trends and impacts,” *Environmental Research Letters*, vol. 15, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.1088/1748-9326/ab8659.
- [76] EEA, “Waste-municipal solid waste generation and management,” 2015.
- [77] V. Wegmann, “Waste Management in Europe,” Public Service International Research Unit, 2023.
- [78] “Интегрални превод Директиве Европског Парламента и савета 2000/60/ЕС о успостављању оквира за деловање заједнице у области политике вода.”
- [79] Влада Републике Србије, “Програм управљања отпадом у Републици Србији за период 2022-2031. године,” 2022.
- [80] Љ. Ђорђевић, Н. Реџић, Н. Радовановић, Г. Јовановић, Е. Ембели, “Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2021. године.” Београд, 2022.
- [81] Б. Батинић, “Модел за предвиђање количине амбалажног и биоразградивог отпада применом неуронских мрежа,” Нови Сад, 2015.
- [82] Eurostat, “Municipal Waste Statistics,” 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Municipal_waste_statistics#Municipal_waste_generation
- [83] L. Levaggi, R. Levaggi, C. Marchiori, and C. Trecroci, “Waste-to-energy in the EU: The effects of plant ownership, waste mobility, and decentralization on environmental outcomes and welfare,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 14, pp. 1–12, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12145743.
- [84] EEA, “Municipal waste management in Western Balkan countries — Country profile Serbia,” 2021.
- [85] Eurostat, “Municipal waste by waste management operations,” 2021.

- [86] Eurostat, “Waste Statistics,” 2022. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics#Total_waste_generation
- [87] Љ. Ђорђевић, Н. Реџић, Н. Радовановић, И. Радић, и Т. Моросавић, “Управљање отпадом у Републици Србији у периоду 2011-2022. године,” Београд, 2023.
- [88] G. E. Schrab, K. W. Brown, and K. C. Donnelly, “Acute and Genetic Toxicity of Municipal Landfill Leachate,” *Water Air Soil Pollut*, vol. 63, pp. 99–112, 1993.
- [89] M. Isidori, M. Lavorgna, A. Nardelli, and A. Parrella, “Toxicity identification evaluation of leachates from municipal solid waste landfills: A multispecies approach,” *Chemosphere*, vol. 52, no. 1, pp. 85–94, 2003, doi: 10.1016/S0045-6535(03)00298-4.
- [90] Љ. Денић, З. Стојановић, Т. Допуђа-Глишић, С. Чађо, А. Ђурковић, и Б. Новаковић, “Резултати испитивања квалитета површинских и подземних вода за 2022. годину,” Београд, 2023.
- [91] С. Чађо и сарадници., “Статус површинских вода Србије у периоду 2017-2019,” Министарство заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине, Београд, 2021.
- [92] “<http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=9&id=6003&akcija=showAll>,” Агенција за заштиту животне средине.
- [93] “Методологије,” Министарство пољопривреде шумарства и водопривреде. Accessed: Apr. 26, 2024. [Online]. Available: http://www.minpolj.gov.rs/download/PRILOG_2_Metodologije.pdf
- [94] С. Ђатовић, “Хидролошки годишњак, 1. Површинске воде,” Републички хидрометеоролошки завод, Београд, 2019.
- [95] Република Србија, “Правилник о параметрима еколошког и хемијског статуса површинских вода и параметрима хемијског и квантитативног статуса подземних вода,” “Сл. гласник РС”, бр. 74/2011. 2011.
- [96] Република Србија, “Правилник о утврђивању водних тела површинских и подземних вода,” “Сл. гласник РС”, бр. 96/2010. 2010.
- [97] H. Luo, Y. Zeng, Y. Cheng, D. He, and X. Pan, “Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment,” *Science of the Total Environment*, vol. 703. Elsevier B.V., Feb. 10, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135468.
- [98] M. Nikbakht, F. B. Sarand, R. Dabiri, and M. Hajjalilue Bonab, “Investigation of the Leachate Effect on Permeability and Geotechnical Characteristics of Fine-Grained Soil Modified Using Nanoclay–Nanofiber Composites,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.3390/w15020294.

- [99] H. I. Abdel-Shafy, A. M. Ibrahim, A. M. Al-Sulaiman, and R. A. Okasha, "Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 1. Ain Shams University, Jan. 01, 2024. doi: 10.1016/j.asej.2023.102293.
- [100] H. Ke, C. S. Zhang, J. Hu, R. Qin, Y. M. Chen, and J. W. Lan, "Evaluation of leachate production and level in municipal solid waste landfills considering secondary compression," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, no. 14, pp. 20542–20555, Mar. 2022, doi: 10.1007/s11356-021-17209-8.
- [101] A. BiaŁowiec, M. Siudak, B. Jakubowski, and D. Wiśniewski, "The influence of leachate recirculation on biogas production in a landfill bioreactor," *Environment Protection Engineering*, vol. 43, no. 1, pp. 113–120, 2017, doi: 10.37190/epe170109.
- [102] "Главни пројекат регионалне санитарне депоније на локацији 'Тигош' у Јагодини, Књига 3: Главни технолошки пројекат система за пречишћавање отпадних вода, 1274.G.03.ТР." Институт "Кирило Савић" а.д., Београд, 2008.
- [103] S. Mishra, D. Tiwary, A. Ohri, and A. Kumar Agnihotri, "Impact of Municipal Solid Waste Landfill leachate on groundwater quality in Varanasi, India.," *Elsevier*, 2019.
- [104] S. Karimi and C. A. Bareither, "The influence of moisture enhancement on solid waste biodegradation," *Waste Management*, vol. 123, pp. 131–141, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.01.022.
- [105] J. Yang, F. Sun, H. Su, Y. Tao, and H. Chang, "Multiple Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Water and Sediment in Taihu Lake, China," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 20, Oct. 2022, doi: 10.3390/ijerph192013120.
- [106] A. Serdarevic, "Landfill Leachate Management—Control and Treatment," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 28, Springer, 2018, pp. 618–632. doi: 10.1007/978-3-319-71321-2_54.
- [107] G. Gaľko, "The influence of infiltration of leachate from landfills on the changes of chemical parameters of the soil," *Journal of Ecological Engineering*, vol. 16, no. 4, pp. 198–205, 2015, doi: 10.12911/22998993/59374.
- [108] R. Chittaranjan, C. Miyasaki, M. Snehota, L. Sharma, and M. Sanda, "Alternative methods to control water infiltration for landfills: a case study in the tropics," *International Journal of Environmental Technology and Management*, vol. 13, no. 1, pp. 37–50, 2010.
- [109] C. W. W. Ng, J. L. Co, Z. K. Chen, and R. Chen, "Water Infiltration into a New Three-Layer Landfill Cover System," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 142, no. 5, May 2016, doi: 10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001074.
- [110] "LandSim 2.5 groundwater risk assessment tool for landfill design." Environment Agency, [Online]. Available: www.environment-agency.gov.uk

- [111] N. Remmas, N. Manfe, I. Zerva, P. Melidis, R. Raga, and S. Ntougias, “A Critical Review on the Microbial Ecology of Landfill Leachate Treatment Systems,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 2. MDPI, Jan. 01, 2023. doi: 10.3390/su15020949.
- [112] A. Sharma, R. Ganguly, and A. Kumar Gupta, “Impact Assessment of Leachate Pollution Potential on Groundwater: An Indexing Method,” *Journal of Environmental Engineering*, vol. 146, no. 3, Mar. 2020, doi: 10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001647.
- [113] W. de Vries, “Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review,” *Current Opinion in Environmental Science and Health*, vol. 21. Elsevier B.V., Jun. 01, 2021. doi: 10.1016/j.coesh.2021.100249.
- [114] R. P. Schwarzenbach, P. M. Gschwend, and D. M. Imboden, *Environmental Organic Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- [115] P. K. Goel, *Water pollution: causes, effects and control*. New age international, 2006.
- [116] M. D. Vaverková *et al.*, “Chemical composition and hazardous effects of leachate from the active municipal solid waste landfill surrounded by farmlands,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, Jun. 2020, doi: 10.3390/su12114531.
- [117] M. Стојановић, Д. Васовић, and А. Милтојевић, *Вода и њена заштита*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, 2021.
- [118] W. Zhou, Y. Zhang, W. Li, H. Jia, H. Huang, and B. Li, “Adsorption isotherms, degradation kinetics, and leaching behaviors of cyanogen and hydrogen cyanide in eight texturally different agricultural soils from China,” *Ecotoxicol Environment Safety*, vol. 185, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109704.
- [119] K. Dong *et al.*, “The detoxification and utilization of cyanide tailings: A critical review,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 302. Elsevier Ltd, Jun. 15, 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.126946.
- [120] X. Ya *et al.*, “Long-term degradation characteristics of cyanide in closed monofills and its effects on the environment and human health: Evidence from nine landfill sites in northern China,” *Science of The Total Environment*, vol. 839, p. 156269, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.156269.
- [121] X. Jiang, W. X. Lu, H. Q. Zhao, Q. C. Yang, and Z. P. Yang, “Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump,” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 14, no. 6, pp. 1599–1610, Jun. 2014, doi: 10.5194/nhess-14-1599-2014.
- [122] J. P. Essien, D. I. Ikpe, E. D. Inam, A. O. Okon, G. A. Ebong, and N. U. Benson, “Occurrence and spatial distribution of heavy metals in landfill leachates and impacted freshwater ecosystem: An environmental and human health threat,” *PLoS One*, vol. 17, no. 2 February, Feb. 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0263279.

- [123] V. Nevondo, T. Malehase, A. P. Daso, and O. J. Okonkwo, "Leachate seepage from landfill: A source of groundwater mercury contamination in South Africa," *Water SA*, vol. 45, no. 2, pp. 225–231, Apr. 2019, doi: 10.4314/wsa.v45i2.09.
- [124] European Commission, "Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives," 2008.
- [125] European Commission, "Directive 1999/31/EC of the European Communities Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC," 2023.
- [126] Environment Agency, "LFE5 Guidance for the Landfill Sector, Technical Requirements of the Landfill Directive and Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC S5.02)," 2007.
- [127] J. Радосављевић, *Урбана екологија и просторно планирање*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, 2006.
- [128] J. Радосављевић, *Урбана екологија*. Ниш: Факултет заштите на раду у Нишу, 2009.
- [129] M. H. Akyildiz and H. Arman, "Determination of optimum clay thickness for minimizing leachate permeability of a waste disposal dumping site in Turkey," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 1637–1646, Jan. 2012, doi: 10.1007/s13369-013-0797-5.
- [130] G. N. Richardson and A. Zhao, "Geosynthetic Fundamentals in Landfill Design," in *Proceedings of International Symposium on Geoenvironmental Engineering*, Hangzhou, China, 2009.
- [131] A. A. Aldaeef and M. T. Rayhani, "Hydraulic performance of Compacted Clay Liners (CCLs) under combined temperature and leachate exposures," *Waste Management*, vol. 34, no. 12, pp. 2548–2560, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.wasman.2014.08.007.
- [132] Golder Associates, "LandSim manual," 2006.
- [133] "Global Synthetics Bentofix- Ecology," Germany, 2011.
- [134] "Интегрисана дозвола, регистарски број 8, 'PWW Депонија' д.о.о. Јагодина, Депонија 'Тигош,'" Београд, 2016.
- [135] Y. Chen, Y. Wang, and H. Xie, "Breakthrough time-based design of landfill composite liners," *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 43, no. 2, pp. 196–206, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.geotexmem.2015.01.005.
- [136] "<https://www.geofelt.com/version3/english/index-produkte.html?v=2>."
- [137] N. H. Jafari, A. M. Asce, T. D. Stark, and F. Asce, "Service Life and Design Implications of HDPE Geomembranes at Elevated Temperature Landfills," *Geotechnical Frontiers*, pp. 198–208, 2017.

- [138] R. K. Rowe and Y. Yu, "Tensile Strains in Geomembrane Landfill Liners," in *Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Ground Improvement and Geosynthetics*, Springer Singapore, 2018, pp. 1–10. doi: 10.1007/978-981-13-0122-3_1.
- [139] C. A. Teixeira and M. Guerra, "Municipal Solid Waste—Addressing Environmental Concerns," Feb. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su16031235.
- [140] R. Xiang *et al.*, "Framework, method and case study for the calculation of end of life for HWL and parameter sensitivity analysis," *Scientific Reports*, vol. 10, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41598-020-72514-5.
- [141] М. Крајишник, "Основни елементи система заштите и одржавања депонија комуналног отпада," 3. Конференција "Одржавање 2014," Зеница, БиХ, 2014, pp. 301–307.
- [142] М. Станић и Ж. Василић, "Дренажни системи- Хоризонтална дренажа," Београд, 2021.
- [143] "Регионални центар за управљање отпадом 'Метерис' Врање, 6 - Пројекат машинских инсталација, Е – 14/20-2," 2020, *ад „Хидрозаваод ДТД“, Нови Сад*.
- [144] S. Beck-Broichsitter, H. H. Gerke, and R. Horn, "Assessment of leachate production from a municipal solid-waste landfill through water-balance modeling," *Geosciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 10, Oct. 2018, doi: 10.3390/geosciences8100372.
- [145] "Регионални центар за управљање отпадом 'Метерис' Врање, 1/2 - Пројекат санитарне депоније, Е – 14/20-2," 2020, *ад „Хидрозаваод ДТД“, Нови Сад*.
- [146] "MIR 2-Municipal Improvement and Revival Programme," 2008.
- [147] T. Abunama, F. Othman, M. Ansari, and A. El-Shafie, "Leachate generation rate modeling using artificial intelligence algorithms aided by input optimization method for an MSW landfill," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 4, pp. 3368–3381, Feb. 2019, doi: 10.1007/s11356-018-3749-5.
- [148] D. Anand, "Development of Simulation Model for Leachate Migration Near Vamanjoor Landfill and treatment of Leachate," Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Karnataka Surathkal, Mangalore-575025, NITK, Surathkal, 2021.
- [149] L. Salami, O. A. Olafadehan, G. Babagana, and A. A. Susu, "Prediction of Concentration Profiles of Contaminants in Groundwater polluted by Leachates from a Landfill Site," *IJRRAS*, vol. 15, no. 3, 2013, [Online]. Available: www.arpapress.com/Volumes/Vol15Issue3/IJRRAS_15_3_19.pdf
- [150] A. López, T. Calero, and A. Lobo, "Mathematical simulation to improve municipal solid waste leachate management: a closed landfill case," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, no. 28, pp. 28169–28184, Oct. 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2844-y.

- [151] M. Cuartas Hernández, “Optimización del diseño de vertederos de residuos sólidos basada en modelización,” 2012.
- [152] T. M. Alslaibi, Y. K. Mogheir, and S. Afifi, “Analysis of landfill components in estimating the percolated leachate to groundwater using the HELP model,” *Water Science and Technology*, vol. 62, no. 8, pp. 1727–1734, 2010, doi: 10.2166/wst.2010.457.
- [153] Y. Xu, X. Xue, L. Dong, C. Nai, Y. Liu, and Q. Huang, “Long-term dynamics of leachate production, leakage from hazardous waste landfill sites and the impact on groundwater quality and human health,” *Waste Management*, vol. 82, pp. 156–166, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.10.009.
- [154] T. E. Butt and K. O. K. Oduyemi, “A holistic approach to Concentration Assessment of hazards in the risk assessment of landfill leachate,” *Environment International*, no. 28, pp. 597–608, 2003, [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/envint
- [155] D. Drury, D. Hall, and J. Dowle, “The Development of LandSim 2.5,” Olton, 2003. [Online]. Available: www.environment-agency.gov.uk
- [156] M. Rathod, H. Mishra, and S. Karmakar, “Leachate Characterization and Assessment of Water Pollution near Municipal Solid Waste Landfill Site,” *International Journal of Chemical and Physical Sciences IJCPs*, vol. 2, pp. 186–199, 2013, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/286383636>
- [157] “Главни пројекат регионалне санитарне депоније на локацији ‘Гигош’ у Јагодини, Књига 4: Главни пројекат нискоградње, 1274.G.04.NP,” 2008, *Институт “Кирило Савић” а.д., Београд*.
- [158] “Интегрисана дозвола, Депонија ‘Гигош,’” 2016, “*PWW Депонија*” д.о.о. Јагодина, Јагодина.
- [159] “Главни пројекат регионалне санитарне депоније на локацији ‘Гигош’ у Јагодини, Књига 10: Главни пројекат канализација вода и система за пречишћавање отпадних вода, 1274.G.10.NP,” 2008, *Институт “Кирило Савић” а.д., Београд*.
- [160] Б. Нешић, “Образац бр. 3. Емисије у воде - Процедне воде са тела депоније 2018, PWW Депонија ДОО Јагодина,” 2019, *Национални регистар извора загађивања, Агенција за заштиту животне средине, Београд, Србија*.
- [161] Б. Нешић, “Образац бр. 3. Емисије у воде - Процедне воде са тела депоније 2019, PWW Депонија ДОО Јагодина,” Београд, Србија, 2020.
- [162] Б. Нешић, “Образац бр. 3. Емисије у воде - Процедне воде са тела депоније 2020, PWW Депонија ДОО Јагодина,” Београд, Србија, 2021.
- [163] Б. Нешић, “Образац бр. 3. Емисије у воде - Процедне воде са тела депоније 2021, PWW Депонија ДОО Јагодина,” Београд, Србија, 2022.

- [164] Б. Нешић, “Образац бр. 3. Емисије у воде - Процедне воде са тела депоније 2022, PWW Депонија ДОО Јагодина,” Београд, Србија, 2023.
- [165] A. Podlasek, M. D. Vaverková, E. Koda, A. Jakimiuk, and P. Martínez Barroso, “Characteristics and pollution potential of leachate from municipal solid waste landfills: Practical examples from Poland and the Czech Republic and a comprehensive evaluation in a global context,” *Journal of Environmental Management*, vol. 332, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117328.
- [166] “Регионални центар за управљање отпадом ‘Метерис’ Врање, 1/3- Пројекат санације и ремедијације депоније, Е – 14/20-2,” 2020, *ад „Хидрозавод ДТД“ Нови Сад, Нови Сад*.
- [167] “Регионални центар за управљање отпадом ‘Метерис’ Врање, 7- Пројекат технологије, Е – 14/20-2,” 2020, *ад „Хидрозавод ДТД“ Нови Сад, Нови Сад*.
- [168] “Регионални центар за управљање отпадом ‘Метерис’ Врање, Хидролошка студија Батлијског потока, Е – 14/20-2,” 2020, *ад „Хидрозавод ДТД“ Нови Сад, Нови Сад*.
- [169] “Регионални центар за управљање отпадом ‘Метерис’ Врање, 2/1- Пројекат конструкције, Е – 14/20-2,” 2020, *ад „Хидрозавод ДТД“ Нови Сад, Нови Сад*.
- [170] А. Станисављевић, “Годишњи извештај- Укупна количина одложеног отпада у растреситом стању,” 2021, *Врање*.
- [171] “Детаљна анализа утицаја на животну средину санитарне депоније чврстог комуналног отпада ‘Метерис’- Врање, 1147.G.00.DA,” 2004, *Институт “Кирило Савић” а.д., Београд*.
- [172] А. Станисављевић, “Образац бр. 204Б, Извештај о испитивању отпадних вода,” 2022, *Врање*.
- [173] N. Petrović, D. Vasović, N. Petrović, and S. Stanković, “Analysis of Relevant Input Parameters for Landfill Leachate Modeling,” in *The 19th International Conference “Man and Working Environment,”* V. Nikolić and E. Stojiljković, Eds., Niš: University of Niš, Faculty of Occupational Safety, 2022.
- [174] T. K. Kim, “T test as a parametric statistic,” *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 68, no. 6, pp. 540–546, 2015, [Online]. Available: <http://ekja.org>
- [175] J. M. Bland and D. G. Altman, “Statistical Methods for Assessing Agreement Between two Methods of Clinical Measurement,” *The Lancet*, pp. 307–310, 1986.
- [176] D. A. Turner, R. P. Beaven, and N. D. Woodman, “Evaluating landfill aftercare strategies: A life cycle assessment approach,” *Waste Management*, vol. 63, pp. 417–431, May 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2016.12.005.
- [177] M. D. Vaverková, “Landfill impacts on the environment— review,” Oct. 01, 2019, *MDPI AG*. doi: 10.3390/geosciences9100431.

- [178] L. Hakanson, “An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach,” *Water Research*, vol. 14, pp. 975–1001, 1980.
- [179] U. Wydro, E. Wołejko, G. Sokołowska, J. Leszczyński, and A. Jabłońska-Trypuć, “Investigating Landfill Leachate Influence on Soil Microbial Biodiversity and Its Cytotoxicity,” *Water (Basel)*, vol. 14, no. 22, p. 3634, Nov. 2022, doi: 10.3390/w14223634.
- [180] P. Wowkonowicz, M. Kijeńska, and E. Koda, “Potential environmental risk assessment of di-2-ethylhexyl phthalate emissions from a municipal solid waste landfill leachate,” *PeerJ*, vol. 9, 2021, doi: 10.7717/peerj.12163.
- [181] A. Ђорђевић и В. Стевановић, *Еколошки ризик*, 1st ed. Ниш: Универзитет у Нишу, Факултет заштите на раду у Нишу, 2020.
- [182] S. Vatanpour, S. E. Hrudey, and I. Dinu, “Can public health risk assessment using risk matrices be misleading?,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 12, no. 8, pp. 9575–9588, Aug. 2015, doi: 10.3390/ijerph120809575.
- [183] S. Cerar, L. Serianz, K. Koren, J. Prestor, and N. Mali, “Synoptic Risk Assessment of Groundwater Contamination from Landfills,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 14, Jul. 2022, doi: 10.3390/en15145150.
- [184] T. Brinkmann, R. Both, B. Maria Scalet, S. Roudier, and L. Delgado Sancho, “JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control),” 2018.
- [185] Република Србија, “Закон о интегрисаном спречавању и контроли загађивања животне средине,” 2021, „Сл. гласник РС”, бр. 135/2004, 25/2015, 10 /2021.
- [186] Република Србија, “Уредба о врстама активности и постројења за које се издаје интегрисана дозвола,” 2005, „Сл. гласник РС”, бр. 84/2005.
- [187] European Commission, “Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control),” 2010, *OJ L 334*, 17.12.2010, p. 17.

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Наталија Петровић рођена је 23.01.1993. године у Нишу где је завршила основну школу као носилац Вукове дипломе и Прву нишку гимназију „Стеван Сремац“ такође као носилац Вукове дипломе. Основне академске студије је завршила на Факултету заштите на раду у Нишу, смер Заштита на раду. На другој години студија, 2012. године постаје члан Добровољног ватрогасног друштва Ниш, са чијом екипом два пута за редом осваја прво место на државном такмичењу сувог напада гашења пожара. Године 2013. осваја бронзану медаљу на Олимпијади у Француској. Мастер академске студије на Факултету заштите на раду у Нишу, уписује 2015. године на смеру Управљање ванредним ситуацијама. Исте године добија повељу Универзитета у Нишу за најбољег студента основних студија Факултета заштите на раду, а 2016. године добија награду за најбољег свршеног студента основних академских студија коју јој додељује Факултет заштите на раду у Нишу. Звање Мастер инжењер заштите животне средине стиче 2016. године.

Од 2016. године запослена је на Академији техничко васпитачких струковних студија у Нишу као асистент на студијском програму Заштита животне средине. У току рада на Академији учествовала је на бројним домаћим и међународним развојним пројектима у области управљања отпадом, зелене енергије као и у израдама студија о процени утицаја на животну средину. Такође учествовала је на Жан Моне пројекту „EU water policy and innovative solutions in water resources management - INNOWAT“, 2021. године.

У досадашњем научно-истраживачком раду, Наталија Петровић публиковала је преко 40 научних радова у области заштите животне средине и управљања водама међу којима су радови у истакнутим часописима и на међународним конференцијама.

Члан је Европског друштва инжењера заштите и безбедности (The European Society of Safety Engineers – ESSE) и поседује лиценцу за обављање послова заштите од пожара.

Изјава 1.

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

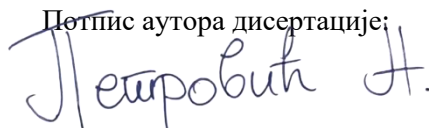
МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА У ФУНКЦИЈИ ПРОЦЕНЕ УТИЦАЈА НА ПРИЈЕМНА ВОДНА ТЕЛА

која је одбрањена на Факултету заштите на раду Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивала на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредила ауторска права, нити злоупотребила интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 26.8.2024. године

Потпис аутора дисертације:

(Име, средње слово и презиме)

Изјава 2.

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ЕЛЕКТРОНСКОГ И ШТАМПАНОГ ОБЛИКА ДОКТОРСKE
ДИСЕРТАЦИЈЕ**

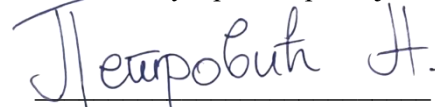
Наслов дисертације:

**МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА У ФУНКЦИЈИ
ПРОЦЕНЕ УТИЦАЈА НА ПРИЈЕМНА ВОДНА ТЕЛА**

Изјављујем да је електронски облик моје докторске дисертације, коју сам предала за уношење у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, истоветан штампаном облику.

У Нишу, 26.8.2024. године

Потпис аутора дисертације:

Handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Петровић Ј.' (Petrović J.).

(Име, средње слово и презиме)

Изјава 3:

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу унесе моју докторску дисертацију, под насловом:

МОДЕЛИРАЊЕ ПАРАМЕТАРА ДЕПОНИЈСКИХ ПРОЦЕДНИХ ВОДА У ФУНКЦИЈИ ПРОЦЕНЕ УТИЦАЈА НА ПРИЈЕМНА ВОДНА ТЕЛА

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском облику, погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

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

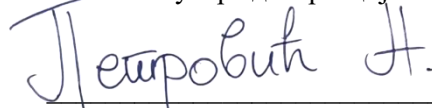
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)¹

У Нишу, 26.8.2024. године

Потпис аутора дисертације:



(Име, средње слово и презиме)

¹ Аутор дисертације обавезан је да изабере и означи (заокружи) само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у наставку текста.