

УНИВЕРЗИТЕТ У ПРИШТИНИ СА ПРИВРЕМЕНИМ  
СЕДИШТЕМ У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Бојана З. Живковић

СТУДИЈА УТИЦАЈА КЛИМАТСКИХ  
ПРОМЕНА НА КВАЛИТЕТ И КВАНТИТЕТ  
ПРОЦЕДНИХ ВОДА САНИТАРНЕ  
ДЕПОНИЈЕ „САВИНА СТЕНА“

Докторска дисертација

Косовска Митровица, 2024.

UNIVERSITY OF PRISTINA WITH TEMPORARY  
HEADQUARTERS IN KOSOVSKA MITROVICA

FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES

Bojana Z. Zivkovic

A STUDY ON THE EFFECTS OF  
CLIMATE CHANGE ON THE QUALITY  
AND QUANTITY OF LEACHATE FROM  
THE “SAVINA STENA” SANITARY  
LANDFILL

Doctoral Dissertation

Kosovska Mitrovica, 2024.

Ментор: \_\_\_\_\_

др Јелена Ђокић, редовни професор  
Универзитет у Приштини са привременим седиштем у  
Косовској Митровици  
Факултет техничких наука

Чланови комисије:

\_\_\_\_\_  
др Маја Петровић, ванредни професор  
Универзитет у Новом Саду  
Факултет техничких наука

\_\_\_\_\_  
др Гордана Милентијевић, редовни професор  
Универзитет у Приштини са привременим седиштем у  
Косовској Митровици  
Факултет техничких наука

Датум одбране: \_\_\_\_\_

# СТУДИЈА УТИЦАЈА КЛИМАТСКИХ ПРОМЕНА НА КВАЛИТЕТ И КВАНТИТЕТ ПРОЦЕДНИХ ВОДА САНИТАРНЕ ДЕПОНИЈЕ „САВИНА СТЕНА“

## САЖЕТАК

Ова дисертација представља студију која проучава ефекте климатских промена на количину и квалитет процедурне воде санитарне депоније „Савина Стена“. Истовремено истражује карактеристике тла локалитета, с циљем предвиђања обима загађења које може изазвати процедурна вода из депоније. У оквиру студије предложено је и технолошко решење за пречишћавање процедурне воде, узимајући у обзир услове и рецепијент. И ако је истраживање базирано на депонији „Савина Стена“, студија ће бити примењивана и на другим комуналним депонијама локализованим у сличним условима.

Физичко-механичка анализа дубинских узорака показала је да је у земљишту локалитета садржај воде нижи од просека, да је земљиште порозно и слабо порозно као и да са углом трења  $\phi = 30,40^\circ$  и кохезијом  $c = 15,0$  кРа спада у тло просечне чврстоће. Границе пластичности указују да су У1 и У2 узорци неорганске глине средње пластичности а У3 неорганска глина ниске пластичности, и да неће значајно мењати конзистентност при промени садржаја воде. На основу испитивања водопропусности, узорци су показали низак степен пропустљивости. Дубински узорци су класификовани USDA класификацијом као иловача (У1), песковита иловача (У2) и муљевита иловача (У3).

Физичко-хемијска анализа површинског узорка показала је да је земљиште са садржајем воде 11,03% суво земљиште, са рН вредношћу у воденом раствору (6,90) неутрално, и раствору КС1 -а (5,83) слабо кисело. Земљиште је слабо хумусно са садржајем хумуса 1,52%. Површински узорак је класификован USDA класификацијом као глиновита иловача. Експерименталном методом карактеризације XRD у површинском узорку је у највећем проценту детектован минерал фероан (Fe-диопсид), 59,58%.

Утицај климатских промена на количину процедурне воде установљен је израчунавањем количине процедурне воде за два периода и то: за период од 1990-

2020, и за период од 2020-2039. Количина процедурне воде је рачуната преко евапотранспирације, *Thornthwaite* методом, која се базира на климатским параметрима. За период 1990-2020 највећа количина процедурне воде ће се производити у децембру, 61,82 m<sup>3</sup>/дан, док ће за период 2020-2039 највећа количина процедурне воде бити, такође у децембру, 63,12 m<sup>3</sup>/дан. Добијени резултати недвосмислено показују утицај климатских промена на квантитет процедурне воде санитарне депоније „Савина Стена“.

Испитиване карактеристике земљишта су основа за симулацију кретања воде кроз земљишни профил. Софтверски пакет HYDRUS - 1D омогућио је да проценимо брзину продирања воде кроз профил земљишта дубине 200 cm. Резултати симулације су показали да би количина воде 0,43 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> продрла до дна профила за 22 – 24 h.

Мултикритеријумском анализом Visual PROMETHEE Academic рангиране су две одабране алтернативе технолошког постројења за прераду процедурне воде на депонији „Савина Стена“. Поређење алтернатива је извршено у односу на четири задата критеријума, која су сматрана од стране аутора за најрелевантније. Коначно рангирање показало је предност SBR постројења у односу на MBR.

SBR технолошко постројење је дизајнирано, односно израчунате су запремине реактора, капацитет аератора и запремина резервоара за муљ. Ефективна запремина првог реактора (SBR1) износи 1470 m<sup>3</sup>, док је прорачуната ефективна запремина SBR2 490m<sup>3</sup>. Капацитет аератора за први реактор је 50 m<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/h, а за други је 15 m<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/h. Запремина резервоара за муљ је 40 m<sup>3</sup>.

**Кључне речи:** климатске промене, процедурне воде, санитарна депонија, евапотранспирација, HYDRUS – 1D, Visual PROMETHEE, SBR

Научна област: Технолошко инжењерство

УДК број:

# **A STUDY ON THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE QUALITY AND QUANTITY OF LEACHATE FROM THE “SAVINA STENA” SANITARY LANDFILL**

## **ABSTRACT**

This dissertation presents a study that explores the effects of climate change on the quantity and quality of leachate from the “Savina Stena” sanitary landfill. At the same time, the study analyzes the landfill soil characteristics in order to predict the extent of pollution from the leachate. In addition, the study proposes a technological solution for leachate purification, taking into account the conditions and the recipient. Although the research was performed at the “Savina Stena” landfill, the study can be also applied to other municipal landfills with similar conditions.

The physical-mechanical analysis of deep samples revealed that the moisture content of the soil of the site is below average, that the soil is porous and slightly porous, and that it belongs to soils with average strength, given the friction angle  $\phi = 30,40^\circ$  and the cohesion  $c = 15,0$  kPa. The limits of plasticity indicate that U1 and U2 are inorganic clay samples with medium plasticity and U3 is inorganic clay with low plasticity and that they do not change their consistency significantly when the water content changes. The water permeability test showed that the samples have a low degree of permeability. The deep samples were classified according to the USDA classification as loam (U1), sandy loam (U2), and silty loam (U3).

The physical-chemical analysis of the surface sample revealed that the soil with a moisture content of 11,03% is dry soil, with a neutral pH in the aqueous solution (6,90) and a slightly acidic pH in the KCl solution (5,83). The soil is slightly humic, with a humus content of 1,52%. The surface sample was classified as clay loam according to the USDA classification. Using the experimental method of XRD characterization, the mineral ferroan (Fe-diopside) was detected, with 59,58% in the surface sample with the highest percentage.

The impact of climate change on the amount of leachate was determined by calculating the amount of leachate for two time periods: the period from 1990 to 2020 and the period from 2020 to 2039. The amount of leachate is calculated using evapotranspiration according to the *Thornthwaite* method, which is based on climate parameters. For the period 1990-2020, the largest amount of leachate is produced in December, namely 61,82 m<sup>3</sup>/day, and for the period 2020-2039, the largest amount of leachate will also occur in December, namely 63,12 m<sup>3</sup>/day. The results obtained clearly show the impact of climate change on the quantity of leachate from the “Savina Stena” sanitary landfill.

The examined characteristics of the soil were used as input parameters to simulate the movement of water through the soil profile. Using the HYDRUS-1D Software Package, we were able to estimate the rate of water penetration through the 200 cm deep soil profile. The results of the simulation showed that the amount of water 0,43 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> would penetrate to the bottom of the profile in 22-24 hours.

Using the multi-criteria analysis of Visual PROMETHEE Academic, two selected alternatives of the technological plant for the processing of leachate at the “Savina Stena” landfill were ranked. The comparison of the alternatives was made concerning four predetermined criteria, which we regarded as the most important ones. The final ranking showed the advantage of SBR plants over MBR.

The SBR plant was designed, i.e. the reactor volumes, the aerator capacity and the volume of the sludge tank were calculated. The effective volume of the first reactor (SBR1) is 1470 m<sup>3</sup>, while the calculated effective volume of the second reactor (SBR2) is 490 m<sup>3</sup>. The capacity of the aerator for the first reactor is 50 m<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/h and for the second reactor 15 m<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/h. The volume of the sludge tank is 40 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** *climate change, leachate, sanitary landfill, evapotranspiration, HYDRUS - 1D, Visual PROMETHEE, SBR*

Scientific field: Technological engineering

UDC number:

## САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. КОМУНАЛНЕ ДЕПОНИЈЕ.....	5
2.1. Утицај комуналних депонија на животну средину.....	6
2.2. Процедне воде.....	7
2.2.1. Фактори који утичу на производњу и састав процедурне воде.....	8
2.2.2. Анализа литературе о загађењу подземних и површинских вода процедним водама.....	10
3. САНИТАРНА ДЕПОНИЈА „САВИНА СТЕНА“.....	13
3.1. Систем за сакупљање процедурне воде у санитарној депонији.....	17
3.2. Постројење за прераду процедурних вода.....	18
3.3. Изолациони систем тела депоније.....	19
4. ЦИЉ РАДА.....	21
5. МЕТОДЕ АНАЛИЗЕ.....	22
5.1. Узимање узорка за анализу земљишта.....	22
5.2. Методе физичко-механичке анализе дубинских узорка.....	24
5.2.1. Одређивање садржаја влаге.....	24
5.2.2. Одређивање величине честица и класификација тла.....	25
5.2.3. Одређивање специфичне густине земљишта.....	26
5.2.4. Одређивање природне густине земљишта.....	27
5.2.5. Утврђивање параметра чврстоће.....	28
5.2.6. Атербергове границе конзистентности.....	29
5.2.7. Утврђивање компресибилности земљишта.....	30
5.2.8. Одређивање водопропусности земљишта.....	30
5.3. Физичко-хемијска анализа површинског узорка.....	31
5.3.1. Одређивање садржаја влаге и суве материје у узорку.....	31
5.3.2. Одређивање рН вредности узорка.....	32
5.3.3. Одређивање садржаја органског угљеника и садржаја хумуса.....	32
5.3.4. Одређивање садржаја $P_2O_5$ и $K_2O$ .....	32
5.4. Садржај механичких фракција површинског узорка земљишта.....	32
5.5. Рендгено дифрактометријска анализа (XRD).....	33
5.6. Израчунавања евапотранспирације и процедурне воде.....	34
5.6.1. Израчунавање количине процедурне воде.....	36
5.7. HYDRUS - 1D Софтверски пакет за симулацију једнодимензионалног кретања воде.....	37



6. СТРАТЕШКИ ПРИСТУП ОДАБИРУ И ТЕХНОЛОШКОМ ДИЗАЈНУ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ПРОЦЕДНЕ ВОДЕ .....	39
6.1. Рангирање постројења за прераду процедне воде Visual PROMETHEE Academic методом.....	40
6.2. Дизајнирање SBR система .....	41
6.3. Поступак третирања процедне воде по фазама.....	43
7. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	46
7.1. Садржај влаге .....	46
7.2. Величина честица и класификација тла.....	47
7.2.1. Величина честица.....	47
7.2.2. USDA класификација тла .....	49
7.3. Специфична густина.....	53
7.4. Природна густина .....	54
7.5. Параметри чврстоће.....	55
7.6. Атербергове границе конзистентности.....	56
7.7. Модул компресибилности.....	58
7.8. Водопропусност земљишта .....	60
7.9. Физичко-хемијска анализа површинског узорка земљишта .....	61
7.10. Механичка анализа површинског узорка .....	65
7.11. Рендгено дифрактометријска анализа површинског узорка (XRD) .....	67
7.12. Евапотранспирација и количина произведене процедне воде .....	68
7.13. Hydrus - 1D .....	73
7.14. Рангирање алтернатива Visual PROMETHEE мултикритеријумском анализом.....	81
7.15. Резултати технолошког дизајна Секвенционалног шаржног реактора (SBR) .....	86
8. ЗАКЉУЧАК.....	89
ЛИТЕРАТУРА:.....	93
СПИСАК СЛИКА.....	105
СПИСАК ТАБЕЛА.....	107
Биографија аутора .....	108

## 1. УВОД

Политика заштите животне средине се између осталог, односи и на бригу о отпаду. Већ годинама уназад управљање отпадом је водећи проблем са аспекта заштите животне средине, углавном због неодговорности друштва и ниског степена развијености свести о штетности отпада који доспева у природу. Загађење животне средине услед неадекватног управљања отпадом је глобални проблем [1].

Према Агенцији за заштиту животне средине [2], отпад се дели на основу места настанка, састава и токсичности. У односу на место настанка отпад може бити:

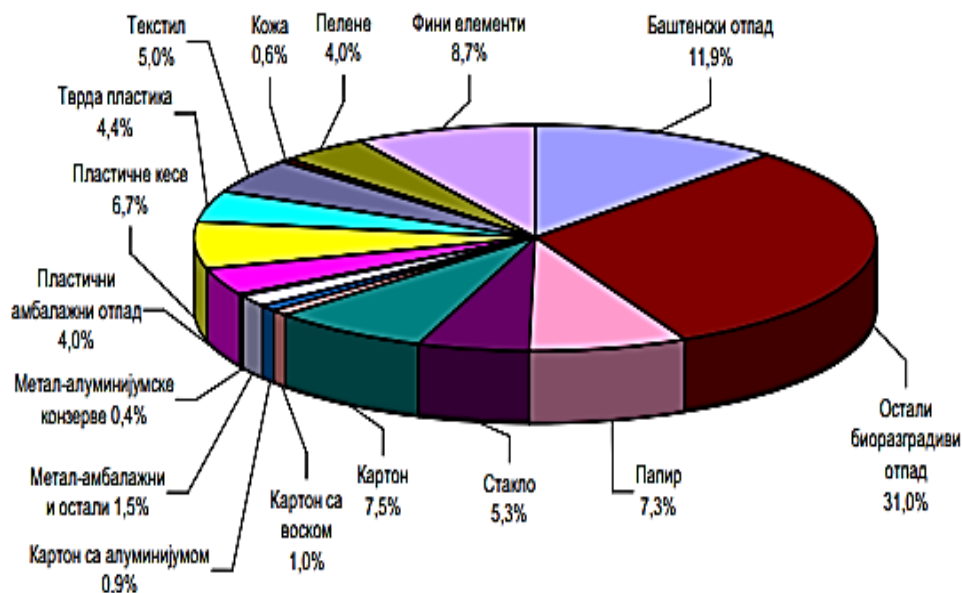
- комунални
- индустријски
- пољопривредни
- отпад од експлоатације и екстракције руда и минералних сировина
- амбалажни отпад
- грађевински
- медицински
- животињски и
- различити муљеви, талози, пепео и др.

Према саставу отпад се дели на:

- органски отпад
- стакло
- електрични отпад
- уља
- батерије
- текстил
- метал
- дрво
- папир и др,

док по токсичности разликујемо: опасан, неопасан и инертни отпад [2]. Комунални отпад је отпад из домаћинства као и сав други отпад који је по карактеристикама и

саставу сличан њему. Већински је у чврстом облику, али може садржати и получврсте компоненте, углавном органског порекла [3]. Републички завод за статистику [4] дао је процентуалне вредности свих категорија комуналног отпада, на основу које се уочава највећа заступљеност биоразградивог отпада (Слика 1) .



Слика 1. Процентуална заступљеност свих категорија у комуналном отпаду у Републици Србији [4]

Најистакнутији проблем комуналног отпада је сам његов настанак, односно генерисање које прати развој цивилизације и пораст броја становника. Стога су САД, Кина и Индија највећи произвођачи комуналног отпада [5]. У ЕУ је 2008. године укупна производња отпада износила 2,62 милијарде тона [6]. Управљање отпадом у ЕУ дефинисано је Стратегијом управљања отпадом, која је заснована на начелима и истиче превенцију настанка отпада, рециклажу и поновно коришћење као приоритет [4].

Одлагање комуналног отпада на депонијама је веома заступљено, међутим, представља реални извор загађења животне средине, у највећој мери процедурним водама [7]. Многобројне су студије које се баве овом проблематиком и које на основу резултата добијених на терену представљају могућа решења попут, изградње уређених депонија на којима се процедурне воде сакупљају, пречишћавају и на послетку испуштају у природу. Количина процедурних вода у највећој мери зависи од климатских фактора али се разликују и концентрације загађивача у

процедним водама произведеним у различитим климатским условима [8]. Контаминација земљишта, подземних и површинских вода, процедурним водама условљена је квалитетним и добрим управљањем процедурним водама на самој депонији али зависи и од физичких, хемијских и механичких карактеристика земљишта на коме је депонија. Са друге стране, количина процедурних вода може знатно да утиче на својства земљишта, односно да измени неке карактеристике попут границе пластичности, смицање и чврстина тла, које се са повећањем количине процедурне воде смањују [9].

Предмет истраживања у овом раду је израда студије која ће кроз пример санитарне депоније „Савина Стена“ показати евентуални утицај климатских промена на квантитет и квалитет процедурних вода, и биће применљива код других депонија локализованих у сличним климатским условима. Студија ће дефинисати поступак за одређивање интензитета и опсега потенцијално штетног утицаја процедурних вода депоније на подземне и површинске воде, у односу на климу севера Косова и Метохије, и омогућити оптимизацију технолошког процеса прераде процедурних вода с обзиром на њихов квантитет и квалитет. Дисертација ће обухватити неколико фаза истраживања:

- Прва фаза истраживања је испитивање физичко-механичких карактеристика земљишта са локације депоније „Савина Стена“, као и хемијска анализа земљишта.
- Друга фаза се односи на прецизну анализу минералног састава земљишта помоћу рендгенске дифрактометријске анализе, XRD (X-Ray diffraction analysis).
- Трећа фаза студије је математичко израчунавање евапотранспирације и количине процедурних вода које ће се производити у депонији, на основу климатских података за период 1990-2020 године. Затим ће бити приказан прорачун количине процедурних вода на основу климатских података предвиђених за период 2020-2039 године, што ће дати јасну слику размере утицаја климатских промена на квантитет процедурних вода санитарне депоније „Савина Стена“.
- Четврту фазу истраживања представља симулација продирања процедурне воде кроз профил земљишта, на основу које ћемо прецизно знати опсег

евентуалне контаминације живоне средине, у односу на одређени временски период.

- Пета фаза обухвата одабир најадекватнијег постројења за пречишћавање процедурне воде мултикритеријумском анализом Visual PROMETHEE, а затим и одређивање димензија постројења, како би се постигла максимална ефикасност технолошког процеса.

Резултати добијени истраживањем биће од великог значаја, обзиром на то да ће нам омогућити јасан увид у утицај климатских промена на квантитет процедурне воде, на основу којих се може валидирати технолошки процес прераде истих. Испитивањем карактеристика земљишта добићемо процену интензитета загађења подземних и површинских вода процедурним водама, услед њиховог потенцијалног цурења из тела депоније.

## 2. КОМУНАЛНЕ ДЕПОНИЈЕ

Процес управљања отпадом је комплексан и захтеван. Изузев изискивања великих материјалних средстава, правилно управљање отпадом подразумева и ангажовање стручњака из ове области, као и усклађеност са актуелним законским прописима. Најзахтевнији сегмент овог процеса је одлагање комуналног отпада на депоније, које су у нашој земљи још увек најчешћи избор. Из тог разлога Република Србија је донела Уредбу о одлагању отпада на депоније [10] која предвиђа стопе смањења биоразградивог отпада на депонијама и то:

- у периоду од 2012. до 2016. године - најмање 25% укупне тежине биоразградивог комуналног отпада;
- у периоду од 2017. до 2019. године - најмање 50% укупне тежине биоразградивог комуналног отпада;
- у периоду од 2020. до 2026. године - најмање 65% укупне тежине биоразградивог комуналног отпада.

У Србији је, према наводима Агенције за заштиту животне средине [2], активно 2300 дивљих депонија и свега 164 комуналних. Дивље депоније су непосредна опасност по животну средину и здравље људи и никако не могу бити избор за одлагање отпада. Нарушавају квалитет воде, ваздуха, земљишта, утичу на флору и фауну, те су последице деградације природе услед стварања сметлишта дугорочне.

Комуналне депоније су општеприхваћене, мада се последњих година све више тежи другим, коначним решењима за третман комуналног отпада. Економски добро развијене земље улажу изузетан труд и средства у проналажењу и усавршавању нових метода, али и стављају акценат на добробит превенције, односно, истичу значај смањења настанка отпада. Примена савремених метода третмана отпада ће допринети да се одлагање на депонији користи само за фракције заостале после третмана отпада [11].

Уређене комуналне депоније су лоциране на посебно одабраним просторима, прописно удаљеним од насеља, паркова, пољопривредних добара, река, спортских центара, игралишта за децу и др. За одабир локације је неопходно

испитати критеријуме попут: намена предвиђеног простора и коришћење земљишта, топографија терена, геолошке услове, хидрогеолошке услове, сеизмичке карактеристике, климу, саобраћај, инфраструктуру, запремину и капацитет простора [10]. На основу постављених критеријума одабирају се алтернативе, од којих је једна одговарајућа. У садашњости, када су иновативне софтверске методе у успону, коначан одабир локације за изградњу депоније је лакши део посла.

Уређену депонију чине: тело депоније, манипулативно-опслужни плато, саобраћајнице, простор за прање возила, објекат за сепарацију отпада и постројење за прераду процедурних вода. У циљу очувања животне средине, тело депоније је обложено водонепропусном геосинтетичком подлогом, чији је век трајања између 100 и 200 година [12]. У унутрашњости тела, инсталирани су системи за прикупљање депонијског гаса и процедурних вода, док се око њега изграђују дренажни системи и канали који одводе атмосферске воде, како се оне не би додатно мешале са процедурним водама. Процедне воде доспевају у природне реципијенте тек након технолошког процеса пречишћавања.

## **2.1. Утицај комуналних депонија на животну средину**

Имајући у виду растућу забринитост за животну средину, услед негативног деловања комуналних депонија, процена њиховог утицаја на природу је веома запажена тема у литератури и добија на све већој важности [13].

И након испуњавања свих законских критеријума, комуналне депоније су потенцијална опасност по животну средину, са нагласком на штетан утицај процедурних вода и депонијског гаса. Контаминација подземних и површинских вода процедурним водама из депонија, загађење земљишта, као и непријатни мириси, заиста су чест проблем који узрокују депоније [14]. Бука такође представља проблем, нарочито уколико је депонија у близини насељеног места, те свакодневни рад тешких машина значајно ремети живот становника.

Органске материје из комуналног отпада и тешки метали који се у процедурним водама садрже, деградирају земљиште у околини депоније [15].

Контаминација земљишта процедурним водама даље узрокује миграцију полутаната и загађење подземних вода [16].

Емитовање депонијског гаса у атмосферу је други алармантни проблем, јер знатно утиче на климатске факторе [17]. Око 20% емисије метана, узроковане антропогеним деловањем, потиче са депонија. Изузев метана, депонијски гас садржи угљен-диоксид и друге гасове, у мањим концентрацијама, од којих су поједини токсични [18].

## **2.2. Процедне воде**

Процедне воде комуналних депонија настају инфилтрирањем атмосферске воде у тело депоније, сливањем воде коју отпад садржи и као резултат биолошких процеса разградње отпада [19, 20, 21]. Карактерише их интензиван непријатан мирис и тамна боја, као и биолошка потрошња кисеоника за пет дана, која је веома висока [22].

Депонован комунални отпад се разлаже у четири фазе. У свакој од тих фаза се одвија процес производње процедурне воде. У првој фази одпочиње биолошко разлагање органског отпада, средина је аеробна, рН вредност је неутрална, и ствара се релативно мала количина процедурне воде коју карактеришу ниске концентрације загађујућих материја. У другој фази се ствара кисела средина, аеробно стање прелази у анаеробно, интензивира се производња процедурне воде и она садржи високе концентрације амонијака, метала и других органских полутаната. Трећу фазу карактеришемо као „метанску“, у њој је средина неутрална и благо алкална а процедурне воде обилују загађујућим материјама попут амонијака. У четвртој фази се поново успостављају аеробни услови у телу депоније док концентрације загађујућих материја опадају [22, 23].

Састав процедурних вода зависи од више чинилаца, попут састава отпада, старости депоније, фазе разлагања отпада у депонији, падавина, дебљине отпада, покривке, услова локације депоније и др. [24]. Ипак статистика именује одређене параметре који се неизоставно контролишу и који указују на обавезно присуство одређених елемената и једињења у процедурним водама, попут кисеоника, азота, фосфора, нитрата и др. (Табела 1).



Табела 1. Распон концентрација параметра процедурне воде [25]

Контролисани параметри	Распон концентрације (mg/l)
БПК <sub>5</sub>	2,000 - 30,000
Укупан органски угљеник	15,000 - 20,000
ХПК	3,000 - 45,000
Укупна чврста материја	200 - 1,000
Органски азот	10 – 600
Амонијак - азот	10 – 800
Нитрати	5 – 40
Укупан фосфор	1 – 70
Ортофосфати	1 – 50
Алкалност	1,000 - 10,000
pH	5,3 - 8,5
Сумпор	100 - 3,000
Хлор	100 - 3,000

Реални састав процедурних вода је тешко предвидети, али су истраживања показала честу детекцију фенола, ароматичних угљоводоника, пестицида, нутријената и тешких метала [26]. У литератури се може наћи подела загађујућих материја из процедурних вода на: органске материје, неорганске компоненте, тешке метале и ксенобиотику [27].

### 2.2.1. Фактори који утичу на производњу и састав процедурне воде

Састав отпада је један од најугицајнијих фактора за стварање процедурних вода. Отпад који садржи већински органске материје ствара добре услове за хемијске и биохемијске реакције које као продукт имају настанак течности у депонији [28]. Растворене органске материје у процедурним водама имају значајан биохемијски утицај у депонијама. Карбоксилне, карбоналне и фенолне функционалне групе у њима остварују интеракцију са многим супстанцама, када доспеју у животну средину. Амонијак у процедурној води настаје као продукт

разградње протеина [29]. Гвожђе потиче од металног отпада, цинк од батерија и флуоресцентних цеви, олово од оловних цеви, оловних боја и др. [30].

Старост депоније снажно карактерише процедурне воде и то тако што концентрације загађујућих материја расту до средњег доба депоније, док са зрелошћу депоније опадају [31]. У табели 2 приказане су оптималне вредности параметара који су специфични за процедурне воде, у зависности од старосног доба депонија [32].

Табела 2. Карактеристике процедурне воде у односу на старост депоније [32]

КАРАКТЕРИСТИКЕ ПРОЦЕДНИХ ВОДА У ОДНОСУ НА СТАРОСТ ДЕПОНИЈЕ			
	Нове депоније	Депоније средњег доба	Зреле депоније
Године старости	< 5	5 - 10	>10
pH	< 6,5	6,5-7,5	> 7,5
ХПК (mg/l)	> 10000	4000-10000	< 4000
БПК <sub>5</sub> /ХПК	> 0,5	0,1-0,5	< 0,5
Укупан органски угљеник/ХПК	< 0,3	0,3-0,5	> 0,5
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	> 2000	< 2000	< 2000
Органске материје	> 80% Волатилне масне киселине	5-30% Волатилне масне киселине, остатак хуминске и флувинске киселине	Хуминске и флувинске киселине
Тешки метали (mg/l)	> 2000 ниске/средње концентрације	< 2000 ниске концентрације	< 2000 ниске концентрације
Биоразградивост	Доминантна	Средње изражена	Ниска

pH вредност је зависна од старости депоније, што доказује и Venaddi и сар. [33], који је анализом три депоније (уређену активну, пасивну и неуређену активну) показао да су две активне депоније имале киселу средину, зато што су обе у младој фази коришћења.

Концентрације полутаната у процедурним водама варирају у зависности од дебљине отпада. Растворљиви јони дају веће концентрације на дубинама, док метали показују приближне вредности [34].

Битне су разлике у садржају загађујућих материја у процедурним водама, и у различитим периодима у току године. Веће концентрације штетних материја у процедурним водама се детектују у летњим месецима, док су у зимском периоду те вредности ниже, што указује на утицај падавина на квалитет процедурних вода [35]. У периодима у току године који обилују падавинама, процедура вода је разблажена истим, те су концентрације полутаната у њима знатно ниже [36].

Значајне разлике у концентрацијама загађујућих материја у процедурним водама се уочавају у односу на то да ли је депонија активна или пасивна. Код активних депонија су измерене вредности полутаната веће, посебно: укупне растворене чврсте материје, укупне суспендоване материје, сулфати, хлориди, никл, магнезијум, калијум и др. Изузев наведеног, наглашене су разлике у електричној проводљивости и хемијској потрошњи кисеоника [37]. Упркос опадању концентрација загађујућих материја, пасивне депоније се морају контролисати годинама по затварњу, јер процедурне воде у њима садрже полутанте, који имају потенцијал да значајно деградирају животну средину [38].

### **2.2.2. Анализа литературе о загађењу подземних и површинских вода процедурним водама**

Бројне су студије које указују на размере загађења животне средине процедурним водама. Нарочито је то уочљиво када се испитује загађење подземних вода у околини депонија, које су индикатори лошег управљања отпадом [39]. Услед контаминације процедурним водама, у подземним водама висок је проценат многих загађујућих материја, попут Ni, Fe, Cu, Cd, Pb, Co, који премашују граничне вредности СЗО [40, 41]. Високе концентрације EC, TDS, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>2</sub><sup>-4</sup>, NO<sup>-3</sup>, Na<sup>+</sup> у подземним водама, које су често главни извор воде за пиће, указују на загађење узроковано процедурним водама и дају овој проблематици на значају [42].

Неке загађујуће материје из процедурних вода имају акумулативни карактер, те могу да делују токсично и генотоксично на живи свет у водама [43]. У појединим

подручјима је контаминација животне средине процедурним водама тако екстремна, да индекс ризика по здравље људи, измерен у чиниоцима ланца исхране указује на канцерогеност [44]. Патогени микроорганизми су потврђени биохемијским анализама, као неизоставни у процедурним водама (тотални колиформи, фекални колиформи, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* и др.), а њихово присуство у подручју око депонија ствара услове за појаву тешких обољња попут маларије, цревних болести, салмонелозе, колере и др. [45].

Контаминација подземних вода, условљена продирањем процедурне воде кроз земљиште, доводи до загађења површинских токова, што се одговорним управљањем депонијом може избећи или свести на незнатно у односу на параметре СЗО, за воду за пиће [46, 47, 48].

Атапо и сар. [49] су испитивали квалитет подземних и површинских вода у околини депоније Кумаси у Гани (1,34 km) и дошли до закључка да су концентрације кадмијума у свим узорцима биле веће од прописа СЗО (0,003 mg/l), што је испитивану воду искључило као могућу за конзумирање. Како у близини места узорковања нема других загађивача, закључује се да су процедурне воде депоније основни извор. Javahershenasa и сар. [50] су у свом истраживачком раду спровели испитивање утицаја депоније у Лахијану на тешке метале и органска једињења и установили да су и подземне воде и сезонска река контаминирани процедурним водама. Измерене вредности електропроводљивости, биохемијске и хемијске потрошње кисеоника, као и мангана и никла, прелазиле су одређене граничне вредности. Nyirenda и сар. [51] испитивали су квалитет подземних вода у околини депоније у граду Лусака у Замбији. Индекс загађења процедурне воде био је 30, и указивао је на потенцијал загађења подземних вода. Анализа процедурних вода показала је висок садржај нитрата, хлорида, кадмијума и олова, за које аутори закључују да потичу из процедурне воде депоније, обзиром на то да су узорци ближи депонији имали знатно веће концентрације загађујућих материја. Asouat и сар. [52] су се такође бавили проблематиком загађења подземних вода процедурним водама. Узорковали су бунаре у околини депоније Агадир у Мароку, из којих се вода често користи за пиће, и анализом потврдили контаминацију подземних вода. Повишене вредности загађујућих материја уочене су за калијум (9,8-18 mg/l), гвожђе (0,22-0,6 mg/l) и манган (0,012-0,1 mg/l). Истраживањем су недвосмислено утврдили да

је депонија загађивач, јер су се вредности испитиваних параметара знатно умањиле са повећањем раздањине депоније и бунара. Мор и сар. [53] су испитивали подземне воде у близини депоније Газипур у Делхију, и потврдили перколацију процедних вода, на основу контаминације подземних. Истраживањем су утврдили повишене концентрације фенола, гвожђа, цинка и ХПК - а, посебно у узорцима узетим ближе депонији. Alizadeh и сар. [54] истражили су подручје око депоније Тонекабон у Ирану, и потврдили загађење подземних и површинских вода процедним водама. Испитивани параметри попут БПК<sub>5</sub>, ХПК и електропроводљивости показали су веће вредности од максимално дозвољених.

### 3. САНИТАРНА ДЕПОНИЈА „САВИНА СТЕНА“

Звечан је општина на северном делу Косова и Метохије, и простире се на површини од 122,4 km<sup>2</sup>. Кроз град протиче река Ибар а ободу града дефинишу обронци Копаоника, Рогозне и Мокре Горе. Броји око 17000 становника у 36 насељених места. Пораст броја становника у општини Звечан је око 10,7% од 1991. год [55], што неминовно условава раст генерисаног комуналног отпада.

Санитарна депонија „Савина Стена“ је локализована у општини Звечан у селу Србовац. Депонија се простире дуж магистралног пута Косовска Митровица - Београд, са географском ширином 42°58'01.70'', географском дужином 20°49'51.62'' на надморској висини од 560 m (Слика 2). Удаљена је од реке Ибар 300 m, односно, на њеној је десној обали и заузима површину од 26,6 ha. Капацитет депоније је 680000 m<sup>3</sup> [56].



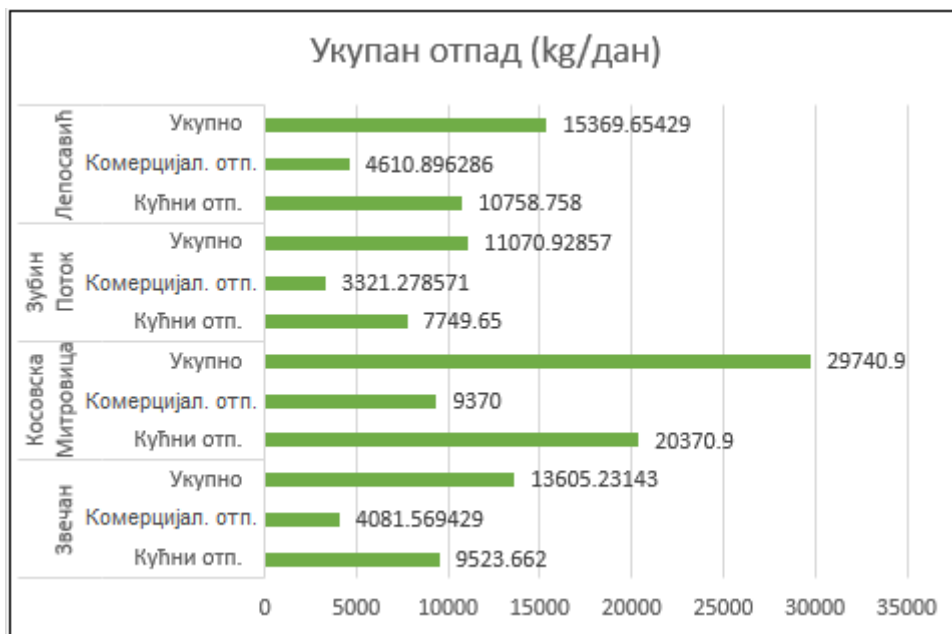
Слика 2. Макролокација санитарне депоније „Савина Стена“ [56]

Депонија је намењена за одлагање отпада из четири општине на северу Косова и Метохије: Звечан, Косовска Митровица, Лепосавић и Зубин Поток. На сликама 3 и 4 приказане су количине комуналног отпада за наведене општине и то: дневне вредности генерисаних количина комуналног отпада по становнику (укупан отпад, кућни отпади и комерцијални отпад) и генерисан отпад на дневном нивоу по

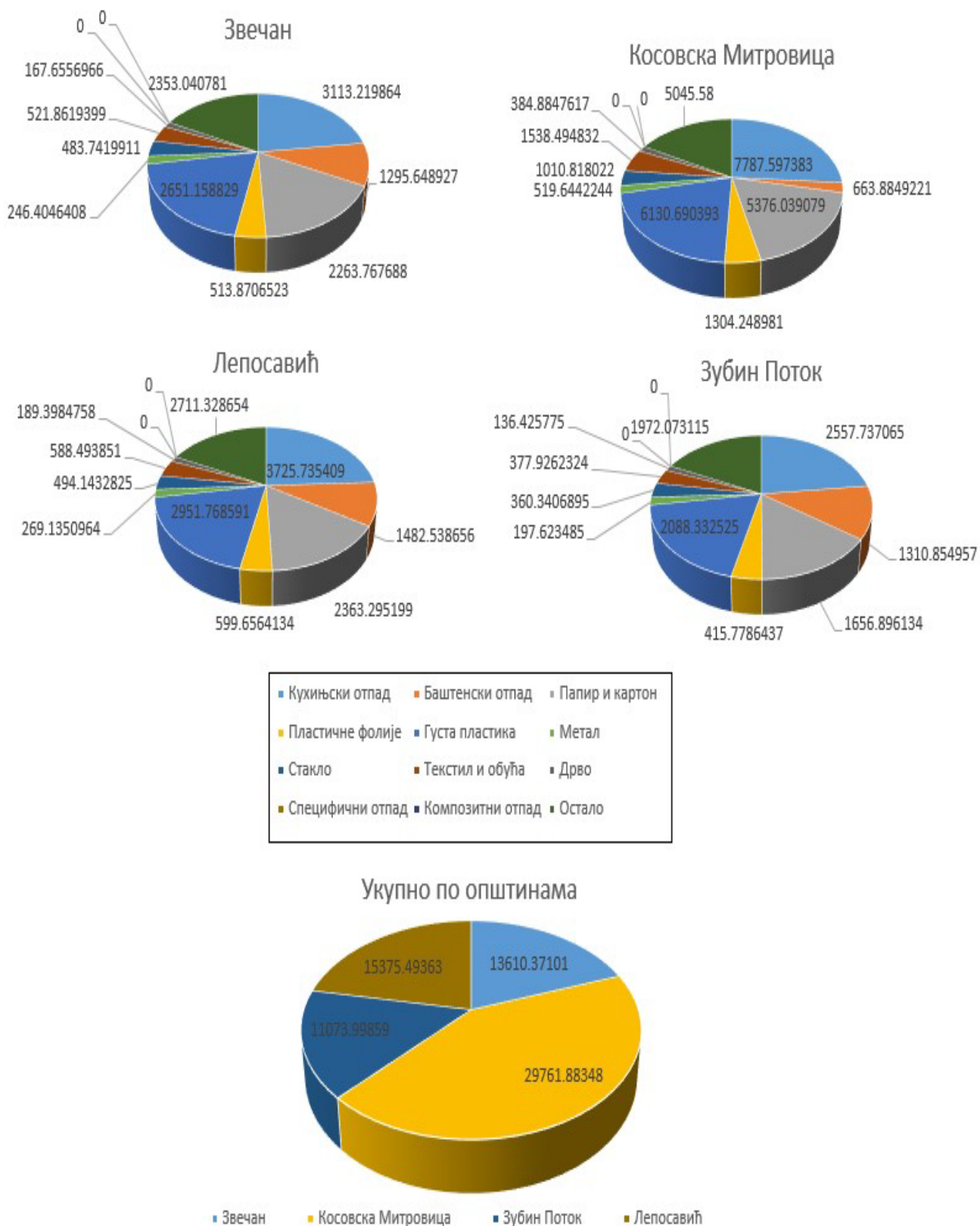
општинама (укупан отпад, кућни отпад и комерцијални отпад). Слика 5 показује дневне количине отпада по фракцијама за четири општине и укупну количину отпада.



Слика 3. Количина отпада по становнику



Слика 4. Укупна количина отпада по општинама



Слика 5. Количина отпада по фракцијама (кг/дан)

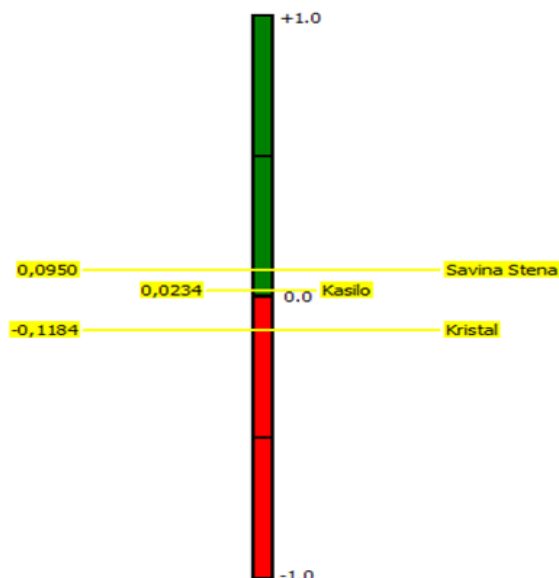


Животни век депоније је одређен на 20 година, те је тело депоније пројектовано у две ћелије, чији ће капацитет одговорити захтевима. Количина отпада који ће се депоновати у планираном периоду израчуната је једноставним поступком, који подразумева множење предвиђене, дневне количине отпада по особи (0,88 kg) са бројем становника све четири општине. Познавањем дневне количине отпада, лако се добија годишња вредност, на коју је урачунат годишњи предвиђени пораст броја становника од 0,5%. Једноставним рачуном се дошло до података о количини отпада која ће се генерисати у периоду од 2020. до 2035. године (Табела 3).

Табела 3. Предвиђена количина генерисаног отпада за 2020-2035

<b>ПРЕДВИЂЕНА КОЛИЧИНА ОТПАДА</b>			
Година	t/год	Година	t/год
<b>2020</b>	25484,94	<b>2028</b>	26522,35
<b>2021</b>	25612,36	<b>2029</b>	26654,97
<b>2022</b>	25740,42	<b>2030</b>	26788,24
<b>2023</b>	25869,13	<b>2031</b>	26922,18
<b>2024</b>	25998,47	<b>2032</b>	27056,79
<b>2025</b>	26128,45	<b>2033</b>	27192,08
<b>2026</b>	26259,11	<b>2034</b>	27328,04
<b>2027</b>	26390,4	<b>2035</b>	27464,68

Локација на којој је изграђена санитарна депонија „Савина Стена“, пажљиво је одабрана, између 3 алтернативе: Кашило, Кристал и Савина Стена. Методом мултикритеријумске амнализе PROMETHEE, у односу на рестриктивне критеријуме (подземне и површинске воде, власништво земљишта, удаљеност од насеља, температуре ваздуха, карактеристика пејзажа, рељеф, удаљеност од природних добара, споменика културе, падавине, удаљеност од путева, геолошке карактеристике), одређена је локација Савина Стена као најадекватнија (Слика 6) [57].



Слика 6. Финално рангирање алтернатива за локацију [57]

### 3.1. Систем за сакупљање процедурне воде у санитарној депонији

Приликом одлучивања о систему за сакупљање процедурних вода у депонији, неопходно је водити рачуна о количини процедурне воде која ће се у депонији производити, катактеристикама материјала од којих су цеви израђене и начину њихове инплементације. Цеви које одводе процедурну воду морају бити постављене тако да не ремете систем изолације у депонији и ни на који начин не угрожавају подлогу, а да су хидраулички ефикасне. Морају бити од материјала који не подлеже деформацијама и не реагује са водом, отпадом или једињењима која се у њима садрже.

Одабир дренажног сиситема за процедурне воде се мора пажњиво извести, како би се избегли проблеми који касније настају. Наиме, у цевима које сакупљају и одводе процедурне воде може се јавити зачепљење и то услед повећања температуре у депонији, смањењем величине зрна дренажног материјала и повећањем чврстоће процедурне воде. У овим условима најчешће се јављају зачепљења услед таложења минерала и суспендованих чврстих честица и пораста биомасе [58, 59, 60]. Испирање калцијума је такође критичан узрочник зачепљења цеви за сакупљање процедурних вода [61], што је нарочито уочљиво када је депонија у фази ниске рН

вредности или повишене температуре [62]. Степен зачепљења цеви за дренажу процедурних вода зависи и од материјала од којих су цеви направљене. Неке студије показују да су цеви од полиетилена високе густине (HDPE) и поливинил хлорида (PVC) подложније зачепљењу од цеви израђених од полипропилена (PP) и полиетилена (PE) [63]. Зачепљење дренажних цеви доводи по повећања нивоа процедурне воде на дно ћелије, те се зато мерење њеног нивоа користити за дијагностику евентуалног зачепљења цеви [64].

У депонији „Савина Стена“ систем за прикупљање процедурних вода је постављен под нагибом 3-6%, што омогућава лакше одвођење воде до сабирне јаме. Чине га четири перфориране цеви, пречника 315 mm, од HDPE материјала. Брзина протока је израчуната Менинговом формулом [65]:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Добијена вредност брзине протока (V) је 5,3 m/s, што је знатно више од доње граница брзине протока (0,4 m/s) [66], и спречиће таложење у цевима. На најнижој тачки ћелије постављена је једна, не перфорирана цев која даље одводи воду у сабирник.

### 3.2. Постројење за прераду процедурних вода

Постројење за прераду процедурних вода на санитарној депонији мора задовољити законске прописе у односу на реципијент, али мора и одговорати условима на локацији депоније и бити у складу са финансијским одредницама.

Санитарна депонија „Савина Стена“ је пројектована у складу са стандардима, те је између осталог, на локацији депоније подразумевана изградња и постојење за прераду процедурних вода. Процедне воде због свог састава, деградирају животну средину па се без прераде не испуштају у природне реципијенте. Депонија је на 300 m од обале реке Ибар и прерађене процедурне воде ће се једним делом испуштати у њу, а остало ће се искористити за рецикулацију депоније.

### 3.3. Изолациони систем тела депоније

Како би заштитили продирање процедурних вода у подземне водоноснике, неопходно је коистити природну или вештачку изолацију, или уколико је то потребно комбиновати обе [67]. Без обзира на век трајања и отпорност геосинтетичких мембрана, процедурне воде могу продрети у животну средину кроз несавршености, попут рупа и ситних пукотина на спојевима подлоге [68], стога су пожељне и природне геолошке баријере од глине, песка, шљунка, камена и др. а чија би минимална дебљина морала да буде 0,5 m [69]. Код одабира природних баријера, приликом комбиноване употребе, мора се водити рачуна о величини и облику материјала како би се избегло оштећење геомембране [70].

Да би смо одабрали најадекватнију подлогу која ће представљати квалитетну баријеру за продирање процедурне воде из депоније у животну средину, кључно је знати све о законским прописима, врсти отпада који ће се одлагати и о доступности материјала. Пожељно је да земљиште на коме је депонија има одговарајуће карактеристике, односно да га оне чине добрим природним изолатором. Изузев тога, пожељно је да депонија не буде на мекој подлози, како би се избегла оштећења на геосинтетичкој мембрани, настала услед слегања отпада, при чему долази до затезних деформација [71].

Геосинтетичка мембрана мора да задовољи одређене услове [72]:

- Минимална дебљина трба да буде најмање 2,5 mm
- Добре физичке и механичке перформансе
- Да буде отпорна на температуру од најмање 70°C
- Да буде отпорна на микроорганизме
- Висока отпорност на кидање
- Јака прилагодљивост дефрмацијама
- Да не дозвољава раст биљака
- Да буде отпорна на активности глодара
- Да не реагује са материјама из отпада и процедурних вода
- Да се лако инплементира.

Санитарна депонија „Савина Стена“ у основи тела депоније и на косинама има минерални слој дебљине 1m, заштитни глинени слој од 0,5 m, геосинтетичку мембрану, заштитни геотекстил, слој песка дебљине 0,10 m (величина зрна 0,08 m) и дренажни слој максималне величине зрна 32 mm, дебљине 0,5 m.

Слој глине је захваљујући њеним карактеристикама изузетно погодан за изолацију. Као природна геолошка баријера треба да има пропустљивост  $< 10^{-9}$  m/s, док дебљина овог слоја мора да буде  $\geq 0,5$  m. Различите врсте глине подразумевају мимоилажења у хидрауличкој проводљивости, исушивању и отпорности на механичка оштећења, те уколико то услови дозвољавају потребно је одабрати глину која највише одговара намени, попут смектитске глине, која има ниску проводљивост и добро се сабија [73].

Геосинтетичка мембрана максимално пружа заштиту од перколације процедурних вода. Правилно постављање подлоге подразумева преклапање спојева у ширини од 0,5 m, и пажљиво заваривање како би се избегле неправилности. За санитарну депонију „Савина Стена“ коришћена је подлога од полиетилена високе густине, тзв. HDPE подлога. Заштитни геотекстил се поставља преко подлоге и основана намена му је спречавање оштећења геосинтетичке подлоге. Затим се наноси слој ситног песка, чија је величина зрна до 0,08 m и дренажни слој шљунка величине зрна до 32 mm, како би се избегла оштећења подлоге. Неадекватна величина зрна шљунка могу узроковати чак 50% укупних оштећења на геосинтетичкој подлози [74].

HDPE подлога показује добре параметре чврстине на тестовима смицања, што јој даје предности у односу на друге подлоге, попут PVC [75, 76].

## 4. ЦИЉ РАДА

Главни циљ докторске дисертације је утврђивање утицаја климатских промена на количину и квалитет процедурних вода на санитарној депонији „Савина Стена“. Изузев примарног циља, истраживање ће обухватити и дефинисање поступка за одређивање интензитета и опсега потенцијално штетног утицаја процедурних вода на подземне и површинске воде, као и оптимизацију технолошког процеса прераде процедурних вода обзиром на њихов квалитет и квантитет. Полазну хипотезу докторске дисертације представља могућност израчунавања количине процедурне воде на основу доступних метеоролошких података, за цео животни век депоније. Добијени резултати ће потврдити или оспорити непосредни утицај климе, не само на количину произведене процедурне воде, већ на целокупан процес управљање истим.

У раду ће бити испитиване и физичко-механичке и хемијске карактеристике земљишта, на основу којих ће се појаснити понашање процедурних вода у реалним условима, услед евентуалне перколације, и омогућити да се сагледају размере њиховог, потенцијално штетног утицаја на подземне и површинске воде.

Резултати приказани у дисертацији добијени су:

- Физичко-механичком анализом земљишта
- Хемијском анализом земљишта
- XRD - Рендгено дифрактометријском анализом
- *Tornthwaite* методом за израчунавања евапотранспирације
- Израчунавањем количине процедурних вода депоније
- Израчунавање димензија постројења за прераду процедурних вода

Емпиријски и експериментални подаци ће представљати основу за софтверско моделирање кретања процедурних вода кроз земљиште. Софтверско моделирање биће изведено применом HYDRUS - 1D модела.

Visual PROMETHEE мултикритеријумском анализом извршиће се прецизно рангирање алтернатива технолошког постројења за пречишћавање процедурних вода, а затим и дизајнирање одабраног система.

## **5. МЕТОДЕ АНАЛИЗЕ**

У овом поглављу су представљене методе анализе свих узорака земљишта са локације санитарне депоније „Савина Стена“, односно за три дубинска и један површински узорак. Приказани су подаци и описана је метода математичког прорачуна евапотранспирације и количине процедурних вода за два временска периода. Такође, дати су подаци коришћени за софтверско моделирање вертикалног кретања воде кроз профил земљишта.

### **5.1. Узимање узорака за анализу земљишта**

За планиране анализе земљишта санитарне депоније „Савина Стена“ узета су три дубинска и један површински узорак.

Узимање дубинског узорака за потребе физичко-механичке анализе земљишта санитарне депоније „Савина Стена“, извршено је на различитим дубинама. Први узорак је са дубине од 1,20 m-1,60 m (У1), други са 1,40 m-1,80 m (У2) и трећи узорак са дубине 1,50 m-1,90 m (У3) (Слика 7). Узорци су стављени у пластичне кесе и однешени у лабораторију где су припремљени за анализу стандардним процедурама.



а) У1/ 1,20 m-1,60 m



б) У2/ 1,40 m-1,80 m



в) У3/ 1,50 m-1,90 m

Слика 7. Дубински узорци земљишта: а) У1, б) У2, в) У3

Физичко-хемијска анализа земљишта, садржај механичких фракција и XRD анализа урађени су на површинском узорку (УП) (Слика 8).

Узорак је узет на координатама 42.963747 и 20.831592, са дубини од 0-30 cm, осушен, спрашен и послат на анализу.



Слика 8. Површински узорак земљишта (УП)



## 5.2. Методе физичко-механичке анализе дубинских узорака

Физичка својства земљишта су од изузетног значаја за познавање понашања земљишта. Од њих зависи задржавање и кретање воде унутар земљишта, али остварују и одређени утицај на хемијска и биолошка својства [77].

У циљу утврђивања физичко-механичких карактеристика испитиваног земљишта са локације депоније „Савина Стена“, урађене су следеће анализе:

- Садржај влаге
- Величина честица
- Специфична густина
- Природна густина
- Параметри чврстоће
- Атербергове границе конзистентности
- Модул компресибилности
- Водопропусност земљишта

### 5.2.1. Одређивање садржаја влаге

Већину физичких и хемијских карактеристика земљишта одређује његова влажност [78]. Стога је одређивање садржаја влаге неизоставно у области геотехничког инжењерства [79], али и у пољопривреди, екологији, и др. Садржај влаге у земљишту се може измерити применом различитих метода, од којих су најзаступљеније лабораторијске, оптичке и микроталасне [80]. Избор одговарајуће методе зависи од више фактора, попут: типа земљишта, тачности и економичности [81].

Одређивање садржаја влаге, која се у природним условима налази у земљишту на коме је изграђена депонија „Савина Стена“, извршено је методом сушења. Узорак земљишта је третиран у сушилици на температури од 105°C. Узорак је третиран док не постигне константну тежину између два мерења, затим се простим одузимањем добија количина воде садржана у узорку. Резултат мерења се представља формулом:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m} \times 100\% \quad (1)$$

где је:

$m$  - маса посуде у коју се ставља узорак [g]

$m_1$  - маса посуде са влажним материјалом [g]

$m_2$  - маса посуде са сувим материјалом [g]

$W$  - садржај влаге [%]

### 5.2.2. Одређивање величине честица и класификација тла

Упркос проналажењу савремених метода за одређивање величине честица земљишта и мишљењу многих да су просејавање и хидрометрисање скупе и дуготрајне, ове методе су још увек заступљене [82]. Оне омогућавају прецизно одређивање процентуалног садржаја фракција у узоку, након којих се врши се класификација тла, и то најчешће на основу две методе и то [83]:

1. ISSS метода коју је креирало Међународно друштво за науку о земљишту, на основу које је извршена подела:
  - < 2  $\mu\text{m}$  - глина
  - 2-20  $\mu\text{m}$  - муљ
  - 20-200  $\mu\text{m}$  - фини песак
  - 200-2000  $\mu\text{m}$  - крупни песак
2. USDA метода министарства за пољопривреду САД:
  - < 2  $\mu\text{m}$  - глина
  - 2-50  $\mu\text{m}$  - муљ
  - 50-2000  $\mu\text{m}$  - песак

У овој дисертацији анализа сва три узорка земљишта је извршена на следећи начин: суви узорак земљишта је натопљен водом па просејан кроз стандардно сито 0,1 mm. Зрна остала у сити су затим подвргнута сушењу и просејавању кроз сет сита, што је омогућило разврставање на основу величине честица. Узорак чије су честице пречника  $D=0,1$  mm је хидрометрисан (седиментација). Ова метода се

заснива на особини да зрна исте запремине и различите величине имају различиту брзину таложења, која је одређена следећом формулом:

$$v = \frac{2(\rho_p - \rho_w)}{9\mu} \left(\frac{D}{2}\right)^2 \left[\frac{cm}{s}\right] \quad (2)$$

$v$  - брзина таложења честица [cm/s]

$\rho_p$  - густина чврстих честица [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_w$  - густина воде у којој је извршено таложење [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$  - коефицијент вискозности [Ns/m<sup>2</sup>]

$D$  - пречник честица [mm]

Лабораторијски резултати су омогућили одређивање процената фракција гранулометријском кривом, затим је троугластим дијаграмом (USDA метода) одређена класификација тла.

### 5.2.3. Одређивање специфичне густине земљишта

Специфична густина је маса сувог земљишта, без пора, по јединици запремине [84]. Анализа узорка је извршена на следећи начин: прво је измерена маса пикнометра (Слика 9) са дестилованом водом, затим је измерена маса узорка, који је прво осушен на 105°C. Након овог, измерена је маса узорка и маса пикнометра са водом. У пикнометар је уз благо трескање додат узорак, и поновљено је мерење.



Слика 9. Пикнометар [85]

Након поступака мерења, специфична густина земљишта је израчуната по формули:

$$\rho_p = \frac{m}{(m_2+m)-m_1} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3)$$

$\rho_p$  - специфична густина [ $kg/m^3$ ]

$m$  - маса сувог узорка [ $kg$ ]

$m_1$  - маса пикнометра са водом и узорком [ $kg$ ]

$m_2$  - маса пикнометра напуњеног дестилованом водом, на одређеној температури [ $kg$ ].

#### 5.2.4. Одређивање природне густине земљишта

Природна густина представља масу непромењеног земљишта са порама у јединици запремине земљишта. Утиче на порозност земљишта, влажност и хидрауличку проводљивост, што је од непроцењивог значаја за одређивање квалитета земљишта [86].

За испитивање природне густине земљишта узима се узорак природне влажности и непромењене структуре. Метода „језгра“ је најчешће коришћена метода, и заснива се на стављање узорка у цилиндрични прстен, познате запремине [87]. Природна густина земљишта варира у зависности од састава земљишта, односно садржаја глине, муља, песка и органске материје [88, 89]. У овом случају одређивање природне густине је спроведено за узорак са непромењеном влажношћу и за осушени узорак. У узорак природне влажности утиснут је цилиндар запремине  $351,7 \text{ cm}^3$ . Узорак са цилиндром се мери а затим се од добијене вредности одузима маса цилиндра, како би се добила маса узорка природне влажности. Запреминска маса узорка природне влажности је количник измерене масе узорка са запремином цилиндра, а израчунава се следећом формулом:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (4)$$

где је:

$\rho$  – природна густина влажног узорка [ $kg/m^3$ ].

$m$  - маса узорка природне влажности [ $kg$ ]

V- запремина цилиндра [cm<sup>3</sup>]

За одређивање природне густине осушеног земљишта, узорак утиснут у цилиндар се суши сат времена на 105°C, до постизања константне масе. Након сушења мери се узорак са цилиндром а затим се од измерене вредности одузме маса празног цилиндра. Израчуната вредност представља масу сувог узорка, а њеним дељењем са запремином цилиндра добија се природна густина осушеног земљишта, која се израчунава следећим изразом:

$$\rho_t = \frac{m_t}{V} \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (5)$$

где је:

$\rho_t$  – природна густина осушеног узорка [kg/m<sup>3</sup>].

$m_t$  - маса сувог узорка [kg].

V - запремина цилиндра [m<sup>3</sup>].

### 5.2.5. Утврђивање параметра чврстоће

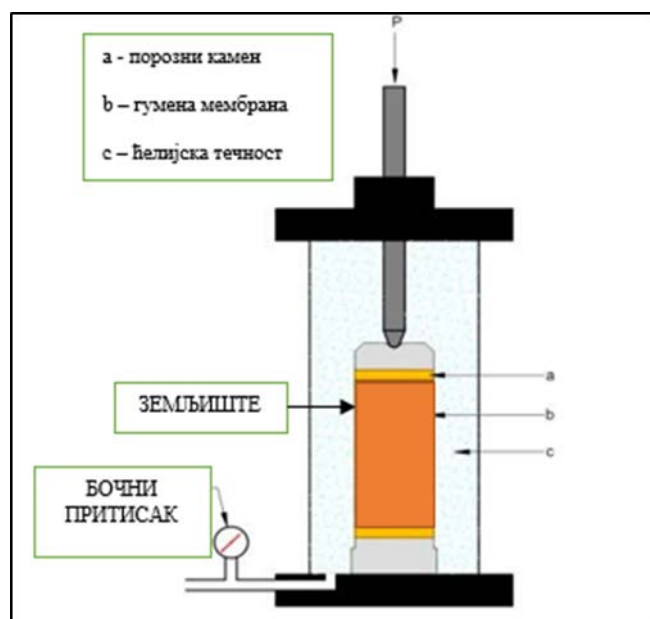
Чврстоћа тла се уско повезује са сломом тла које настаје услед смицања (клизање једне површине земљишта у односу на другу).

Одређивање параметара чврстоће на смицање је најчешће коришћена метода за испитивање чврстоће земљишта [90]. Испитивање узорака је спроведено триаксалним UU (Unconsolidated Undrained) тестом, у триаксалном UU уређају (Слика 10), у коме је испитана недренирана чврстоћа узорка.

Узорак за тестирање је пречника  $d=36$  mm и висине  $h=72$  mm, обавијен гуменом мембраном и постављен на филтерски камен. У поступку тестирања порозни систем воде је стално затворен, а на узорак се у првој фази утиче различитим притиском, и то: 100 kPa, 200 kPa и 300 kPa (делујући у свим смеровима). Овај притисак се означава  $\sigma_z$ . Повећањем притиска на течност, повећава се и притисак у земљишним порама, међутим како је узорак константно затворен не долази до дренирања, те се из тог разлога поступак дефинише као недренирани. У другој фази испитивања на узорак се делује и вертикалним притиском  $\sigma_v$ , који је увек већи од  $\sigma_z$ , а његове вредности су биле 360 kPa, 650 kPa

и 964 kPa. Хоризонтално напрезање остаје константно, док се вертикално повећава до тачке смицања.

Резултати су приказани Мохровим кружницама које пролазе кроз тачке ефективног напрезања при смицању. Тангента на кружницама даје анвелопу слома, на основу које се одређују  $\varphi$  (угао унутрашњег трења) и  $C$  (кохезија) [91].



Слика 10. Триаксални UU уређај [92]

### 5.2.6. Атербергове границе конзистентности

Атербергове границе суштински представљају процентуални садржај воде у земљишту у различитим фазама конзистенције [93]. Границе конзистентности се дефинишу као горња граница протока и доња граница пластичности.

Одређивање границе протока изведено је уз помоћ Ccssagrande уређаја, док је граница пластичности установљена гњечењем узорака. Однос влажности и броја удара се мери у апарату, те влажност која је на 25 ударца, представља границу протока. Граница пластичности је измерена влажност узорка који је предходно гњечен рукама до појава пукотина на његовој површини. Резултати су приказани дијаграмима пластичности и показују карактеристику промене конзистентности испитиваног земљишта услед промене влажности.

### 5.2.7. Утврђивање компресибилности земљишта

Стишљивост (компресибилност) тла зависи од времена и врсте тла и одређена је у уређају који се зове Едометар. Поменути уређај за испитивање има прстен пречника  $d=70$  mm и висине  $h=20$  mm, у који је постављен узорак. На узорак се делује вертикалним силама интензитета 100, 200 и 400 [kN/m<sup>2</sup>], преко чврстог поклопца постављеног на филтерским плочама. Порозна плоча је постављена испод узорка, што омогућава његову дренажу. Мери се почетна висина узорка, као и свака друга висина после деловања силе. Повећањем интензитета силе узорак се консолидује (стиска).

Свако ново оптерећење се примењује након 24 h. Након што је разлика два читавања у 24 h (за једно оптерећење), мања од 0,02 mm одређујемо стишљивост земљишта. Вредност модула компресибилности је одређена формулом:

$$Mn = \frac{\Delta\sigma}{\frac{\Delta h}{h}} \left[ \frac{kN}{m^2} \right] \quad (6)$$

$Mn$  - модул компресибилности

$\Delta\sigma$  - релативно оптерећење [kN/m<sup>2</sup>]

$\Delta h / h$  - релативна компресија

### 5.2.8. Одређивање водопрпусности земљишта

Пропустљивост земљишта за воду испитана је тестирајући неизмењене узорке у водопрпусном уређају са променљивим притиском. Притисак се подешава хидрауличним уређајем са испустом. Узорак је висине ( $h$ ) 4 cm и пречника ( $d$ ) 10 cm, и постављен је са предње стране уређаја. На уређају се регулише прилив и одлив воде, а читавање нивоа воде у цеви се врши периодично од тренутка када вода почне да тече из узорка, минимум четири сата. Из добијених резултата израчунали смо коефицијент филтрације и то следећим изразом:

$$k_f = \frac{F_d \times h}{F_D \times \Delta t} 2,3 \log \frac{H_1}{H_2} \quad (7)$$

где је:

$F_D$  - површина узорка [cm<sup>2</sup>]

$h$  - висина узорка [cm]

$F_d$  - површина цеви [cm<sup>2</sup>]

$H_1 - H_2$  - висина воде у цеви приликом читавања [cm]

$\Delta t$  - време читавања [s]

Коефицијент филтрације суштински показује брзину кретања воде кроз земљиште и никада није константан за одређену врсту земљишта, већ се разликује по узорцима у односу на њихове карактеристике. Вредности се изражавају у m/s.

### 5.3. Физичко-хемијска анализа површинског узорка

Физичко-хемијска анализа површинског узорка (УП) подразумевала је одређивање следећих параметара:

- Садржај влаге
- Садржај суве материје
- рН вредност (водени раствор)
- рН вредност (1М КСl раствор)
- Садржај органског угљеника
- Садржај хумуса
- Садржај лако приступачног фосфора (као P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)
- Садржај лако приступачног калијума (као K<sub>2</sub>O)

#### 5.3.1. Одређивање садржаја влаге и суве материје у узорку

Садржај влаге и садржај суве материје у површинском узорку земљишта одређени су гравиметријском методом према SRPS ISO 11465:2002, а резултати су приказани процентуално. Метода се заснива на простом мерењу масе воде по маси сувог земљишта, односно мерењем влажног узорка који се затим суши, како би изгубио влагу, а онда се узорак поново мери [94, 95].



### 5.3.2. Одређивање рН вредности узорка

У узорку је одређена рН вредност у воденом раствору и рН у 1N KCl - а. Вредности су добијене експерименталном методом, помоћу стаклене електроде, претходно очишћене и калибрисане. Метода је дефинисана стандардом SRPS ISO 10390:2022 [95].

### 5.3.3. Одређивање садржаја органског угљеника и садржаја хумуса

Садржај органског угљеника (C) и садржај хумуса у узорку одређени су елементарном методом по Тјурину, а резултати су приказани процентуално (m/m). За наведену анализу неопходно је извршити оксидацију узорка са 0,4 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, уз присуство индикатора фенилантранила. Резултати се даље добијају пратећи израз: 1ml N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> искоришћеног за оксидацију, једнак је 0,0003 g угљеника. Процент хумуса се израчунава [96]:

$$\% \text{ хумуса} = 1,724 \times \% \text{ C}$$

### 5.3.4. Одређивање садржаја P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O

Вредност фосфора у облику P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и вредност калијума у облику K<sub>2</sub>O, добијене су Al методом, а изражене су у mg/100 g узорка. Садржај фосфора и калијума одређен је након третирања узорка алуминијумским раствором, затим се фосфор одређују спектрометријски а калијум пламенофотометријски. Al метода је заступљена од 1958. године, када су је поставили Egner и Riehna [97].

## 5.4. Садржај механичких фракција површинског узорка земљишта

Одређивање механичких фракција површинског узорка добијено је стандардном методом просејавања кроз сет сита, различитих пречника пора, на

основу којих су одвојене фракције узорка у односу на величину зрна. Просејавањем су одређене следеће компоненте:

- крупан песак
- ситан песак

Пах и глина се одређују седиментацијом. Поступак је уобичајен, изводи се у седиментационом цилиндру у који се стави суспензија тла заостала после просејавања, и допуни се 1000 ml дестиловане воде. Цилиндар се затвори и промућка, а затим се одложи на равну подлогу и отвори да се честице сталожу. Таложје се одвија по систему крупније честице се таложе брже, ситније спорије. Седиментација омогућава раздвајање на:

- крупан прах
- ситан прах
- глина

Текстурна класификација изорка је даље спроведена помоћу USDA класификације [95].

Узорку је одређена и хигроскопска влага, која представља влагу узорка апсорбовану из ваздуха. Загревањем, хигроскопна влага се ослобађа из земљишта. Карактеристична је за сва синтерозна земљишта, нарочито за глине и зависна је од влажноси ваздуха [98]. Одређена је сушењем на 105°C, 6 - 8 сати.

## 5.5. Рендгено дифрактометријска анализа (XRD)

Рендгенска дифрактометријска анализа је аналитичка метода којом се брзо и прецизно добијају информације о фазама кристалног материјала. Анализа се заснива на усмеравању монохроматског рендгенског зрачења на узорак, при чему долази до узајамног деловања између зрака и узорка. Интерферација се дешава када се задовољи услов  $n\lambda = 2d \sin\theta$ , којим се дефинише однос таласне дужине зрачења  $\lambda$  са размаком кристалне решетке у узорку  $d$  и углом дифракције  $\theta$ . Дифрактирани рендгенски зраци се детектују и боје. Кроз опсег углова  $2\theta$  се добијају сви правци дифракције решетке, док конверзија пикова у  $d$  размацима омогућава прецизну идентификацију минерала (сваки минерал има јединствени скуп  $d$  размака) [99].

У раду су приказани резултати XRD анализе површинског узорка. Узорак је уситњен до величине честица  $< 1 \text{ mm}$ , рендгенски сноп зрака ротира за угао  $2\theta$  од  $6^\circ$  до  $74^\circ$ , за корак од  $0,02^\circ$  и временом  $2 \text{ s}$ .

## 5.6. Израчунавања евапотранспирације и процедурне воде

За прорачун воденог биланса, било ког подручја, израчунавање евапотранспирације је неизоставан корак [100]. За санитарну депонију „Савина Стена“ израчуната је евапотранспирација *Thornthwaite* (1948) методом [58]:

$$ET_o = ET_x \times \frac{DT}{360}, \quad (8)$$

где је  $ET_o$  потенцијалана евапотранспирација и  $ET_x$  коригована потенцијална евапотранспирација [58].

$$ET_x = 16 \times \left[ \frac{10 \times T_i}{J} \right]^a, \quad (9)$$

$T_i$  је средња месечна температура ваздуха,  $J$  означава годишњи индекс топлоте док  $a$  представља коефицијент површинског протока.

Годишњи индекс топлоте ( $J$ ) се даље изражава формулом која представља суму месечног индекса топлоте  $J_i$ :

$$J = \sum_{i=1}^{12} J_i \quad (10)$$

Месечни индекс топлоте ( $J_i$ ) се израчунава:

$$J_i = 0,09 \times \sqrt{T_i^3}; \quad (11)$$

Коефицијент површинског протока  $a$  добија се кроз израз:

$$a = 0,016J + 0,5; \quad (12)$$

и  $\frac{DT}{360}$  као вредност производа  $0,1217 \times P$ , у коме је  $P$  средња вредност дневне осветљености, за латитуду  $42^\circ$ , за „Савину Стену“ (Табела 4) [58].

Табела 4. Средња вредност дневне осветљености за латитуду  $42^\circ$  у  $15 \text{ h}$  ( $P$ ) [58]

Месец	Јан.	Феб.	Мар.	Апр.	Мај	Јун	Јул	Авг.	Сеп.	Окт.	Нов.	Дец.
$P$	9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0

За израчунавање евапотранспирације потребна је доступност метеоролошких података. Север Косова и Метохије нема метеоролошку станицу, па су сви подаци потребни за прорачун преузети са FAO AQUASTAT Climate Information Tool [101]. Како би добили веродостојне податке за испитивано подручје, у програм су унете координате општине Звечан. Подаци коришћени за израчунавање евапотранспирације приказани су у табели 5. Евапотранспирација је израчуната за 31 годину, односно за период од 1990. до 2020. [58].

Табела 5. Метеоролошки подаци за период 1990-2020 [58]

Просечне вредности метеоролошких података за период 1990-2020				
Месец	Падавине	Тем. мин.	Тем. макс.	Тем. сред.
	mm/m	°C	°C	°C
Јануар	48,54839	-5,16452	3,419355	-0,87419
Фебруар	48,77419	-3,95806	5,077419	0,554839
Март	65,70968	-1,04839	9,025806	3,983871
Април	74,06452	2,974194	13,81613	8,393548
Мај	80,00	7,632258	18,63871	13,12903
Јун	66,93548	11,54516	22,91935	17,23548
Јул	53,22581	13,67097	25,55161	19,60968
Август	43,70968	13,99032	26,05484	20,02258
Септембар	50,45161	9,867742	20,92258	15,3871
Октобар	48,87097	5,464516	15,77097	10,62581
Новембар	51,96774	0,912903	9,758065	5,33871
Децембар	62,6129	-3,42581	4,26129	0,422581
Укупно	694,871			

Након израчунавања вредности евапотранспирације за период 1990-2020 године, израчуната је и евапотранспирација за период од 2020-2039 године. Подаци за овај прорачун преузети су са Climate Change Knowlwdge Portal, који пружа могућност преузимања предвиђених метеоролошких података за наведен период. Climate Change Knowlwdge Portal користи као референтне године, период од 1995. године до 2014. године (Табела 6) [102].

Табела 6. Пројектовани метеоролошки подаци за период 2020-2039 [102]

Пројектовани метеоролошки подаци за период 2020-2039				
Месеци	Падавине	Тем. мин.	Тем. макс.	Тем. сред.
	mm/m	°C	°C	°C
Јануар	56,67	-2,4	4,19	0,86
Фебруар	54,5	-1,3	6,47	2,52
Март	65,17	2,2	11,9	7,04
Април	80,75	6,9	17,38	12,09
Мај	89,57	11,5	22,43	17,03
Јун	84,96	15,3	26,41	20,81
Јул	61,65	17,1	29,03	23,03
Август	52,23	17,0	28,94	22,97
Септембар	53,08	13,0	24,5	18,73
Октобар	52,83	8,1	18,44	13,32
Новембар	62,58	3,2	11,2	7,22
Децембар	67,83	-1,0	5,21	2,14
Укупно	781,82			

### 5.6.1. Израчунавање количине процедне воде

Количина процедне воде ( $L$ ) која ће се производити у санитарној депонији „Савина Стена“, за оба наведена периода, израчуната је једначином хидролошког биланса:

$$L = P - R - E, \quad (13)$$

где је:  $P$  количина падавина,  $R$  коефицијент површинског отицања и  $E$  евапотранспирација [58].

Добијени резултати јасно ће указати на евентуални утицај климатских фактора на квантитет процедне воде санитарне депоније „Савина Стена“. Израчунате количине процедне воде нису обухватиле воду коју отпад садржи, као

ни воду која настаје биолошком деградацијом отпада, зато што испитујемо искључиво утицај климе на њихово генерисање.

### 5.7. HYDRUS - 1D Софтверски пакет за симулацију једнодимензионалног кретања воде

Употреба софтверског пакета HYDRUS омогућила је да предвидимо кретање процедурне воде кроз земљиште, односно одредимо дубину њеног продирања, услед потенцијалног оштећења заштитне подлоге, за одређени временски период.

На основу добијених експерименталних резултата, проток воде је посматран кроз иловачу, песковиту иловачу и муљевиту иловачу, односно број материјала у узорку је три. Параметре карактеристичне за сва три материјала програм сам подешава, довољно је извршити одабир. У табели 7 су представљени хидраулички параметри иловаче, песковите иловаче и муљевите иловаче, и то:

- $Q_r$  - садржај преостале воде у  $cm^3$
- $Q_s$  - садржај засићене воде у  $cm^3$
- $\alpha$  - параметар хидрауличког облика  $a$  у  $1/cm$
- $n$  - бездимензионални хидраулички параметар
- $K_s$  - засићена хидрауличка проводљивост у  $cm/h$
- $I$  - Муалемов експонент (подразумевана вредност 0,5)

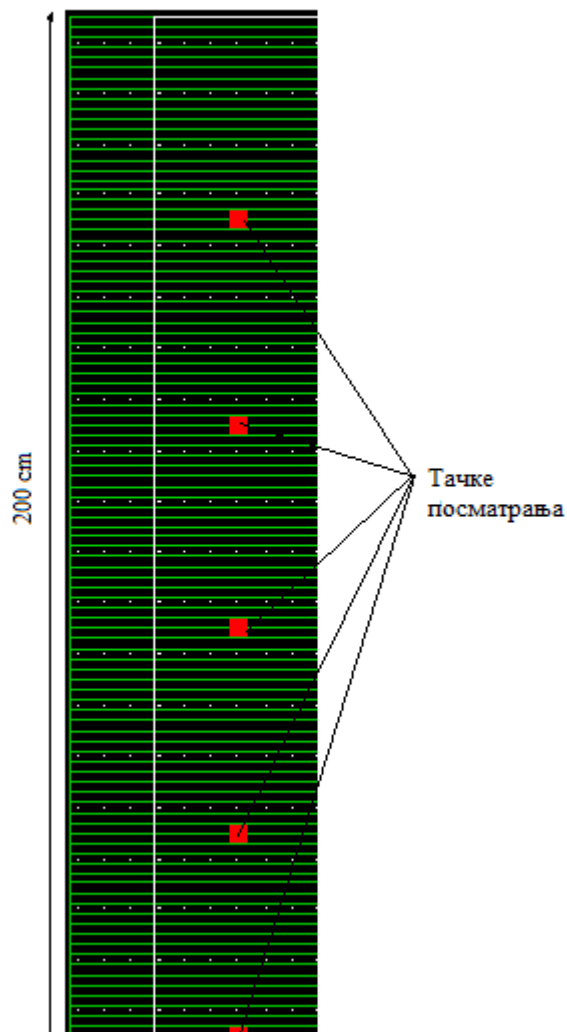
Табела 7. Хидраулички параметри земљишта

Материјал	$Q_r$ [-]	$Q_s$ [-]	$\alpha$ [1/cm]	$n$ [-]	$K_s$ [cm/hour]	$I$ [-]
1	0,078	0,43	0,036	1,56	1,04	0,5
2	0,065	0,41	0,075	1,89	4,42	0,5
3	0,067	0,45	0,02	1,41	0,45	0,5

Испитивана дубина земљишта кроз које се симулира проток воде је 200 cm, а време за које се мери проток 24 h. Број штампања резултата је подешен на 6, док је време штампања резултата по сатима 4, 8, 12, 16, 20 и 24. Одабран хидраулички модел је *Van Genuchten - Mualem*. Горњи гранични услов протока воде постављен је на Constant Pressure Head, односно матрични потенцијал земљишта који одговара

притиску од 100 cm, док је доња граница протока подешена на Free Drainage (слободна дренажа).

У графичком домену је са унетим параметрима приказан профил земљишта дубине 200 cm, где је сваки елеменат има величину 1 cm [103]. Висина притиска профила подешена је на 1cm а чворови за праћење протока воде су уцртани на 40, 80, 120, 160 и 200 cm (Слика 11).



Слика 11. Тачке посматрања кретања воде у графичком домену

## **6. СТРАТЕШКИ ПРИСТУП ОДАБИРУ И ТЕХНОЛОШКОМ ДИЗАЈНУ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ ПРОЦЕДНЕ ВОДЕ**

Одабир адекватног система за прераду процедурних вода зависи од више фактора, попут: ефикасности, аутоматизације, могућност оптимизације процеса, квалитета процедурних вода на основу реципијента, трошкова улагања и рада, простора који постројење заузима и др. У сличају санитарне депоније „Савина стена“, методом мултикритеријумске анализе Visual PROMETHEE, поређене су две алтернативе: SBR (Sequence Batch Reactors/Секвенционални шаржерни реактори) и MBR (Membrane Bioreactors/Мембрански биореактори), које су савремене, ефикасне и економичне.

Третманом процедурних вода наведеним технолошким системима постиже се уклањање БПК до 95% [104], ХПК до 94% [105], фосфора и нитрата 91%, односно 98% [106]. Овакве перформансе модерних, технолошких постројења омогућавају испуштање прерађене процедурне воде директно у реципијент, што је у нашем случају река Ибар.

Према законодавству Републике Србије, пре испуштања у реципијент, пречишћена процедурна вода мора да задовољи граничне вредности за класу воде којој реципијент припада. Ибар припада II класи вода [107], што условљава да пречишћена процедурна вода мора да задовољи граничне вредности за воду друге класе (Табела 8) [108].



Табела 8: Граничне вредности загађујућих материја за II класу површинских вода [108]

Параметар	Гранична вредност	Јединица мере
pH	6,5 – 8,5	
БПК	5	mg/l
ХПК	10	mg/l
Суспендоване материје	25	mg/l
Нитрати	3	mg/l
Фосфор	0,20	mg/l
Хлориди	100	mg/l

Процедне воде комуналних депонија увек имају повишене вредности БПК, ХПК, N, S, P, хлората и тешких метала (Табела 1), те закључујемо да ће се технолошким процесом пречишћавања процедурне воде депоније „Савина Стена“ третирати поменути параметри.

Како би смо добили најбоље резултате по питању ефикасности и економичности, одабрано постројење мора бити прецизно дизајнирано да задовољи потребе које диктирају услови на терену.

### **6.1. Рангирање постројења за прераду процедурне воде Visual PROMETHEE Academic методом**

Visual PROMETHEE мултикритеријумском анализом извршено је рангирање две претходно одабране алтернативе постројења за пречишћавање процедурних вода. SBR и MBR системи за прераду процедурних вода су савремена постројења, изузетних перформанси. Висока ефикасност постројења, ситуација на терену и економичност, иницирали су да се одлучује између два наведена технолошка система.

SBR је постројење засновано на секвенционалним шаржним реакторима. SBR систем има мноштво предности у односу на друге, од којих су најважније: једноставност монтаже, заузимање релативно мале површине на локацији (може се проширивати уколико постоји потреба), подржавање нитрификације и денитрификације и већа ефикасност у односу на друге. SBR технологија има степен

ефикасности чак до 99% [109]. Постројењем у потпуности може управљати софтвер, те се сматра да је аутоматизовано 100%. Укупна цена постројења варира у зависности од потребног капацитета, али се процењује да је она 1,7 €/m<sup>3</sup> отпадне воде [110]. Површина која је неопходна за изградњу постројења, мања је у односу на конвенционална постројења за око 20%.

MBR технолошки систем карактеришу мембранско биолошки реактори. Ефикасност постројења је око 96%. Могућност аутоматизације је веома висока, око 95%. Постројењем руководи софтвер, али су зачепљења и оштећења мембрана честа појава, те то изискује већи ангажман човека. Површина коју изградња система захтева је за око 33% мања у односу на друга постројења, док је цена 2,1 €/m<sup>3</sup> процедурне воде [111].

Рангирање алтернатива је засновано на четири критеријума који су од највећег значаја, и то: ефикасност постројења, могућност аутоматизације процеса, површина коју постројење заузима у односу на друга и цена постројења (цена изградње и процеса рада).

Критеријумима се задају тежински фактори (Weight) који се могу одредити на основу: анкете, анализе осетљивости, мишљења експерта или аутора рада. У овом случају су тежински фактори одређени од стране аутора, и то на следећи начин: ефикасност 39,24, аутоматизација 15,80, површина коју постројење заузима у односу на друге 19,62 и цена изградње и функционисања постројења 34,28. Ефикасност је са аспекта заштите животне средине критеријум који је најзначајнији, док је са аспекта економичности цена означена као веома важна.

## 6.2. Дизајнирање SBR система

Како би се постигла максимална ефикасност постројења за пречишћавање процедурне воде, неопходно је прорачунати потребне димензије кључних елемената SBR система. Димензије реактора, капацитет система за аерацију и запремина резервоара за муљ израчунате су према моделу који је поставило „Удружење за канализациону технику, Немачка“ (ATV-Abwassertechnische Vereinigung) [112].

Неопходни подаци коришћени у прорачуну су:

- количина дневне производње процедурне воде,  $Q_d = 63,12 \text{ m}^3/\text{d}$

- дневно органско оптерећење,  $BPK_5$  13000 mg/l, односно 820 kg/d
- запреминско оптерећење,  $B_v$  0,40kg  $BPK_5/d$  m<sup>3</sup>
- оптерећење масе муља,  $B_{SM}$  0,15kg  $BPK_5/kgSMd$  ( $SM = MLSS$ )
- концентрација муља у реактору,  $SM$  2,7 kg/m<sup>3</sup>
- суспендоване честице,  $SS$  1200 mg/l
- температура,  $T=20^\circ C$

Како санитарна депонија „СавинаСтена“ још увек није активна, подаци за димензионисање постројења преузети су из општине Пећ, у којој су количина и састав генерисаног комуналног отпада веома слични као у четири општине са севера Косова и Метохије [113].

Запремина реактора израчуната је по формули:

$$B_{SM} = \frac{BPK_5 \left[ \frac{kg}{d} \right]}{SM \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \times V \left[ m^3 \right]} \left[ \frac{kg BPK_5}{d \times kg SM} \right] \quad (14)$$

Димензије реактора добијене су на основу израза:

$$L = \frac{V}{W \times H} \text{ [m]} \quad (15)$$

Количина потребног ваздуха добијена је изразом:

$$Q_{t/vaz} = \frac{OC}{gO \times \rho} \quad (16)$$

- $OC$  потребна количина кисеоника
- $gO$ , масени удео кисеоника (23,2%)
- $\rho$ , густина ваздуха на  $20^\circ C$  (1,205 kg/m<sup>3</sup>)

Потребна количина кисеоника за аерацију ( $OC$ ) израчуната је по једначини која представља производ специфичног уноса кисеоника и дневног органског оптерећења, где је:

- специфичан унос кисеоника 2,5 kgO<sub>2</sub>/kgBPK<sub>5</sub>
- дневно органско оптерећење 820 kgBPK<sub>5</sub>/d

Количина ваздуха на сат добијена је на основу времена аерације по дану, након чега се добијена вредност множи сигурносним фактором 2.

$$Q'_{vaz} = \frac{Q_{t/vaz}}{20,5h/d} \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (17)$$

Дневна производња муља ( $P_x$ ) израчуната је по формули:

$$P_x = Y_{het} \times \left( \frac{BPK_{5ulaz} - BPK_{5izlaz}}{RSS} \right) \times Q_d \quad (18)$$

где је:

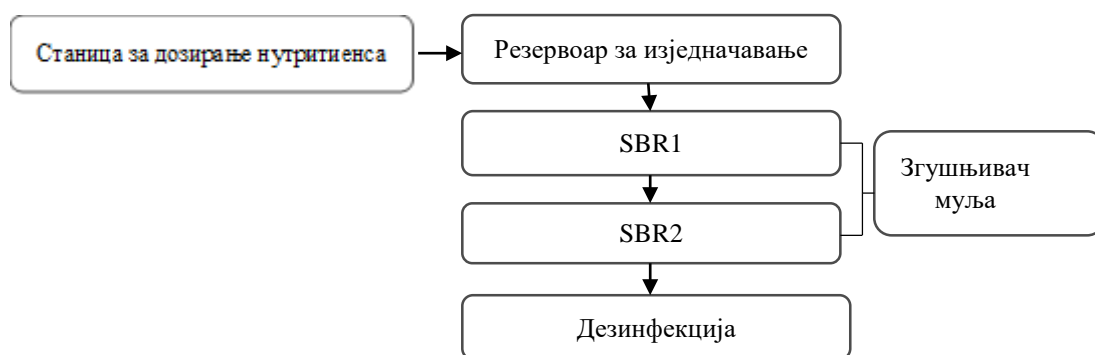
$Y_{het} = 0,65$  l/дан, стехијометријски параметар,

$RSS = 0,8$ , органски удео активног муља и

$BPK_5$  - петодневна биолошка потрошња кисеоника (mg/l)

### 6.3. Поступак третирања процедурне воде по фазама

Функционисање SBR технолошког постројења је једноставно и јасно [114]. Процедне воде се дренажним системом доводе до резервоара за изједначавање, где се додаје одговарајућа количина хранљивих материја, које подстичу биолошке процесе у реакторима. Из резервоара за изједначавање, вода се пумпа у SBR1 у ком се биолошка разградња, односно нитрификација и денитрификација стимулишу аераторима и мешалицом. Из SBR1 реактора, вода се кроз потопљени отвор доводи у SBR2, где се ови процеси настављају. Затим се воде одводе у постројење за дезинфекцију, док се муљ из оба реактора одводи у згушњивач муља (Слика 12).



Слика 12. Шематски приказ SBR система са шаржним реакторима

Рад SBR система се развија кроз пет фаза, и то: пуњење, реаговање, таложјење, декантовање и мировање.

Пуњење је прва фаза, и односи се на пуњење реактора процедурном водом из дренажног система од 75% до 100%. SBR1 и SBR2 се пуне 1h и у њима ће се, мешањем и аерацијом, креирати три модела пуњења:

- статичко пуњење је први и карактерише га изостанак аерације и мешања. Прихватљиво је када нису неопходне нитрификација и денитрификација и уједно омогућава уштеду енергије.
- други сценарио је мешовито пуњење. Овај сценарио омогућава пуњење уз рад мешалице али не и аератора, при чему стварамо анаеробне услове идеалне за денитрификацију. Денитрификацијом се ослобађа фосфор (P), који се каснијим успостављањем аеробних услова поново апсорбује.
- аерационо пуњење је трећи сценарио и подразумева истовремену активност аератора и мешалице. Користи се када је неопходно анаеробне услове превести у аеробне. Услови за нитрификацију су тако задовољени, а уколико је потребна денитрификација, потребно је искључити аераторе. Код овог сценарија је, како би се осигурало јављање анаеробне фазе у мировању, неопходно пратити ниво кисеоника, и он не сме бити већи од 0,2 mg/l.

Нитрификација у првом реактору се дешава за време од 14 h, док је у другом то време знатно краће и износи 4,5 h. Денитрификација у првом реактору се заврши за 5,5 h, док је за други реактор потребно 2 h.

Реаговање је друга фаза прераде процедурних вода у којој се делује на параметре које треба анулирати. За разлику од фазе пуњења овде нетретирана процедурна вода не улази у систем али су аератори и мешалице активни. Додатно богаћење органским материјама изостаје па је процес органског уклањања веома ефикасан и брз. У фази реаговања се уклања БПК, мешање доводи до нитрификације а преузима се и P ослобођен у денитрификацији.

Трећа фаза је таложење и подразумева таложење активног муља у условима мировања. Процес таложења у SBR1 и у SBR2 траје 2 h, не карактеришу га проток, мешање и аерација, те се муљ таложи као флокулантна маса, на дну реактора. Муљ се пумпама уклања из реактора и одводи се у постројење за згушњавање муља. Процес одвођења муља у оба реактора траје 1,5 h, док је процес згушњавања муља ограничен на 2 дана. Уколико траје дуже од 3 дана, развијају се анаеробни организми.

Декантовање је четврта фаза у којој се уклања бистри супернатант. Када се таложење заврши, отварају се вентили декантера кроз које улази ефлуент. Декантирањем се мора избећи улазак чврстих материја и пене у исти.

Пета фаза је фаза мировања. У овој фази се испумпава муљ наталожен на дно оба реактора.

## 7. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Сви резултати до којих смо дошли експерименталним и емпириским путем приказани су овом поглављу. Такође, приказани су и резултати симулације кретања воде кроз профил земљишта (HYDRUS-1D), као и резултати мултикритеријумске анализе о коначном рангирању технолошког постројења за прераду процедурне воде (Visual PROMETHEE Academic). Предложене су и димензије технолошког система за пречишћавање процедурних вода на санитарној депонији „Савина Стена“.

### 7.1. Садржај влаге

Садржај влаге у дубинским узорцима У1 (1,20-1,60 m), У2 (1,40-1,80 m) и У3 (1,50-1,90 m) приказани су у табели 9.

Табела 9. Садржај влаге у земљишту

Бр.	Узорак	Маса мокрог узорка [gr]	Маса сувог узорка [gr]	Маса посуде [gr]	Садржај влаге (%)
1.	У1 1,20-1,60	611,3	509,2	89,85	19,58
2.	У2 1,40-1,80	610,0	503,0	89,85	20,58
3.	У3 1,50-1,90	613,2	497,6	89,85	22,35

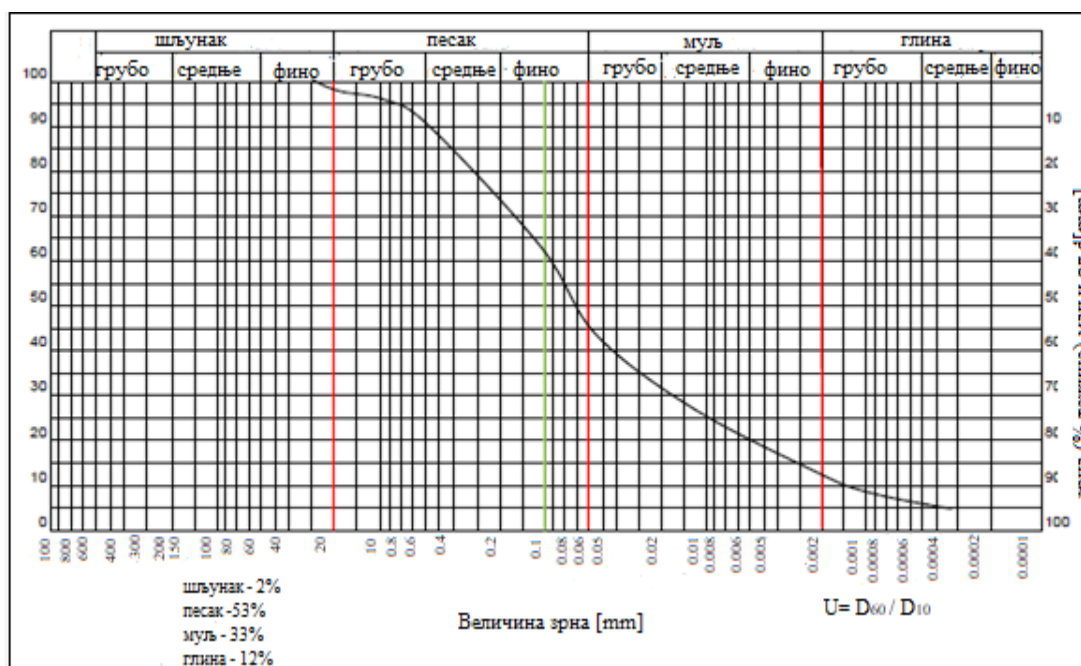
Влага у узорцима је процентуално износила У1-19,58%, У2-20,58% и У3-22,35%. Умерене разлике у садржају влаге у узорцима последица су разлике у текстури тла. Просечна вредност садржаја влаге у иловачи је до 27%, у песковитој иловачи до 21% и у муљевитој иловачи до 30% [115]. Како су узорци класификовани као иловача, песковита иловача и муљевита иловача, може се констатовати да је испитивано земљиште просечне влажности.

## 7.2. Величина честица и класификација тла

Величина честица за дубинске узорке приказана је гранулометријском кривом, док је класификација тла представљена USDA дијаграмима.

### 7.2.1. Величина честица

На сликама 13, 14 и 15 приказана је величина честица за сва три анализирана узорка. За сваки од материјала честице су одвојене на грубе, средње и fine честице. Величина зрна у узорку дата је у mm. На основу расподеле по величини честица у узорцима, одређено је процентуално учешће материјала у земљишту, односно шљунка, песка, муља и глине.

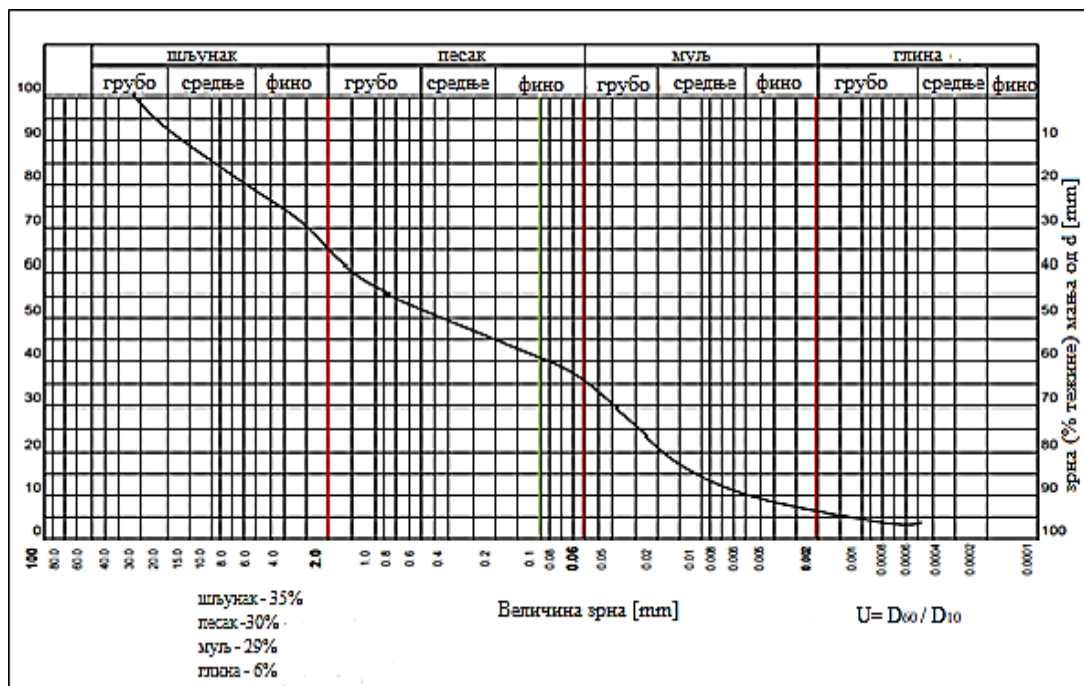


Слика 13. Гранулометријска крива У1 узорка

Процентуална расподела за први узорак је следећа:

- У1-2% крупан песак - шљунак (честице веће од 2 mm), 53% песак (0,05-2 mm), 33% муљ (0,002-0,05 mm) и 12% глина (<math>< 0,002</math> mm).

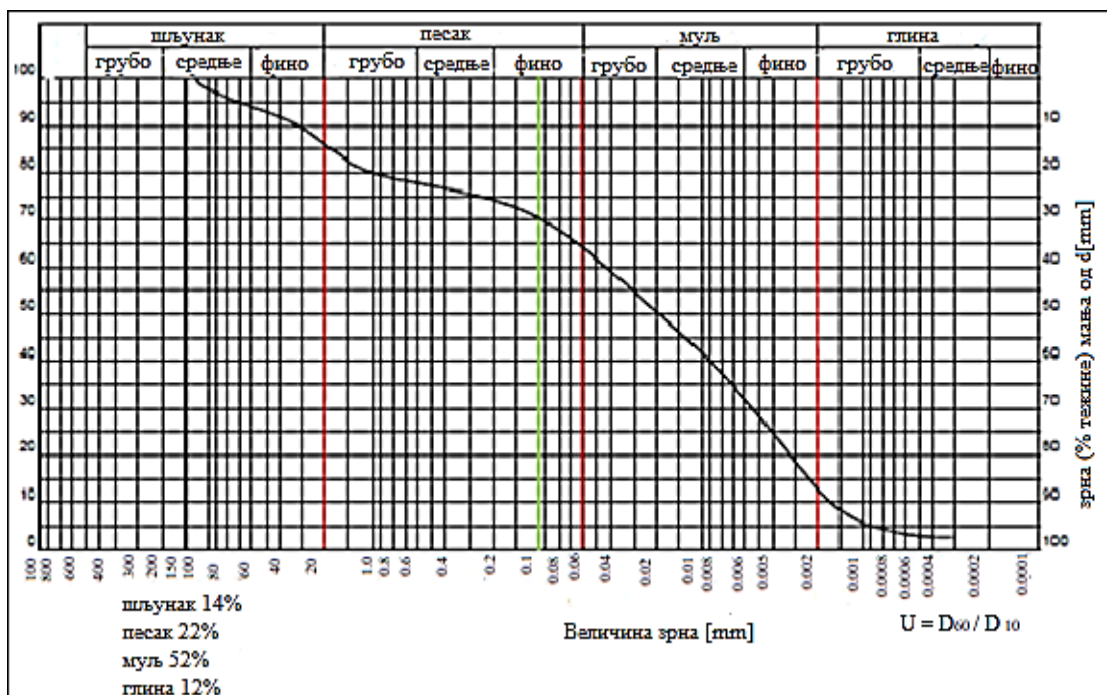




Слика 14. Гранулометријска крива У2 узорка

Гранулометријска крива за други узорак даје следећу процентуалну расподелу материјала:

- У2-35% крупан песак - шљунак (честице веће од 2 mm), 30% песак (0,05-2 mm), 29% муљ (0,002-0,05 mm) и 6% глина (< 0,002 mm).



Слика 15. Гранулометријска крива У3 узорка

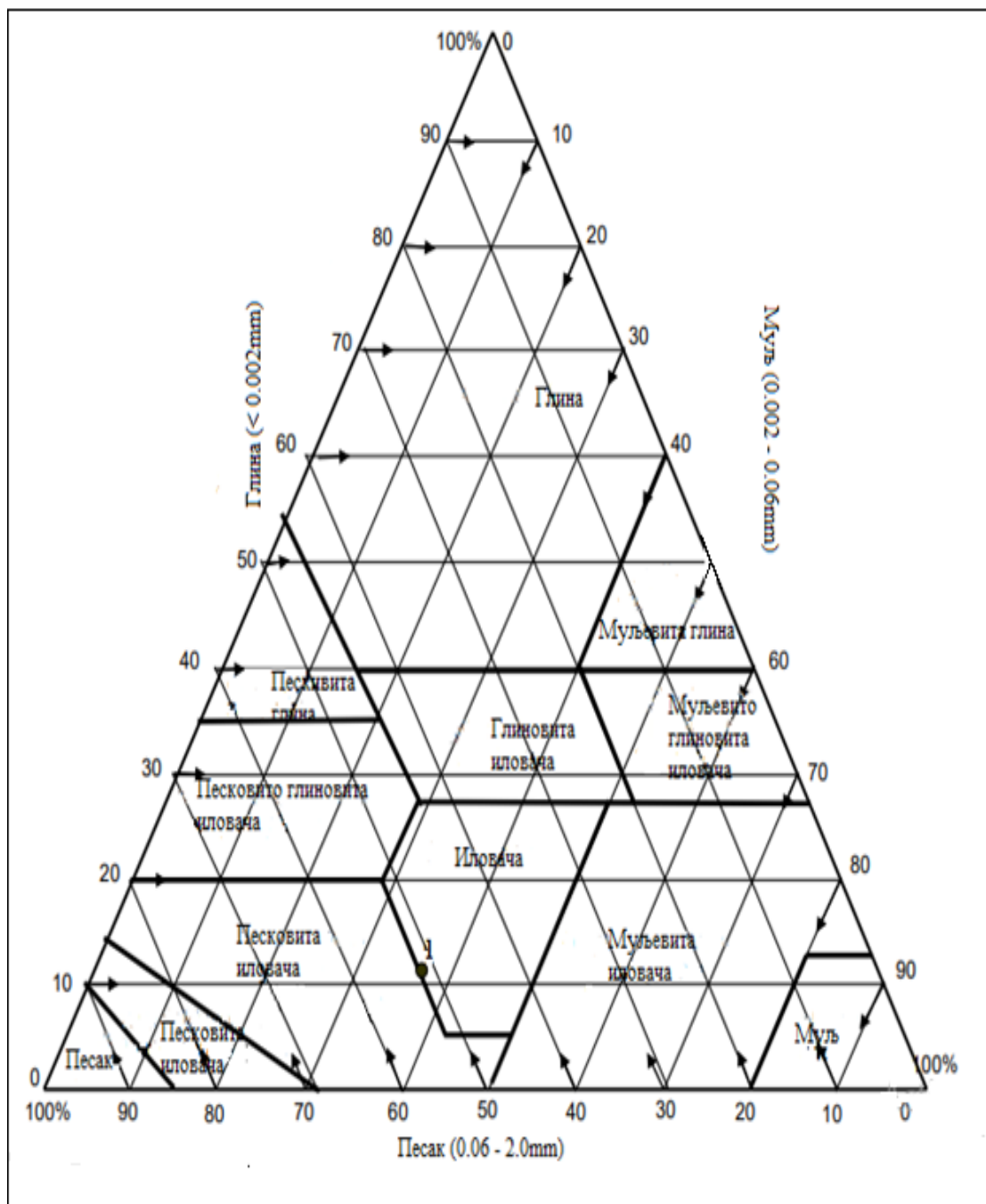
За трећи узорак, расподела материјала на основу величине честица је следећа:

- У3-14% крупан песак - шљунак (честице веће од 2 mm), 22% песак (0,05-2 mm), 52% муљ (0,002-0,05 mm) и глина 12% (< 0,002 mm).

Анализа величине честица узорака показала је у узорку У1 и У2 висок процентуални садржај песка. За први узорак, садржај песка је 55%, док је за други узорак 65%. У3 узорак има најнижи удео песка (36%), што дефинише најбоље карактеристике земљишта у односу на дубину продирања воде. Наиме, кроз земљиште са високим садржајем песка вода може дубље да продре, што је непожељно у случају комуналних депонија, јер је ризик од контаминације подземних вода већи [116].

### **7.2.2. USDA класификација тла**

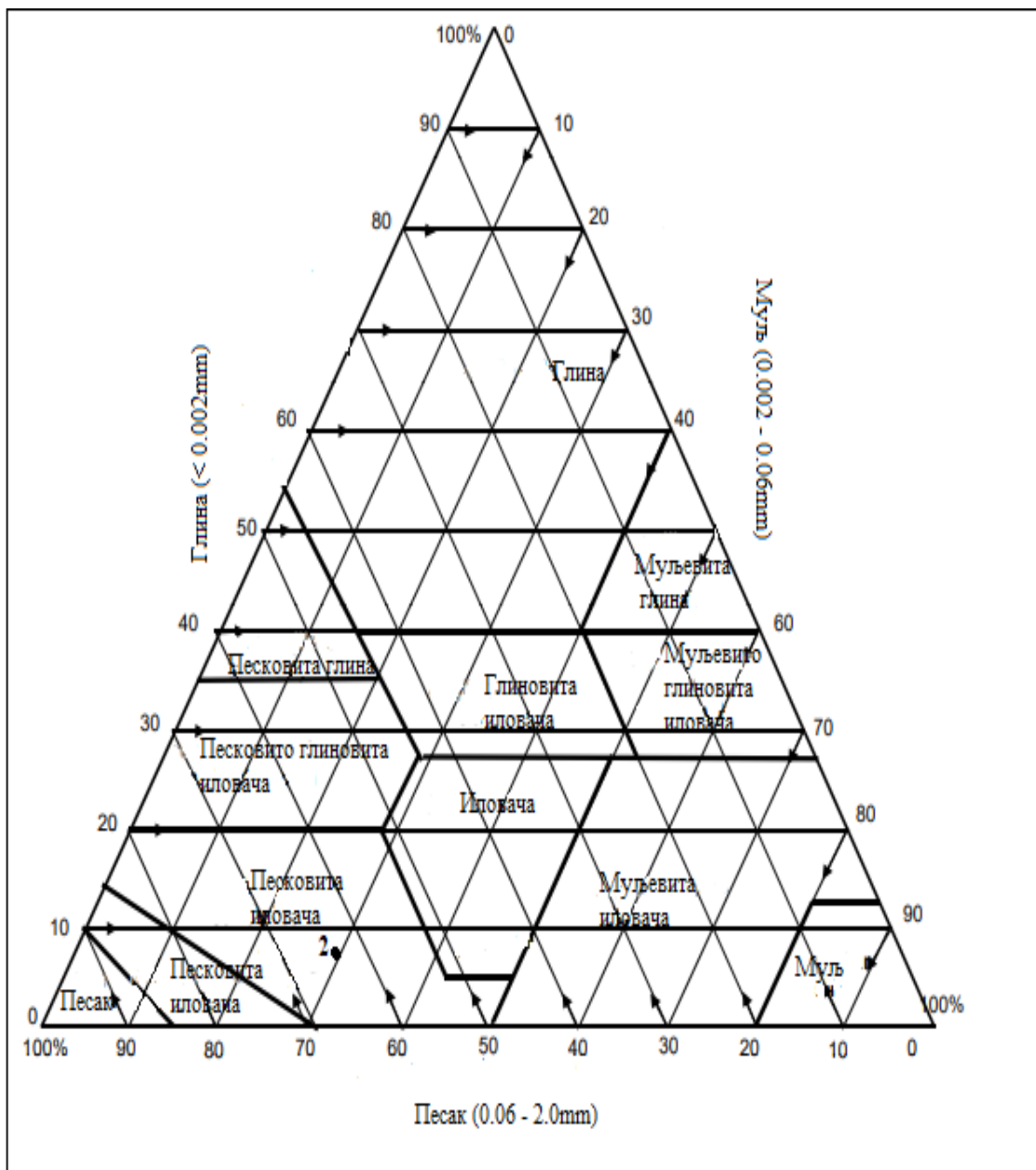
Након одређивања величине честица, урађена је класификација земљишта, према USDA систему [83], а резултати су приказани на дијаграмима (Слика 16, 17 и 18).



Бр	Узорак	Дубина [m]	Песак %	Муљ %	Глина %	Класификација
1	У1	1,20-1,60	55,0	33,0	12,0	Иловача

Слика 16. USDA дијаграм за У1 узорак

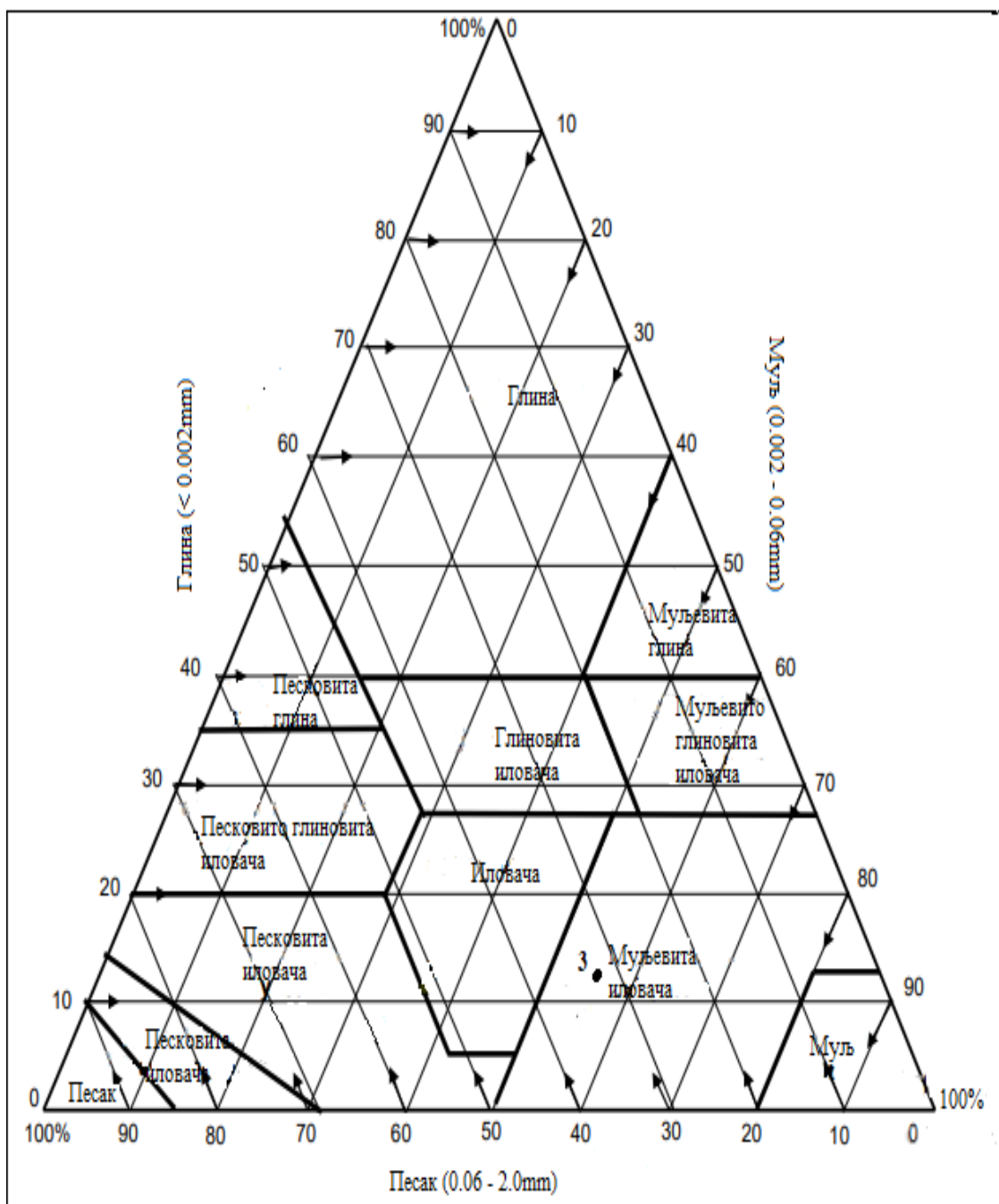
На слици 16 приказан је класификациони дијаграм за У1 узорак, на основу процентуалне расподеле материјала у земљишту. Обзиром на то да у узорку има 55% песка, 33% муља и 12% глине, узорак се класификује као иловача.



Бр	Узорак	Дубина [m]	Песак %	Муљ %	Глина %	Класификација
1	У2	1,40-1,80	65,0	29,0	6,0	Песковита иловача

Слика 17. USDA дијаграм за У2

Слика 17 показује дијаграм У2 узорка, који се са садржајем песка 65%, муља 29% и глине 6%, класификује као песковита иловача.



Бр	Узорак	Дубина [m]	Песак %	Муљ %	Глина %	Класификација
1	У3	1,50-1,90	36,0	52,0	12,0	Муљевита иловача

Слика 18. USDA дијаграм за У3

На слици 18 приказана је класификација земљишта У3 узорка. Узорак садржи 36% песка, 52% муља и 12% глине и спада у муљевиту иловачу.

### 7.3. Специфична густина

Специфична густина земљишта измерена у узорцима У1, У2 и У3 показала је вредности 26,87 kg/m<sup>3</sup>, 24,52 kg/m<sup>3</sup> и 26,15 kg/m<sup>3</sup> (Табела 10).

Табела 10. Специфична густина земљишта

Бр	1.	2.	3.
Узорак	У1 1,20-1,60	У2 1,40-1,80	У3 1,50-1,90
Маса сувог узорка [g]	20	20	20
Маса пикнометра са водом [g]	131,5 132,6	131,5 132,6	132,6 135,0
Маса пикнометра са водом и узорком [g]	151,5 152,6	151,5 152,6	152,6 155,0
Маса узорка + пикнометар+ вода [g]	144,2 145,3	143,5 144,6	145,1 147,5
Запремина узорка [cm <sup>3</sup> ]	7,3 7,3	8 8	7,5 7,5
Специфична густина $\rho_p$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2,69 2,69	2,45 2,45	2,61 2,61
Просечна специфична густина $\rho_p$ [kg/m <sup>3</sup> ]	26,87	24,52	26,15

Специфична густина указује на степен сабијености земљишта, односно, већа вредност специфичне густине значи и већу сабијеност земљишта [117]. За узорак У2 уочава се нешто мања вредност специфичне густине, самим тим и мања могућност сабијања земљишта, што можемо приписати великом садржају песка.

У табели 11 приказане су вредности за порозност земљишта, за сва три дубинска узорка.

Табела 11. Порозност земљишта у процентима

Узорак	У1 (1,20 m-1,60 m)	У2 (1,40 m-1,80 m)	У3 (1,50 m-1,90 m)
Порозност земљишта (%)	47,14	42,81	46,96

Постоје четири класе земљишта у односу на порозност [118]:

1. Врло слабо порозна, порозност мања од 30%
2. Слабо порозна, порозност од 30% - 45%
3. Порозна, порозност од 45% - 60%
4. Врло порозна, порозност већа од 60%.

На основу приказане поделе, земљиште узорка У1 и У3 спада у порозна земљишта, док земљиште узорка У2 спада у слабо порозна земљишта.

#### 7.4. Природна густина

Природна густина земљишта израчуната је за сва три узорка и то за земљиште са непромењеном влагом ( $\rho$ ) и после сушења ( $\rho_t$ ) (Табела 12).

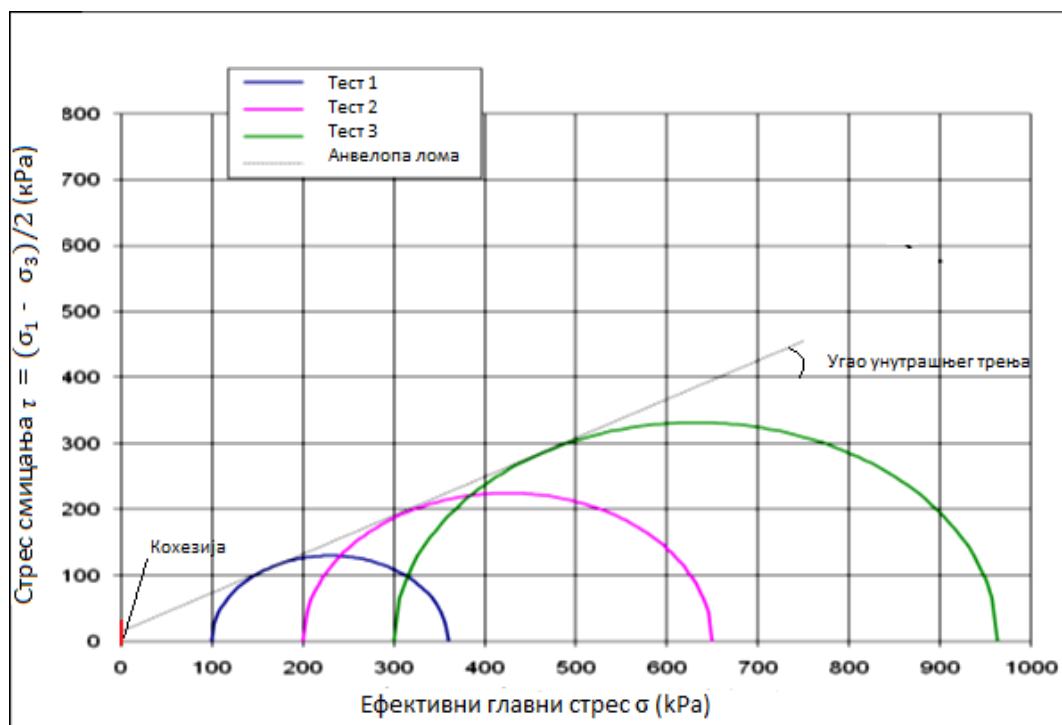
Табела 12. Природна густина земљишта

Бр	1.	2.	3.
Узорак [m]	У1 1,20-1,60	У2 1,40-1,80	У3 1,50-1,90
Маса мокрог узорка [g]	611,3	610,0	613,2
Маса сувог узорка [g]	509,2	503,0	497,6
Маса воде [g]	99,7	103,50	111,2
Запремина цилиндра [cm <sup>3</sup> ]	351,7	351,7	351,7
Природна густина влажног узорка [kg/m <sup>3</sup> ] ( $\rho$ )	17,04	17,01	17,10
Природна густина сувог узорка [kg/m <sup>3</sup> ] ( $\rho_t$ )	14,20	14,02	13,87

Добијени резултати за У1 су: 17,04 kg/m<sup>3</sup>, односно 14,20 kg/m<sup>3</sup>; за У2 узорак: 17,01 kg/m<sup>3</sup> и 14,02 kg/m<sup>3</sup>; за узорак У3: 17,10 kg/m<sup>3</sup> и 13,87 kg/m<sup>3</sup>. Осим разлике након губљења влаге, уочавају се и разлике због класе земљишта. Најмање вредности запреминске густине влажног узорка се бележе у У2 узорку који према класификацији спада у песковиту иловачу, док је највећа разлика запреминске густине у једном узорку, након сушења, измерена у узорку У3 (муљевита иловача). У У3 узорку је након испаравања воде проценат органске материје нешто виши, што резултира нижом природном густином.

### 7.5. Параметри чврстоће

Резултати параметара чврстоће земљишта, добијени тестирањем у троосним УУ уређају, представљени су Мохровим кружницама (Слика 19).



Слика 19. Мохрове кружнице

Кружница је описана од вредности  $\sigma_3$  до  $\sigma_1$ , за сва три поступка. Тачке у којима се кружнице додирују са тангентом су тачке ефективног напрезања, док је сама тангента граница слома. На основу границе слома израчунати су угао



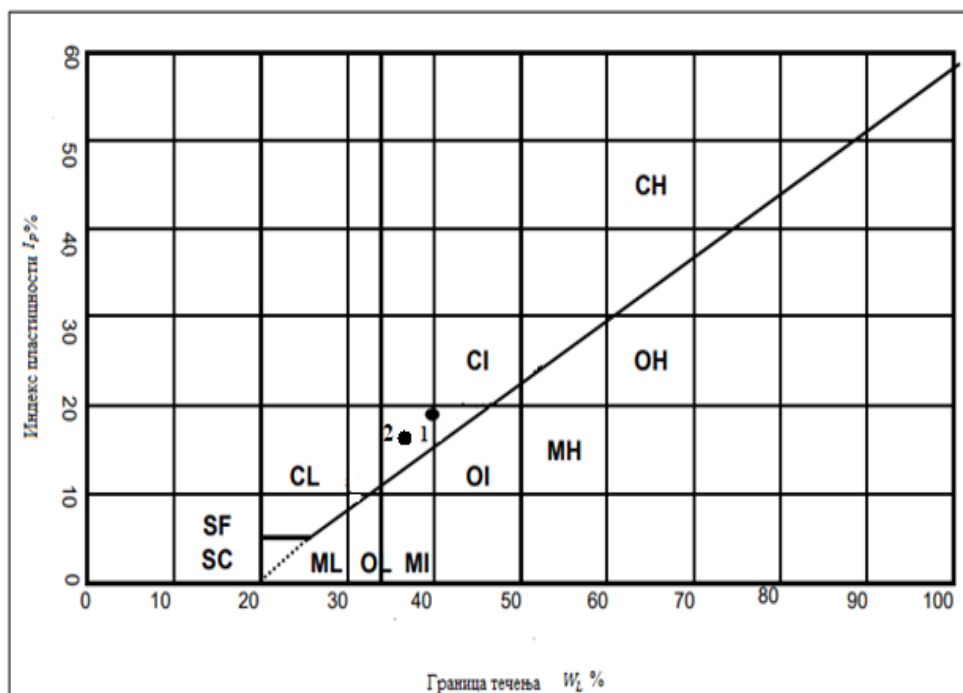
унутрашњег трења и кохезија. Нагиб тангенте је унутрашњи угао трења и има вредност  $\varphi = 30,40^\circ$ , док је исечак на  $\tau$  оси кохезија,  $C = 15,0$  кРа.

Већа вредност кохезије показује да је испитиван материјал чвршћи и отпорнији. Уобичајене вредности кохезије за иловачу, песковиту иловачу и муљевиту иловачу су у опсегу од 10 кРа до 20 кРа док је угао унутрашњег трења од  $28^\circ$  до  $32^\circ$  за иловачу, од  $31^\circ$  до  $34^\circ$  за песковиту иловачу и од  $25^\circ$  до  $32^\circ$  за муљевиту иловачу [119]. Добијени резултати су у оквиру типичних вредности, и потврђују да ће земљиште одговарати намени.

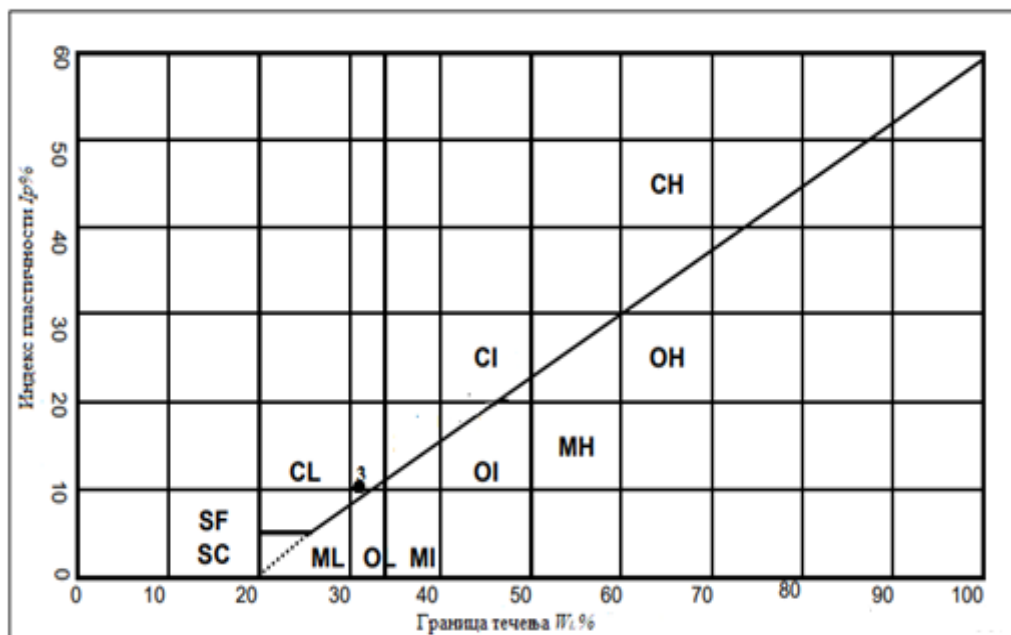
### 7.6. Атербергове границе конзистентности

Границе пластичности утврђиване су за три дубинска узорка и то: У1 (1,20-1,60 m), У2 (1,40-1,80 m) и У3 (1,50-1,90 m).

Резултати су приказани на дијаграмима пластичности (Слика 20).



а)



b)

SC	- глиновити пескови, мешавине песка и глине
SF	- силни пескови, мешавине песка и муља
OL	- органски глине ниске пластичности
OI	- органске глине средње пластичности
OH	- органске глине средње до високе пластичности
MI	- муљевите глине средње пластичности
CL	- неорганске глине ниске пластичности
CI	- неорганске глине средње пластичности
CH	- неорганске глине високе пластичности
MH	- неоргански муљеви
MI	- муљевите глине средње пластичности
ML	- неоргански муљ, веома фини пескови

Слика 20. Дијаграми пластичности за: а) У1 и У2, б) У3

Резултати показани на дијаграмима пластичности одређују припадање У1 и У2 узорка неорганским глинама средње пластичности (CI), трећи узорак (У3) спада у групу неорганских глина ниске пластичности (CL). За неорганске глине ниске пластичности је карактеристична вредност границе протока  $W_L < 35\%$ , док је за неорганске глине средње пластичност вредност  $W_L$ ,  $35\% < W_L < 50\%$  [120]. Обзиром на добијени резултат, испитивано земљиште санитарне депоније „Савина

Стена“ неће драстично мењати своје конзистентно стање при промени садржаја воде.

## 7.7. Модул компресибилности

На основу резултата добијених у едометру, вредности модула компресибилности ( $M_n$ ) на вертикалном читавању, за сва три узорка, приказане су у табели 13:

Табела 13. Модул компресибилности

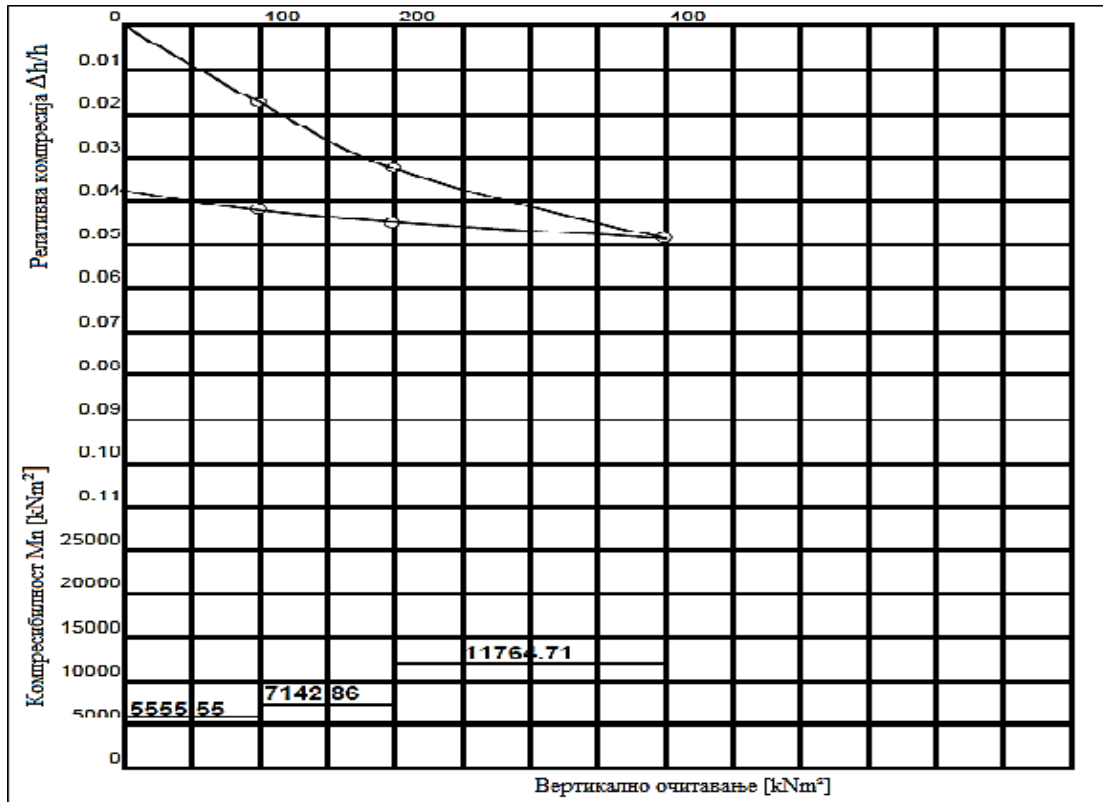
Вредност $M_n$ [кПа]			
$\Delta\sigma$ [кПа]	У1 [кПа]	У2 [кПа]	У3 [кПа]
100	5263,16	5555,55	3508,77
200	6451,61	7142,86	4878,05
400	9756,08	11764,71	6896,55

- за У1 узорак при оптерећењу  $\Delta\sigma = 100$  кПа,  $M_n$  је 5263,16 кПа. При оптерећењу  $\Delta\sigma = 200$  кПа,  $M_n$  износи 6451,61 кПа, док је вредност  $M_n$  за  $\Delta\sigma = 400$  кПа, 9756,08 кПа.
- за У2 узорак за оптерећење  $\Delta\sigma = 100$  кПа,  $M_n$  је 5555,55 кПа, за  $\Delta\sigma = 200$  кПа,  $M_n$  има вредност 7142,86 кПа, и за  $\Delta\sigma = 400$  кПа,  $M_n$  износи 11764,71 кПа.
- за У3 узорак при оптерећењу  $\Delta\sigma = 100$  кПа,  $M_n$  је 3508,77 кПа, за  $\Delta\sigma = 200$  кПа,  $M_n$  има вредност 4878,05 кПа, и за  $\Delta\sigma = 400$  кПа,  $M_n$  износи 6896,55 кПа.

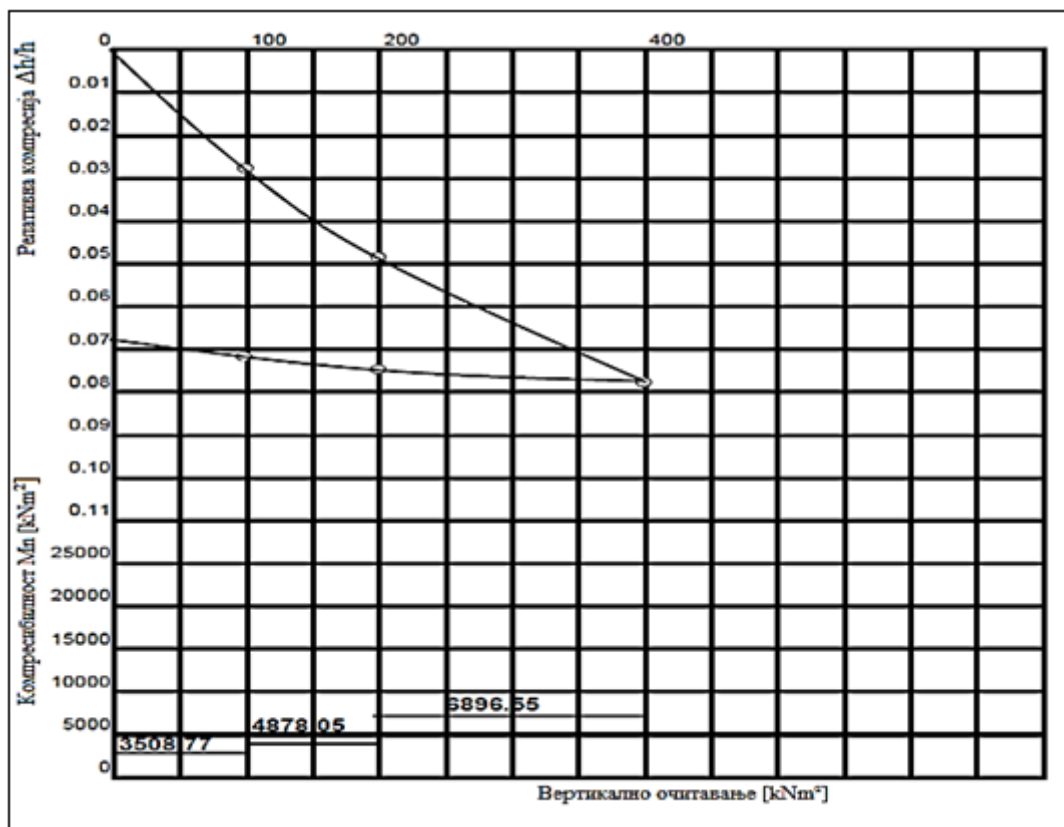
Резултати тестирања приказани су на дијаграму стишљивости, за сваки узорак (Слика 21, 22 и 23). На дијаграму су представљене вредности у  $\text{kN/m}^2$  док су табеларно у кПа, међутим како је  $1 \text{ кПа} = 1 \text{ kN/m}^2$ , вредности се могу изразити кроз обе јединице.



Слика 21. Дијаграм стишљивости за узорак У1



Слика 22. Дијаграм стишљивости за У2



Слика 23. Дијаграм стишљивости за У3

У односу на модул стишљивости важи да земљиште које има мањи модул стишљивости има већу стишљивост [121], што је у нашем случају узорак У3 (муљевита иловача). Највећу стишљивост забележену код У3 оправдава највећи садржај воде у муљевитој иловачи, која се деловањем оптерећења дренира из узорка.

## 7.8. Водопропусност земљишта

Резултати добијени испитивањем водопропусности земљишта приказани су у табели 14, кроз вредности коефицијента филтрације.

Табела 14. Коefицијент филтрације

Број	Узорак	Коefицијент филтрације m/sec
1	У1 / 1,20-1,60 m	$4,10 \times 10^{-9}$
2	У2 / 1,40-1,80 m	$1,69 \times 10^{-9}$
3	У3 / 1,50-1,90 m	$5,82 \times 10^{-9}$

На основу коefицијента филтрације земљиште се класификује на високо пропусно, средње пропусно, ниско пропусно, врло ниско пропусно и практично непропусно (Табела 15) [122].

Табела 15. Класификација земљишта на основу коefицијента филтрације [122]

Коefицијент филтрације	Степен пропустљивости
$> 10^{-3}$	Висок
$10^{-3} - 10^{-5}$	Средњи
$10^{-5} - 10^{-7}$	Низак
$10^{-7} - 10^{-9}$	Врло низак
$< 10^{-9}$	Практично непропустљиво земљиште

Добијени резултати сва три узорка показују да је земљиште на коме је локализована санитарна депонија „Савина стена“ врло ниског степена пропустљивости за воду. Ова карактеристика је од великог значаја зато што условљава мали ризик од контаминације земљишта процедним водама већих размера, за кратак временски период.

### **7.9. Физичко-хемијска анализа површинског узорка земљишта**

Физичко хемијском анализом површинског узорка одређени су важни параметри за земљиште на ком је локализована санитарна депонија „Савина Стена“ (Табела 16).

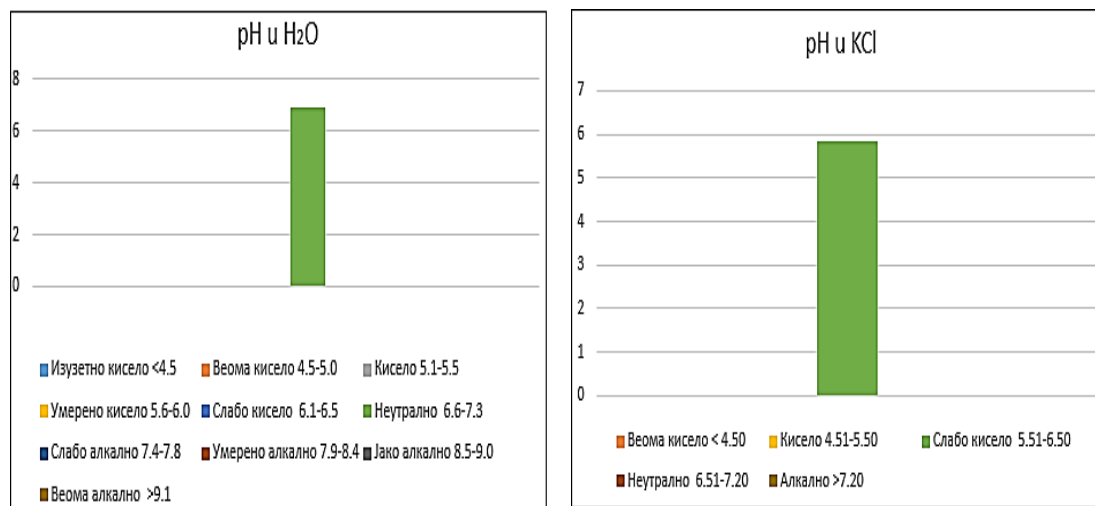
Неки од испитиваних параметара се могу касније користити за компарацију са резултатима добијеним у процесу мониторинга.

Табела 16. Физичко - хемијска анализа површинског узорка земљишта [95]

ФИЗИЧКО - ХЕМИЈСКА АНАЛИЗА ЗЕМЉИШТА			
Испитивани параметри	Јединице	Измерене вредности	Методе
Садржај влаге	% (m/m)	11,03	SRPS ISO 11465:2002
Садржај суве материје	% (m/m)	88,97	SRPS ISO 11465:2002
pH вредност (водени раствор)	-	6,90	SRPS ISO 10390:2022
pH вредност (1M KCl раствор)	-	5,83	SRPS ISO 10390:2022
Садржај органског С	% (m/m)	0,88	BU.DM.01
Хумус	% (m/m)	1,52	BU.DM.01
Садржај лако доступног Р као P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100g	0,96	BU.DM.02
Садржај лако доступног К као K <sub>2</sub> O	mg/100g	14,4	BU.DM.02

Садржај влаге у земљишту је изузетно важан параметар са више посматраних аспеката, између осталог, значајан је за транспорт растворених материја. Такође, садржај влаге у земљишту снажно дефинише карактеристике тла у смислу смицања, чврстоће и збијеноости. Анализиран површински узорак има 11,03% (m/m) влаге и спада у сува земљишта [95].

За површински узорак земљишта санитарне депоније „Савина Стена“ одређена је pH вредност у воденом раствору и раствору калијум хлорида (Слика 24).

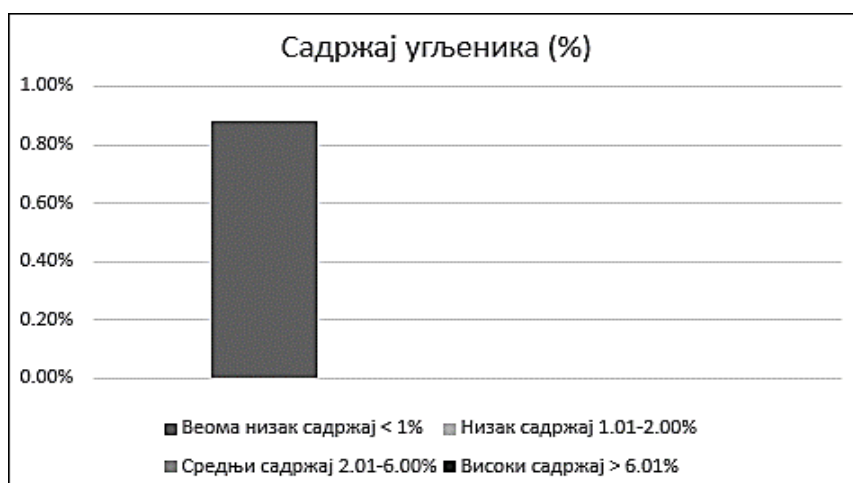


Слика 24. pH у H<sub>2</sub>O и KCl – у

pH у H<sub>2</sub>O класификује земљиште као: изузетно кисело (< 4,5), веома кисело (4,5-5,0), кисело (5,1-5,5), умерено кисело (5,6-6,0), слабо кисело (6,1-6,5), неутрално (6,6-7,3), слабо алкално (7,4-7,8), умерено алкално (7,9-8,4), јако алкално

(8,5-9,0) и веома алкално ( $> 9,1$ ). Анализа је показала да је вредност рН за испитивани узорак 6,90, односно да је земљиште неутрално. Одређивањем рН у КС1, земљиште делимо на: веома кисело ( $< 4,5$ ), кисело (4,51-5,5), слабо кисело (5,51-6,5), неутрално (6,51 -7,2) и алкално ( $> 7,20$ ) [95]. Овом методом узорак спада у слабо кисело земљиште, са вредношћу рН од 5,83.

У извештају о стању животне средине у Републици Србији за 2018. године [123] дата је класификација земљишта на основу садржаја органског угљеника (С). Земљиште се у односу на садржај органског С дели на: земљиште са веома ниским садржајем ( $\leq 1\%$ ), ниским садржајем (1,01-2,0%), средњим садржајем (2,01-6,0%) и високим садржајем ( $\geq 6,01\%$ ). Резултати за површински узорак приказани су на слици 25.

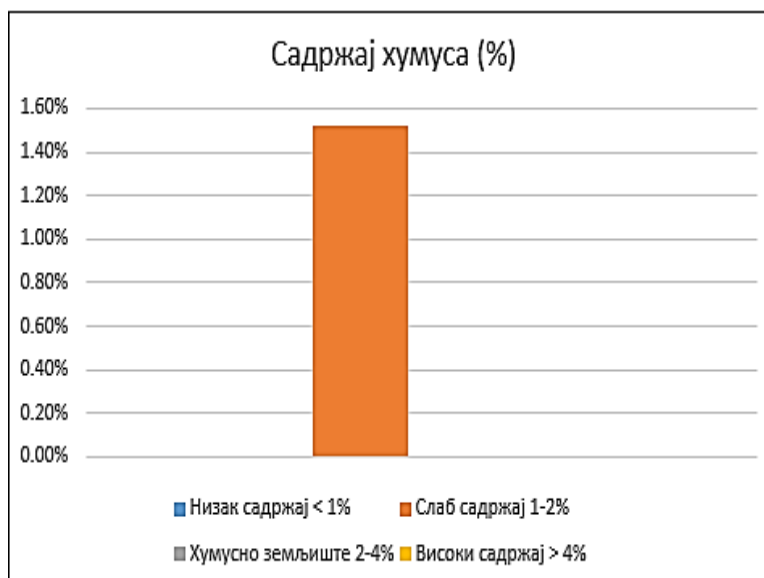


Слика 25. Садржај органског С у површинском узорку земљишта

Вредност органског С у испитиваном површинском узорку је 0,88%, што га класификује као земљиште са ниским садржајем угеника. Апсорпција, дистрибуција и задржавање воде у земљишту се повећавају са повећањем концентрације С, што са друге стране смањује стабилност земљишта, те је добијена вредност повољна за санитарну депонију [95].

Слика 26 илуструје садржај хумуса у површинском узорку, изражен у процентима.

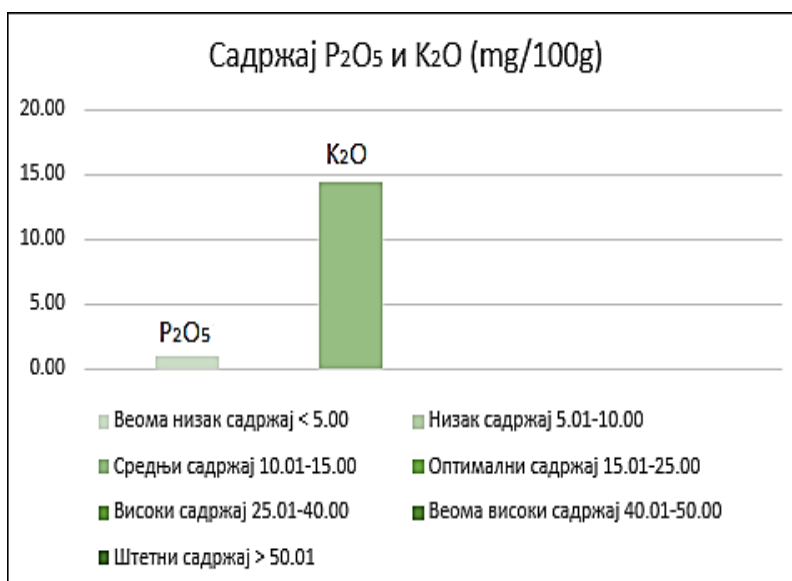




Слика 26. Процентуални садржај хумуса у површинском узорку земљишта

На основу садржаја хумуса земљиште се класификује као земљиште које има веома низак садржај хумуса (<1), слаб садржај хумуса (1-2), хумусно земљиште (2-4) и висок садржај хумуса (> 4). Испитивани узорак има 1,52% (m/m) хумуса, и спада у слабо хумусна, што је повољно за земљиште депоније, обзиром да је хумус растресит и водопропустан [95].

Садржај лако доступног фосфора у облику  $P_2O_5$  и лако доступног калијума у облику  $K_2O$  приказан је на слици 27.



Слика 27. Садржај  $P_2O_5$  и  $K_2O$  у површинском узорку земљишта

На основу концентрације  $P_2O_5$  и  $K_2O$  земљиште се дефинише као: земљиште са веома ниским садржајем ( $< 5,00$ ), земљиште са ниским садржајем ( $5,01-10,00$ ), земљиште са средњим садржајем ( $10,01-15,00$ ), земљиште са оптималним садржајем ( $15,01-25,00$ ), земљиште са високим садржајем ( $25,01-40,00$ ), земљиште са веома високим садржајем ( $40,01-50,00$ ) и земљиштем са штетним садржајем ( $>50,01$ ). Узорак са депоније „Савина Стена“ садржи  $0,96 \text{ mg}/100\text{g } P_2O_5$ , односно  $14,4 \text{ mg}/100\text{g } K_2O$ . Добијене вредности указују на веома низак садржај  $P_2O_5$  и средњи садржај  $K_2O$ , што је позитивно јер низак ниво  $P$  и средњи ниво  $K$  имплицирају смањену способност апсорпције и дистрибуције воде у земљишту [95].

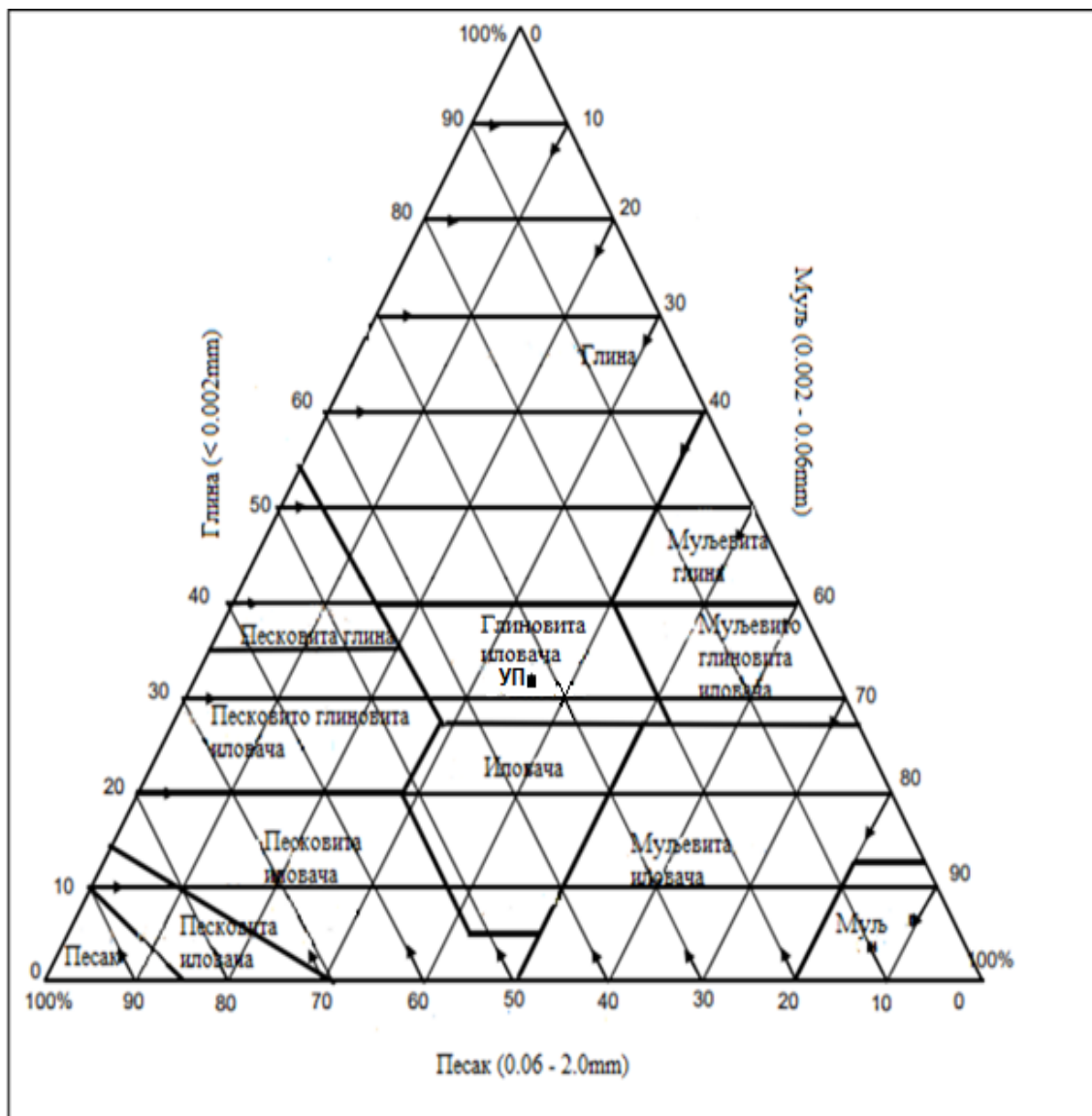
### 7.10. Механичка анализа површинског узорка

Механичка анализа површинског узорка земљишта санитарне депоније „Савина Стена“ дала је прецизну идентификацију фракција земљишта. Добијени резултати су следећи: крупан песак 23,68%, ситан песак 10,14%, крупан прах 21,01%, ситан прах 14,55% и глина 30,62% (Табела 17) [95].

Табела 17. Садржај механичких фракција [95]

САДРЖАЈ МЕХАНИЧКИХ ФРАКЦИЈА ПОВРШИНСКОГ УЗОРКА (%)							
Крупан песак 0,2-2 mm	Ситан песак 0,05-0,2 mm	Укупни песак 0,05-2 mm	Крупан прах 0,02-0,05 mm	Ситан прах 0,002-0,05 mm	Укупан прах 0,002-0,05 mm	Глина < 0,002 mm	Хигр. влага %
23,68	10,14	33,82	21,01	14,55	35,56	30,62	11,03
Текстурална класа тла према класификацији америчке USDA: GI							

Резултати на основу којих је извршена класификација тла представљени су на дијаграму (Слика 28).

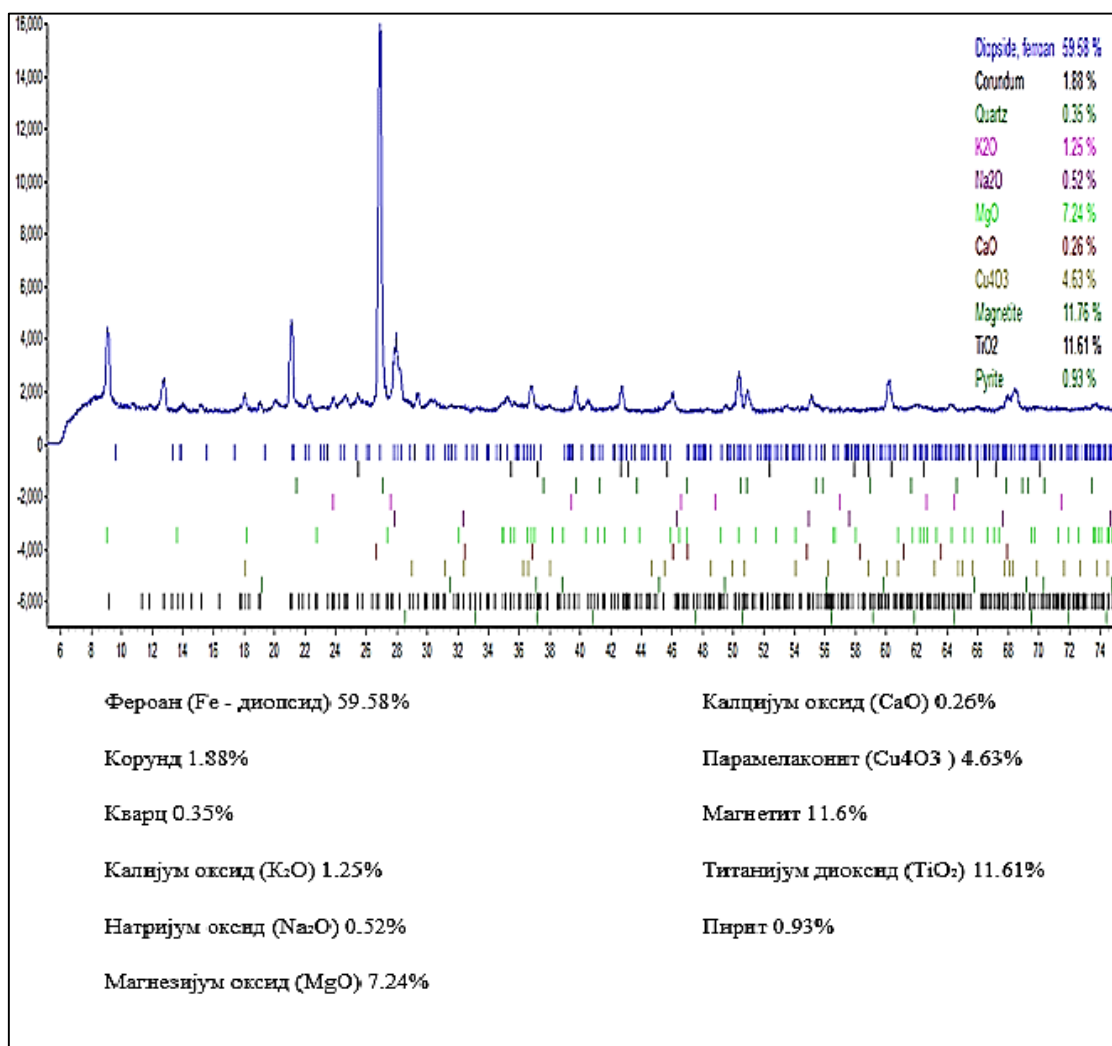


Слика 28. USDA дијаграм површинско узорка земљишта

Након прецизне анализе компоненти, USDA класификацијом [83] је одређена текстура класа земљишта, односно одређено је да земљиште спада у глиновиту иловачу. Глиновита иловача има неповољне карактеристике у односу на воду и изузетно је пластична. Ове особине глиновите иловаче ће условити слабу инфилтрацију и кретање воде кроз њу [95].

## 7.11. Рендгено дифрактометријска анализа површинског узорка (XRD)

Резултати рендгено дифрактометријске анализе површинског узорка земљишта са депоније „Савина Стена“ приказани су на слици 29.



Слика 29. Дифрактограм са детектованим минералима за површински узорак земљишта

XRD анализа показује највеће присуство фероана (Fe - диопсид) 59,58%. Остали минерали присутни у узорку су: корунд 1,88%, кварц 0,35%, калијум оксид 1,25%, натријум оксид 0,52%, магнезијум оксид 7,24%, калцијум оксид 0,26%, парамелаконит (Cu<sub>4</sub>O<sub>3</sub>) 4,63%, магнетит 11,6%, титанијум диоксид 11,61% и пирит 0,93%. Фероан је диопсид са високим садржајем гвожђа (8,36-9,94) [124], што

показује и базна линија на дифрактограму која је повишена када анализирани узорак има већи садржај Fe [125].

Најзаступљенији минерали у узорку, фероан, титанијум оксид, магнетит и магнезијум оксид потичу из магматских стена. Магматске стене су карактеристичне за подручје општине Звечан на коме се налази око 800 m висока вулканска купа, некада активног вулкана.

### **7.12. Евапотранспирација и количина произведене процедурне воде**

Приказане су вредности добијене у поступку израчунавања евапотранспирације за период 1990-2020 године.

Месечни индекс топлоте ( $J_i$ ) израчунат по формули (11), има вредности: 0,00 (јануар), 0,04 (фебруар), 0,71 (март), 2,19 (април), 4,28 (мај), 6,44 (јун), 7,82 (јул), 8,06 (август), 5,43 (септембар), 3,12 (октобар), 1,11 (новембар), 0,02 (децембар) [56].

Коефицијент површинског протока ( $a$ ), чија се вредност израчунава по формули (12), има вредност  $a=1,13$  [56].

Вредност  $\frac{DT}{360}$  иста је у оба прорачуна, односно  $P$  (средња вредност дневне осветљености), за латитуду  $42^\circ$  се не мења и износи: 1,13 (јануар), 1,26 (фебруар), 1,42 (март), 1,61 (април), 1,75 (мај), 1,82 (јун), 1,80 (јул), 1,67 (август), 1,50 (септембар), 1,31 (октобар), 1,17 (новембар) и 1,09 (децембар) [56].

Резултати израчунавања кориговане потенцијалне евапотранспирације, по формули (9) и потенцијалне евапотранспирације по формули (8), приказани су у табели 18.

Табела 18. Коригована потенцијална евапотранспирација и потенцијалана евапотранспирација mm/месец (1990-2020) [56]

Месец	ЕТх	ЕТо
Јануар	-2,88	-3,26
Фебруар	1,76	2,23
Март	16,16	23,01
Април	37,76	60,66
Мај	62,72	109,91
Јун	85,28	155,68
Јул	98,56	177,52
Август	100,80	168,06
Септембар	74,88	112,09
Октобар	49,44	64,98
Новембар	22,72	26,54
Децембар	1,28	1,40
Укупно	547,48	898,52

Количина процедурних вода која ће се генерисати у санитарној депонији „Савина Стена“, добија на основу евапотранспирације за 1990-2020 годину престављена је у табели 19.

Табела 19. Количина процедурних вода на основу метеоролошких података за период 1990-2020 [56]

Месец	L(m <sup>3</sup> /cat)	L(m <sup>3</sup> /дан)	L(m <sup>3</sup> /месец)
Јануар	2,11	50,52	1515,60
Фебруар	1,96	47,09	1412,70
Март	1,86	44,61	1338,30
Април	0,42	10,09	302,70
Мај	0	0	0
Јун	0	0	0
Јул	0	0	0
Август	0	0	0
Септембар	0	0	0
Октобар	0	0	0
Новембар	1,44	34,58	1037,40
Децембар	2,58	61,82	1854,60

Подаци добијени поступним израчунавањем евапотранспирације за период 2020-2039 године, имају следеће вредности:

Месечни индекс топлоте ( $J_i$ ), израчунат по формули (11), има месечне вредности: 0,07 (јануар), 0,36 (фебруар), 1,68 (март), 3,78 (април), 6,33 (мај), 8,54 (јун), 9,95 (јул), 9,91 (август), 7,29 (септембар), 4,37 (октобар), 1,75 (новембар), 0,28 (децембар).

Коефицијент површинског протока ( $a$ ) има вредност 1,37. Вредност  $a$  добијена је по формули (12).

Вредности кориговане потенцијалне евапотранспирације и потенцијалне евапотранспирације за период од 2020. до 2039. године, приказане су у табели 20.

Табела 20. Коригована потенцијална евапотранспирација и потенцијалана евапотранспирација mm/месец (2020-2039)

Месец	ЕТх	ЕТо
Јануар	1,28	1,45
Фебруар	5,44	6,85
Март	22,88	32,49
Април	48,00	77,28
Мај	76,32	133,56
Јун	100,64	183,16
Јул	115,68	208,22
Август	115,36	192,65
Септембар	87,20	130,80
Октобар	54,56	71,47
Новембар	23,68	27,70
Децембар	4,32	4,71
Укупно	655,36	1070,34

Количина генерисане процедурне воде израчуната на основу евапотранспирације (2020-2039) приказана је у табели 21.



Табела 21. Количина процедурне воде на основу података 2020-2039

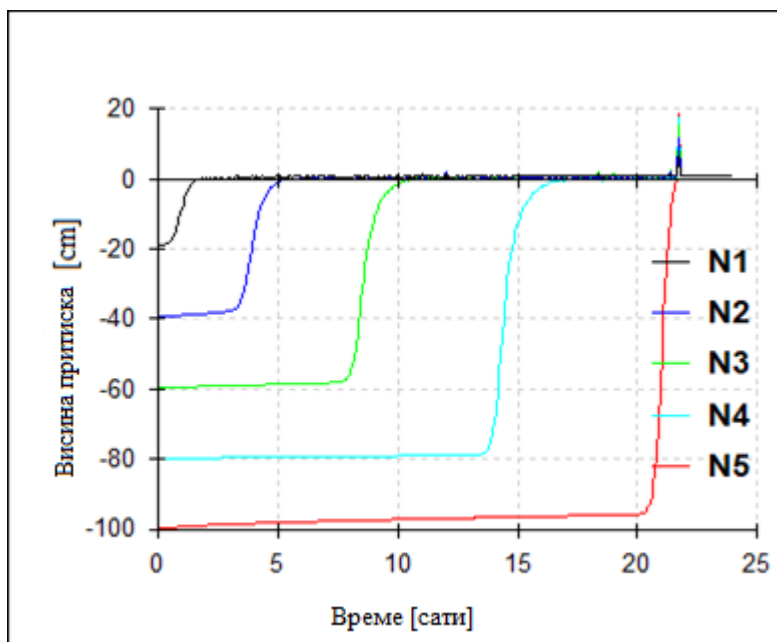
Месец	L (m <sup>3</sup> /саг)	L (m <sup>3</sup> /дан)	L (m <sup>3</sup> /месец)
Јануар	2,18	55,22	1656,60
Фебруар	1,99	47,65	1429,50
Март	1,36	32,68	980,40
Април	0,14	3,47	104,10
Мај	0	0	0
Јун	0	0	0
Јул	0	0	0
Август	0	0	0
Септембар	0	0	0
Октобар	0	0	0
Новембар	1,45	34,88	1046,40
Децембар	2,63	63,12	1893,60

Највећа вредност потенцијалне евапотранспирације за метеоролошке услове заступљене од 1990. до 2020. године била је у летњим месецима (јун 155,68 mm; јул 177,52 mm; август 168,06 mm). Овакав резултат условљавају, уз оптималне падавине, највише температуре у том периоду године. Количина произведених процедурних вода је у том периоду најнижа (реално није нула, због воде коју отпад садржи и воде која настаје биоразградњом отпада), док ће се највеће количине процедурне воде производити у децембру (61,82 m<sup>3</sup>/дан). Производња процедурних вода у депонији обрнуто је зависна од потенцијалне евапотранспирације [56]. Ето за децембар износи 1,40 mm/месец.

Максималне вредности потенцијалне евапотранспирације за пројектоване метеоролошке услове за период од 2020. до 2039. године, такође су добијене за летње месеце, и то: јун 183,16 mm, јул 208,22 mm и август 192,65 mm. У тим месецима је најнижа производња процедурних вода, и у реалном окружењу не може бити нула, нарочито што ће се дебљина отпада у депонији годинама повећавати (што интензивира производњу процедурне воде). Ипак, у односу на падавине и температуру, бележи се дефицит процеде воде. Највећа количина процедурне воде за овај период је такође у децембру (63,12 m<sup>3</sup>/дан).

### 7.13. Hydrus - 1D

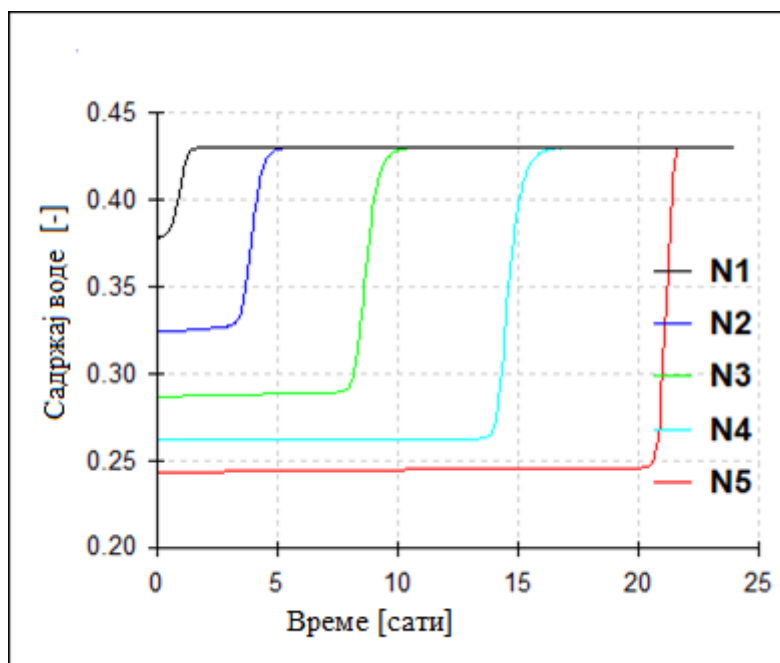
На слици су приказане криве за одређене чворове, N1, N2, N3, N4 и N5 који су означени на дубинама 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm и 200 cm. Нодуси су тачке које се одређују за праћење висине притиска и кретања фронта влажности у одређеном времену (Слика 30).



Слика 30. Висина притиска у односу на време на одабраним тачкама посматрања (N1-40 cm, N2-80 cm, N3-120 cm, N4-160 cm и N5-200 cm)

Фронт влажења прелази дубине за време од 4, 8, 12, 16 и 20 сати, при чему се мења висина притиска на одабраним тачкама. Најмања почетна вредност притиска је у N5 (-100 cm), затим N4 (-80 cm), N3 (-60 cm), N2 (-40 cm) и N1 (-20 cm), али се са приближавањем фронта влажења одређеним дубинама притисак мења, до позитивне вредности, што је на графику видљиво у нодусу N5, где је висина притиска изнад 0, за време приближно 22 h.

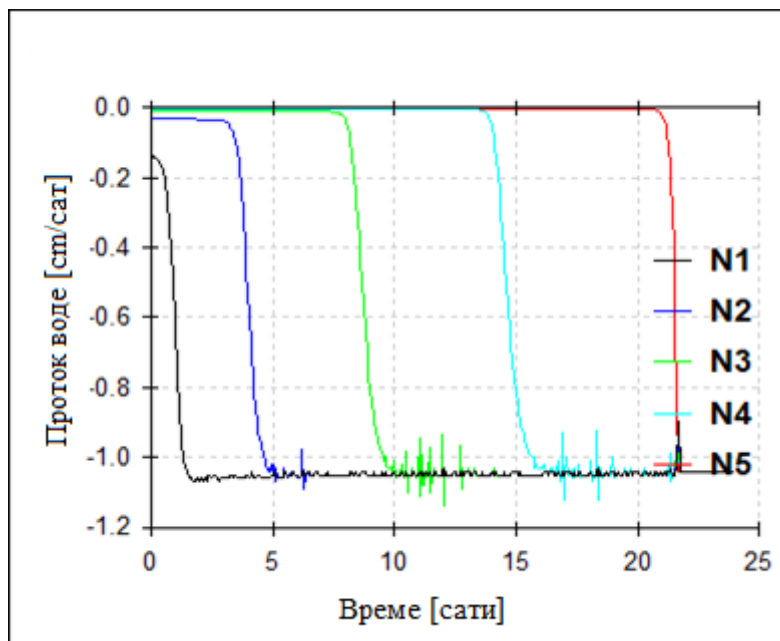
На слици 31 приказан је садржај воде у означеним нодусима земљишног профила, у односу на време.



Слика 31. Садржај воде у односу на време у посматраним тачкама (N1-40 cm, N2-80 cm, N3-120 cm, N4-160 cm и N5-200 cm)

Почетни садржај воде у посматраним чворовима је различит. У првом нодусу (40 cm) износи  $0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , у другом нодусу (80 cm) је  $0,33 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , у трећем нодусу (120 cm) почетни садржај воде је  $0,28 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , у четвртном (160 cm)  $0,26 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  и у петом нодусу (200 cm)  $0,24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . Садржај воде у свим нодусима достиже максималну вредност  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (садржај засићене воде) за различите временске интервале. У N1 засићеност се постиже за време од око 2 сата, у N2 за 5 сати, N3 за око 10,5 сати, у нодусу N4 за 17 сати и у нодусу N5 за време приближно 22 сата.

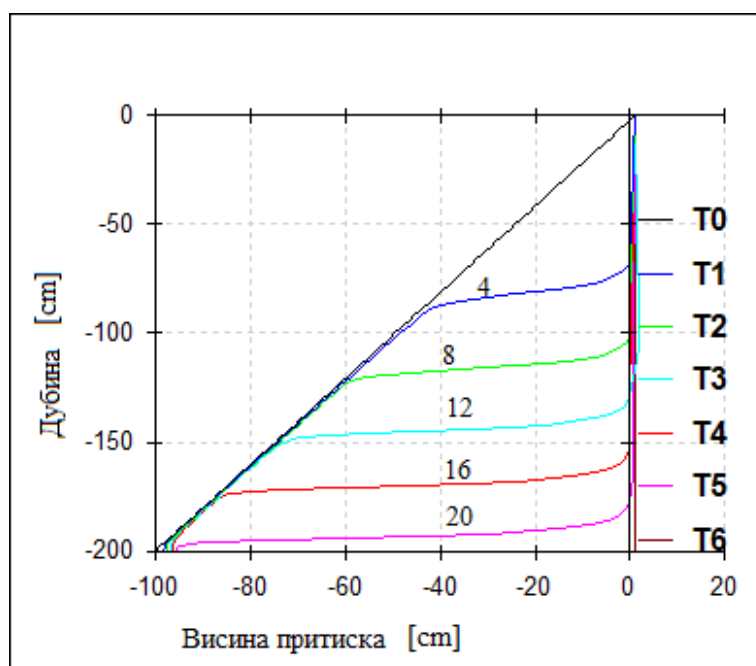
Почетни проток воде (флуks) у нодусима има вредности: чвор N1- $1,18 \text{ cm}^3/\text{h}$ , чвор N2- $0,05 \text{ cm}^3/\text{h}$ , чвор N3- $0,03 \text{ cm}^3/\text{h}$ , за N4- $0,01 \text{ cm}^3/\text{h}$  и за N5- $0,01 \text{ cm}^3/\text{h}$  (Слика 32).



Слика 32. Проток воде за задате чворове у односу на време

Вода инфилтрира у профил земљишта под утицајем гравитационе силе, те за време 4 h (N1), 8 h (N2), 12 h (N3), 16 h (N4) и 20 h (N5) флукс има вредност приближно -1,04 cm/h.

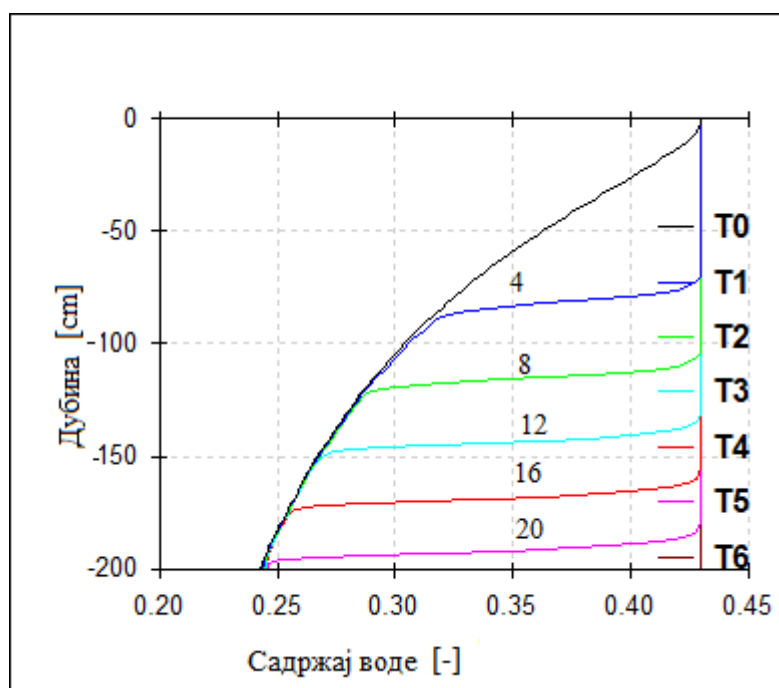
На слици 33 је приказано напредовање фронта влажности по дубини за одређено време.



Слика 33. Напредовање фронта влажности у односу на време

За време од 4 сата, влажност је достигла дубину 70 cm, за 8 сати 110 cm, за 12 сати 130 cm, за 16 сати око 160 cm и за 20 сати око 180 cm . Влажност напредује док не достигне дно профила, што је у нашем случају око 22 h. Висина притиска целокупног профила ће тада износити 1 cm.

Слика 34 приказује садржај воде у профилу земљишта у односу на дубину. Почетни садржај воде је  $0,24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , одређен је хидрауличким својствима материјала у испитиваном узорку.

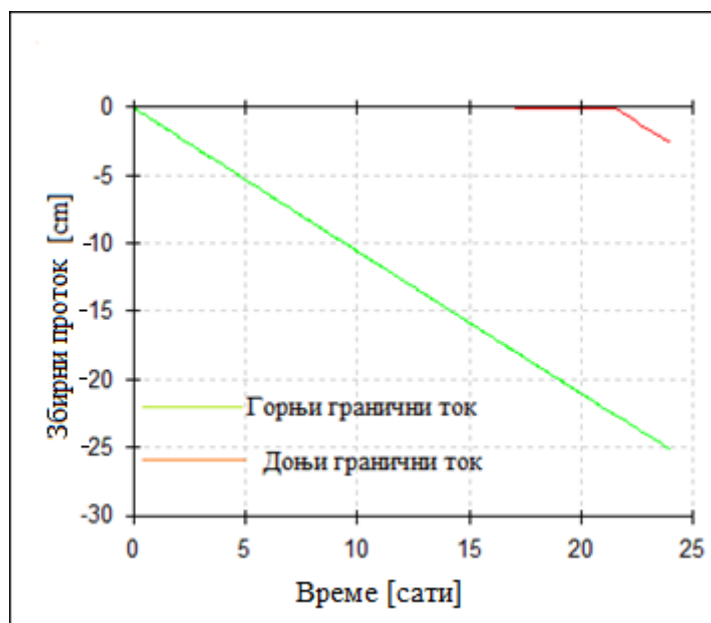


Слика 34. Садржај воде у профилу земљишта по дубини

За време од 4 сата измерен је садржај воде на дубини 70 cm, за 8 сати на дубини 110 cm, за 12 сати на дубини 130cm, док је за 16 сати на 160 cm и за 20 сати на дубини 180 cm. Садржај воде је у коначном једнак садржају засићене воде ( $Q_s$ ), што је у нашем случају  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ . Анализирани профил земљишта садржи три материјала, за које је  $Q_s$ : иловача  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , песковита иловача  $0,41 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  и муљевита иловача  $0,45 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , те је просечна вредност засићене воде  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ , што график и показује [103].

Збирни проток (флуks) задатог профила земљишта, односно горњи и доњи гранични ток воде у земљишту приказани су на слици 35. Вода се инфилтрира на површини узорка и условљава позитивну висину притиска (Pressure Head), која

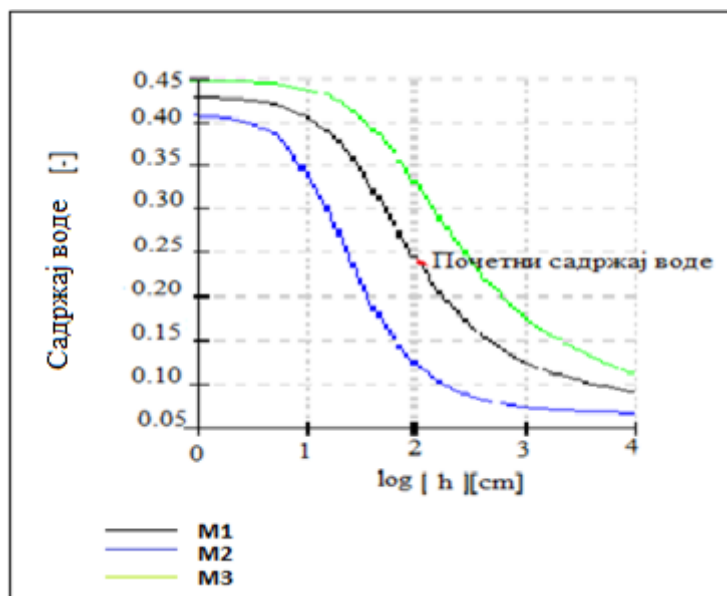
представља горњи гранични ток, док је захваљујући одабраној слободној дренажи (Free Drainage), заступљено слободно одводњавање под утицајем гравитације.



Слика 35. Приказ збирног протока у узорку

Одводњавање земљишта је заступљено раније него што то график приказује, али је услед малих вредности видљиво тек на око 22 сата, када фронт влажења достигне дно. График приказује да су прилив и одлив воде након неког времена једнаки (линије горњег и доњег граничног тока су тада паралелене), што у односу на садржај воде, земљиште чини стабилним.

Слика 36 илуструје криве задржавања воде у земљишту за три материјала у једном узорку.

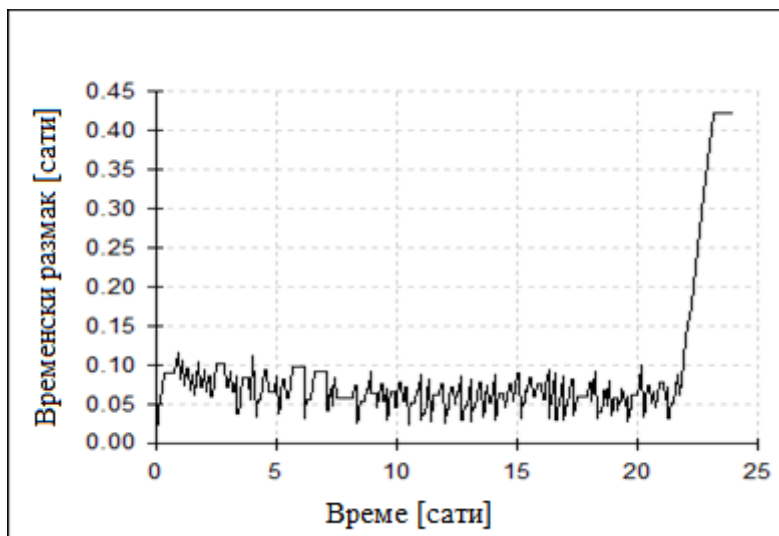


Слика 36. Криве задржавања воде у земљишту

Материјал M1 је иловача, M2 песковита иловача и M3 муљевита иловача. Садржај засићене воде за материјале је  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ,  $0,41 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  и  $0,45 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (просечано  $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ). Просечан садржај засићене воде за испитивани профил подудар се са вредношћу M1 материјала.

Висина притиска представљена је логаритмом апсолутне вредности  $h$ . Како се не може узети логаритамска вредност негативног броја, висине притиска су уместо вредности  $-1$ ,  $-10$ ,  $-100$ ,  $-1000$  и  $-10000$ , представљене бројевима  $0$ ,  $1$ ,  $2$ ,  $3$  и  $4$ . Почетни садржај воде  $0,24 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (Слика 34), припада средишњој криви, у тачки  $2$  за коју одговара висина притиска  $-100$ .

На слици 37 који се односи на информације о времену извођења симулације, приказано је да је симулација изведена за време од  $24 \text{ h}$ , што је уједно и задато време.



Слика 37. Информације о времену симулације

Већи временски размак се уочава на 22 сата, што нам указује да профил улази у стабилно стање, односно улазни и излазни ток воде се изједначавају.

У табели 22 је дат приказ масе баланса за испитивани профил земљишта. Како имамо само један подрегион, информације у обе колоне за исти временски период су исте. Посматрани су резултати у времену 0, 4, 8, 12, 16, 20 и 24 h. Приказана је дубина профила ( $length - L$ ), укупна запремина воде у профилу ( $W volume - L$ ), просечна висина притиска дуж профила тла ( $h Mean - L$ ), улазни и излазни ток ( $Top flux - L/T$ ;  $Bot flux L/T$ ), апсолутна грешка биланса воде за цео профил ( $WatBalT - L$ ) и релативна грешка равнотеже воде у процентима ( $WatBalR - \%$ ).



Табела 22. Информације о масеном билансу

Информације о масеном билансу (Mass Balance Information)														
Време	0		4		8		12		16		20		24	
Бр. подрегија	1		1		1		1		1		1		1	
Дужина [L]	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
W-запремина [L]	63,5	63,5	67,8	67,8	72	72	76,2	76,2	80,3	80,3	84,5	84,5	86	86
Ток [L/T]	0	0	1,06	1,06	1,05	1,05	1,03	1,03	1,05	1,05	1,04	1,04	0	0
h средња [L]	-49,5	-49,5	-41,2	-41,2	-32,8	-33	-23	-23	-13,8	-13,8	2,9	-2,9	1	1
Улазни ток [L/T]	-1,55		-1,06		-1,05		-1,03		-1,05		-1,04		-1,04	
Излазни ток [L/T]	-0,00225		-0,00171		-0,00169		-0,0017		-0,0017		-0,00203		-1,04	
Апсолутна грешка [L]			$1,62 \times 10^{-5}$		$-7,6 \times 10^{-6}$		$2,29 \times 10^{-5}$		$1,72 \times 10^{-5}$		$2,48 \times 10^{-5}$		$4,2 \times 10^{-5}$	
Релативна грешка [L]			0		0		0		0		0		0	

Почетно време (0) карактерише већи ток у профилу земљишта (Top flux) од излазног тока (Bot flux), што значи да параметри у профилу условљавају позитиван улив воде, односно, вода почиње да се складишти у земљишту.

Дубина профила је константна вредност, али се остале вредности мењају кроз посматрано време. Укупна запремина воде од почетне вредности 63,5 се, условљена инфилтрацијом, повећава до вредности 86,0 (у 24. сату). Инфилтрација воде је кроз време симулације различита, од вредности 1,06 (4. сат) до вредности 0 у 24. сату, што говори о стабилности земљишта, односно прилив воде се изједначио са одливом. Потврду да је улив воде у 24. сату једнак одливу дају и вредности флуkseва, које се изједначавају и имају вредност -1,04. Просечна висина притиска је променљива и у 24. сату има вредност 1, тј. изједначава се са задатим горњим граничним условом што потврђује потпуну засићеност профила.

Апсолутна грешка биланса воде за цео профил се креће у опсегу од  $1,62 \times 10^{-5}$  до  $4,2 \times 10^{-5}$ , док је релативна грешка равнотеже воде за сва мерења 0%.

### 7.14. Рангирање алтернатива Visual PROMETHEE мултикритеријумском анализом

Евалуациона матрица PROMETHEE методе приказује четири одабрана критеријума анализе (у горњем делу матрице) и две алтернативе између којих је одлучивано (доњи део матрице). Унети су одређени тежински фактори (Weight), као и вредности критеријума за обе алтернативе (Слика 38).

scenario1	EFFICIENCY	AUTOMATION	SURFACE A...	PRICE EURO...
Unit	%	%	%	e
Cluster/Group	■	◆	◆	●
<b>Preferences</b>				
Min/Max	max	max	max	min
Weight	39,24	15,80	19,62	34,28
Preference Fn.	Level	Level	Level	V-shape
Thresholds	percentage	percentage	percentage	absolute
- Q: Indifference	1	1	1	n/a
- P: Preference	2	2	2	5,00
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>				
Minimum	96,00	100,00	20,00	1,70
Maximum	99,00	100,00	33,00	2,10
Average	97,50	100,00	26,50	1,90
Standard Dev.	1,50	0,00	6,50	0,20
<b>Evaluations</b>				
<input checked="" type="checkbox"/> SBR	99,00	100,00	20,00	1,70
<input checked="" type="checkbox"/> MBR	96,00	100,00	33,00	2,10

Слика 38. Евалуациона матрица PROMETHEE мултикритеријумске анализе

Рангирање алтернатива PROMETHEE методом засновано је на квалитету позитивног (Phi+), негативног (Phi-) и нето протока (Phi) (Табела 23).

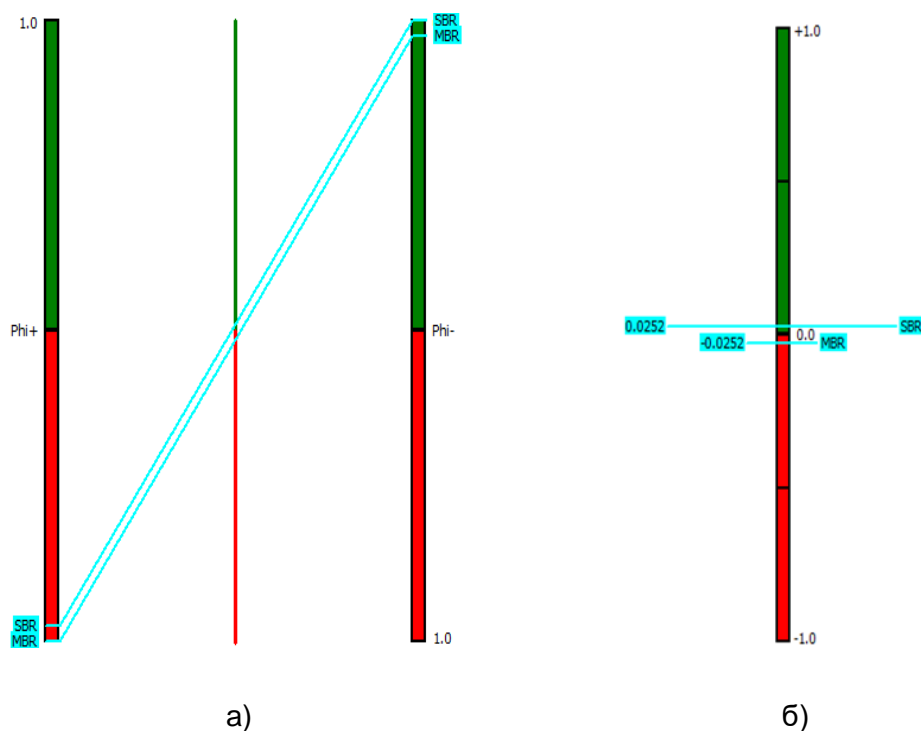
Табела 23. Позитиван, негативан и нето проток

Бр.	Алтернативе	Phi	Phi+	Phi-
1	SBR	0,0252	0,0252	0,0000
2	MBR	-0,0252	0,0000	0,0252

$\Phi_i^+$  и  $\Phi_i^-$  представљају параметре за мерење предности између две алтернативе.  $\Phi_i^+$  означава позитивну разлику између две алтернативе, док је  $\Phi_i^-$  ознака за негативну разлику.

Нето проток је разлика позитивне вредности  $\Phi_i^+$  и негативне вредности  $\Phi_i^-$ . Рангирање се врши по опадајућем редоследу нето протока ( $\Phi$ ), односно SBR алтернатива је боље рангирана, самим тим што је њена вредност  $\Phi$  позитиван број, за разлику од MBR алтернативе.

Јаснији приказ рангирања алтернатива приказан је на слици 39, где је представљено парцијално рангирање PROMETHEE I (а) и коначно рангирање PROMETHEE II (б). Резултати су приказани на два двобојна стуба, на којима је  $\Phi_i^+$  означен зеленом бојом, док је  $\Phi_i^-$  приказан црвено.



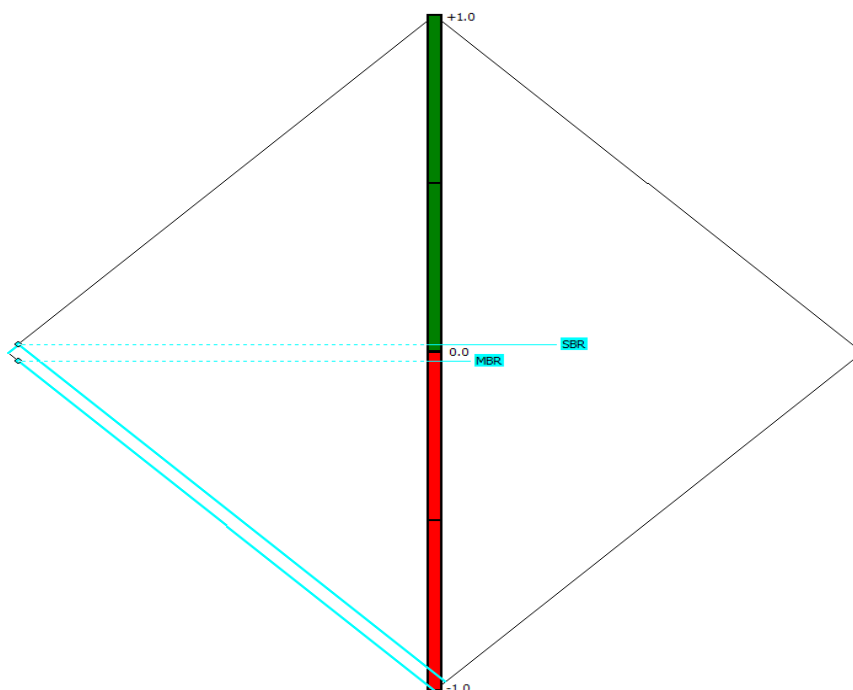
Слика 39. Рангирање алтернатива: а) парцијално рангирање и б) коначно рангирање

Делимично рангирање алтернатива је веома важно и упућује нас на упоредивост алтернатива. На првом делу слике (а), на левом стубу је приказано рангирање за  $\Phi_i^-$ , док је на десном стубу рангирање за  $\Phi_i^+$ . Линије које спајају позитиван и негативан ток сваке алтернативе, указују нам на могућност поређења

алтернатива. Наиме како се линије које спајају позитиван и негативан ток не секу (паралелне су), прецизиране алтернативе су упоредиве.

На другом делу слике (б), приказано је коначно рангирање алтернатива, на основу вредности  $\Phi$ . Зелени део стуба и у овом случају је  $\Phi^+$  а црвени  $\Phi^-$ , док су исписане вредности за нето проток ( $\Phi$ ). Како је алтернатива SBR у зеленом делу стуба, а алтернатива MBR у црвеном, закључујемо да је у коначном, SBR алтернатива боља опција.

PROMETHEE I и PROMETHEE II рангирање у једној дводимензионалној поставци чини PROMETHEE дијамант (Слика 40). Суштински PROMETHEE дијамант, даје истовремени увид у парцијално и коначно рангирање алтернатива.

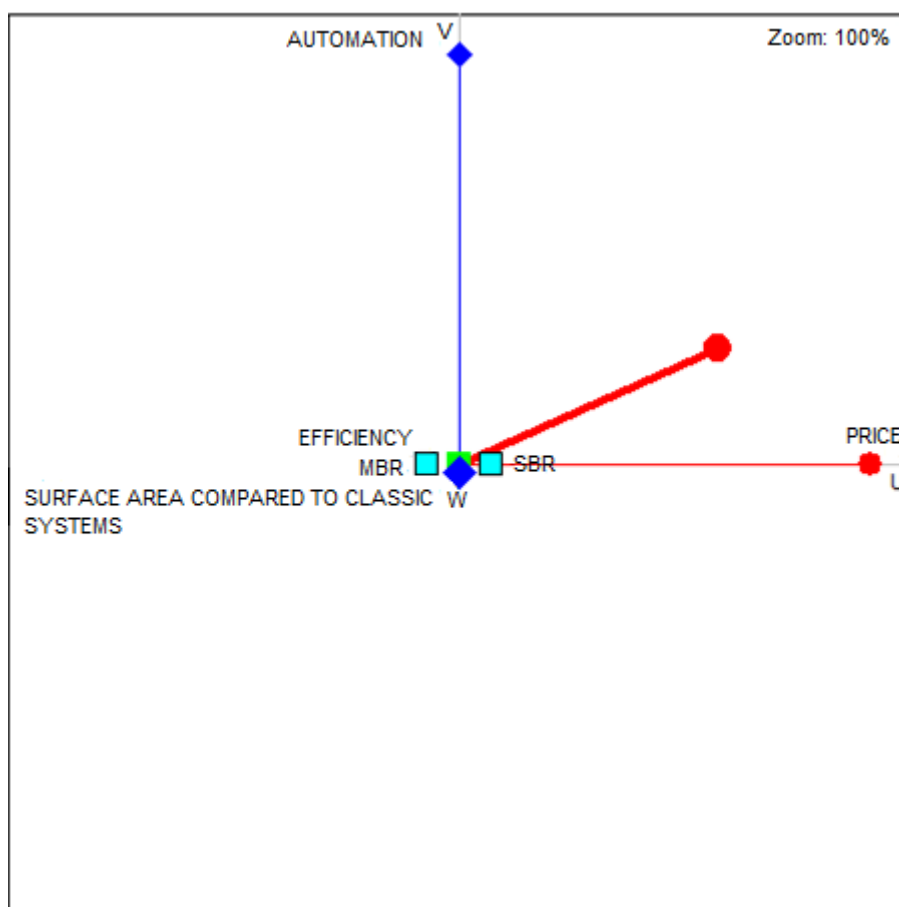


Слика 40. PROMETHEE дијамант

Стуб представља нето проток, зелени део позитивну вредност, црвени негативну. Раван је под углом од  $45^\circ$ , са означеним тачкама за позитиван и негативан проток. За сваку тачку је уцртан конус, и уколико нема пресецања конуса онда су алтернативе упоредиве и резултат рангирања валидан. У нашем случају нема пресецања и дијамант рангирање показује могућу упоредивост алтернатива и предност SBR алтернативе у односу на MBR.

Геометријска анализа за интерактивну помоћ (GAIA) је план који садржи све алтернативе и све критеријуме које смо задали, али и детерминантну осу која

нам показује који је од критеријума имао највећи утицај на рангирање алтернатива (Слика 41).

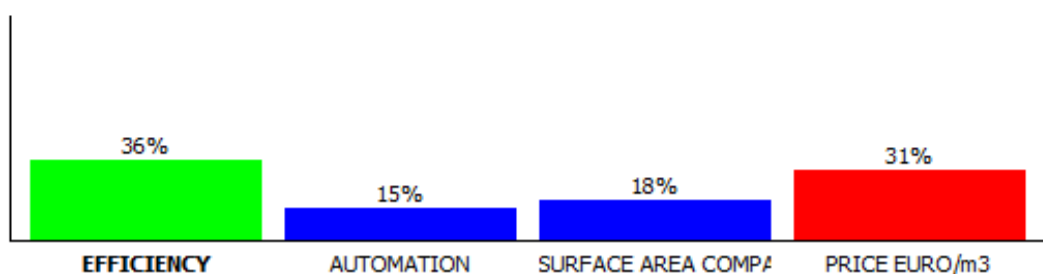
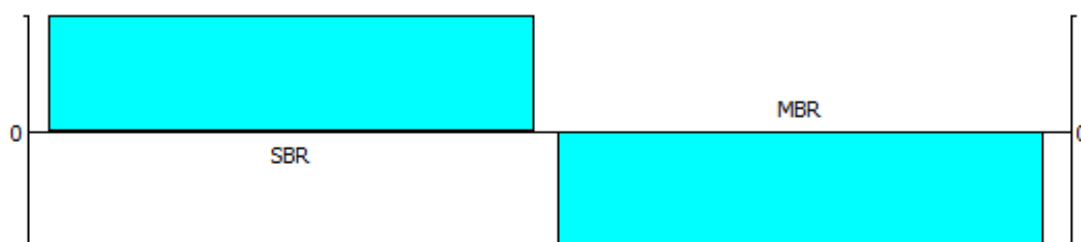


Слика 41. PROMETHEE GAIA

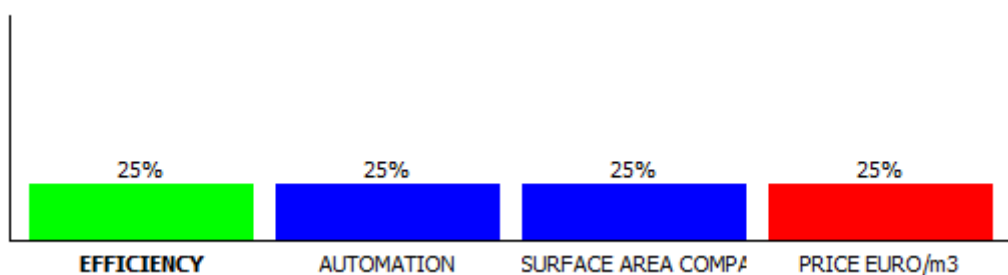
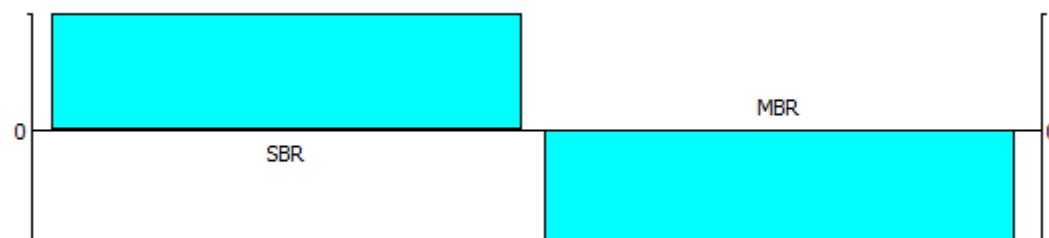
GAIA план приказује алтернативе SBR и MBR светло плавим квадратима, као и сва четири критеријума, различито означена. Цена и аутоматизација су представљене црвеном, односно плавом осом, док се ефикасност и површина готово преклапају са центром GAIA плана, те осе нису видљиве. Црвена оса у пољу између аутоматизације и цене је детерминантна оса и она показује да је SBR постројење прихватљивије за пречишћавање процедурне воде на депонији „Савина Стена“, и да је цена као критеријум имала највећи утицај на рангирање.

PROMETHEE метода омогућава анализу утицаја тежинских фактора за задате критеријуме на рангирање алтернатива (Слика 42). Први део слике (а) показује рангирање алтернатива са додељеним тежинским факторима, и то за: ефикасност 36%, аутоматизација 15%, површина коју заузима у односу на

комерцијална постројења 18% и цена 31% (вредности задатих тежинских фактора нису идентичне као у матрици, јер их PROMETHEE сам заокружује у приказу). Резултат анализе показује предност SBR алтернативе.



a)



б)

Слика 42. PROMETHEE Тежински фактори: а) задати тежински фактори  
б) изједначени тежински фактори

На другом делу слике (б) је показано да се изједначавањем тежинских фактора за све критеријуме, у рангирању алтернатива није ништа променило, односно, изједначавање тежинских фактора у нашем случају не утиче на анализу.

### 7.15. Резултати технолошког дизајна Секвенционалног шаржног реактора (SBR)

Резултати димензионисања Секвенционалног шаржног реактора представљени су у табели 24. Прорачун димензија постројења је урађен по правилнику „Удружења за канализациону технику, Немачка (ATV)“ [112].

Табела 24. Димензионисање Секвенционалног шаржног реактора

	Запремина реактора $V$ (m <sup>3</sup> )	Ефективна запремина реактора $V_e$ (m <sup>3</sup> )	Ширина реактора $W$ (m)	Висина реактора $H$ (m)	Дужина реактора $L$ (m)	Капацитет аератора (m <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /h)
SBR1	1500	1470	14	3,5	30	50
SBR2	500	490	14	3,5	10	15

Запремина SBR реактора износи 2024,7 m<sup>3</sup>, израчуната по формули (14), усваја се 2000 m<sup>3</sup> (усвајање округлог броја је због практичности и једноставности у пројектовању). Због оптимизације процеса пречишћавања процедурне воде, реактор ће бити подељен на два дела, SBR1 и SBR2. Они могу бити једнаких запремина, ако простор на терену то дозвољава. На санитарној депонији “Савина Стена” простор диктира различите димензије реактора, стога је предложена запремина SBR1  $V=1500$  m<sup>3</sup>, док је запремина SBR2  $V=500$  m<sup>3</sup>. Након израчунавања димензија реактора, за сваку се усваја пројектна вредност, на основу којих се рачуна ефективна запремина реактора (ефективна запремина је „стварна“ запремина процедурне воде унутар реактора).

Како би се постигла боља аерација, не препоручује се већа висина реактора од 4m. Ниједан реактор се током рада неће пунити до врха већ до 3,5 m (због ризика од преливања), те ће усвојена, пројектна висина реактора  $H$  бити 3,5 m. Према ATV-у, стандардна ширина реактора  $W$  је 14 m, па је према формули (15) израчуната дужина SBR1,  $L=30,61$  m, а усваја се пројектна вредност 30 m. Након прорачуна дужине реактора, по формули (14), израчуната је ефективна запремина

SBR1,  $V_e=1470 \text{ m}^3$ . Дужина другог реактора израчуната је на исти начин као и за први реактор (формула 15), и износи  $L=10,20 \text{ m}$ , усваја се  $10 \text{ m}$ . Ефективна запремина SBR2 је  $V_e=490 \text{ m}^3$ .

Потребна количина кисеоника ( $O_2$ ) за аерацију процедурне воде, израчуната по изразу (16), је  $2050 \text{ kgO}_2/\text{d}$ . Потребна количина ваздуха  $Q_{t/vaz}$  је  $7321,43 \text{ m}^3/\text{d}$ . Дељењем ове суме са временом аерације а затим множењем са сигурносним фактором добили смо вредност потребне количине ваздуха на сат ( $Q'_{vaz}$ ),  $714,28 \text{ m}^3/\text{h}$  (формула 17). Масени удео кисеоника у  $714,28 \text{ m}^3/\text{h}$  ваздуха је  $165,71 \text{ m}^3/\text{h}$ . Како су предложена два реактора, где је SBR1 веће запремине у односу на SBR2, потребно је у првом реактору инсталирати два аератора капацитета  $50 \text{ m}^3\text{O}_2/\text{h}$  сваки, док је у другом реактору потребан један аератор капацитета  $15 \text{ m}^3\text{O}_2/\text{h}$  (Слика 43 и 44).



Слика 43. Аератори у SBR 1 реактору (аутор)





Слика 44. Аератор у SBR 2 реактору (аутор)

Дневна количина произведеног муља је  $25 \text{ m}^3/\text{d}$ , са  $12.5 \text{ SS}/\text{m}^3$ . Сума ових вредности је  $37,5 \text{ m}^3$  (формула 18), на основу које усвајамо запремину резервоара за згушњавање муља  $V=40 \text{ m}^3$ .

## 8. ЗАКЉУЧАК

Ова дисертација имала је за циљ да кроз свеобухватну студију утврди утицај климатских промена на квалитет и квантитет процедурне воде санитарне депоније „Савина Стена“. Изузев примарног, циљ је био и одређивање интензитета и опсега потенцијално штетног утицаја процедурних вода на подземне и површинске воде, као и оптимизација технолошког процеса прераде процедурних вода обзиром на њихов квалитет и квантитет. Дисертација садржи прецизне анализе које су значајне за познавање карактеристика земљишта и прорачун количине процедурних вода за садашњи и будући период у коме је планирана активност депоније. Предложено је технолошко постројење за прераду процедурних вода, као и дизајн постројења. Анализе спроведене у оквиру дисертације, дале су следеће резултате:

1. Физичко-механичка анализа дубинских узорка показала је:

- да је испитивано земљиште просечне влажности. Величина честица у узорцима У1, У2 и У3 одредила је процентуалну заступљеност шљунка, песка, муља и глине. На основу ове анализе испитивано земљиште је класификовано, USDA методом као иловача (У1), песковита иловача (У2) и муљевита иловача (У3).
- специфична густина земљишта је за У2 нешто нижа у односу на У1 и У3 због већег садржаја шљунка и песка. Нижа специфична густина указује на мању способност сабијања земљишта У2. На основу порозности, испитивано земљиште спада у порозно и слабо порозно.
- природна густина земљишта одређена је за сва три узорка (са непромењеним садржајем влаге и након сушења), при чему су добијени резултати за земљиште са непромењеном влагом били најнижи за У2 (песковита иловача), док је после сушења најмања вредност израчуната за У3 (муљевита иловача). У У3 узорку је након испаравања воде садржај органске материје повећан, што је резултирало нижом природном густином.

- на основу параметра чврстоће, са добијеним вредностима угла унутрашњег трења  $\varphi=30.40^\circ$  и кохезије  $c=15,0$  kPa, земљиште се категорише као земљиште просечне чврстоће.
  - границе пластичности сврставају узорке У1 и У2 у неорганске глине средње пластичности, док узорак У3 спада у неорганске глине ниске пластичности. Добијене вредности за границе пластичности карактеришу земљиште депоније као земљиште које неће драстично мењати конзистентност при промени садржаја воде.
  - земљиште У3 има најмањи модул стишљивости у односу на У1 и У2, што га дефинише као земљиште са највећом стишљивошћу.
  - водопропусност земљишта је одређена на основу коефицијента филтрације, који показује да сва три узорка имају низак степен пропустљивости. Ова карактеристика земљишта је веома важна, јер слабо пропусно земљиште смањује ризик од већег опсега контанимације земљишта процедним водама за кратак временски период.
2. Физичко-хемијска анализа површинског узорка показала је да је на основу садржаја воде испитивано земљиште, суво земљиште. На основу рН у воденом раствору земљиште спада у неутрално, док је анализа рН у KCl - у показала да је земљиште слабо кисело. Одређен садржај C и садржај хумуса указали су на ниску концентрацију C у земљишту и дефинисали земљиште као слабо хумусно. Низак садржај хумуса је пожељан за земљиште депоније, обзиром на то да је хумус растерсит и водопропустан. На основу вредности P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O, испитивано земљиште је изузетно повољно за депонију, зато што ниске вредности ових параметара имплицирају смањену адсорптивну и дистрибутивну способност земљишта.
3. Механичка анализа површинског узорка је дала процентни удео песка, муља и глине, на основу ког је USDA методом земљиште класификовано као глиновита иловача.
4. XRD анализа површинског узорка показала је присуство минерала у земљишту, од којих највећи удео има фироан (Fe<sup>2+</sup>). Изузев Fe-диоксида (фероана) у земљишту је идентификовано мноштво минерала од којих су најзаступљенији:

титанијум оксид, магнетит и магнезијум оксид. Сви воде порекло од магматских стена, карактеристичних за подручје у коме је локализована депонија.

5. Количина процедурних вода која ће се производити на санитарној депонији „Савина Стена“ израчуната је на основу евапотранспирације. Метеоролошки подаци коришћени у првом прорачуну су за период од 1990-2020 године. Добијена максимална количина процедурне воде је  $61,82 \text{ m}^3/\text{дан}$ . Други прорачун је изведен на основу предвиђених метеоролошких података за период 2020-2039 године (што је и планирани период активности депоније), а максимална количина процедурне воде је  $63,12 \text{ m}^3/\text{дан}$ . Прорачун се у оба случаја односио само на климу, није обухватао воду коју отпад садржи или која настаје биодеградацијом отпада, тако да јасно показује утицај искључиво климатских промена на квантитет процедурне воде.
6. Резултати добијени експерименталним путем коришћени су за симулацију кретања процедурних вода у дубини земљишта. Симулација изведена софтверским пакетом HYDRUS - 1D, омогућила је да сагледамо кретање процедурне воде депоније (услед евентуалног продирања у земљу) у односу на време. Резултати су показали да би се процедурна вода, малог садржаја ( $0,43 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) кретала ветрикално кроз земљиште до 2 m дубине, и за време од 22 – 24 h досегла би дно профила.
7. Мултикритеријумском анализом Visual PROMETHEE Academic изабрано је, између два одговарајућа технолошка постројења за прераду процедурне воде, адекватније за санитарну депонију „Савина Стена“. Између SBR и MBR алтернативе, анализа је показала већу погодност SBR постројења.  
Након одабира SBR система, израчуната је запремина и димензије реактора, капацитет аератора и запремина резервоара за згушњавање муља, чиме се омогућава максимална ефикасност у раду и постизање задовољавајућих резултата.

У дисертацији је представљена студија која комбинује квалитативне и квантитативне методе испитивања, са циљем добијања што релевантнијих резултата. Количина процедурне воде израчуната на основу евапотранспирације недвосмислено доказује утицај климатских промена на квалитет и квантитет процедурне воде санитарне депоније „Савина Стена“. Највећа израчуната вредност

количине процедурне воде која ће се производити за период од 2020. до 2039. је за 1,3 m<sup>3</sup>/дан повећана у односу на количину произведене процедурне воде за период од 1990. до 2020.

Анализом је установљено да су карактеристике земљишта на коме је изграђена санитарна депонија „Савина Стена“ у највећој мери повољне за намену, док симулација продирања процедурне воде кроз земљиште показује да ће количина воде, дубина и брзина продирања, омогућити благовремену реакцију и неће допринети загађењу подземних и површинских вода већих размера.

Предложено технолошко постројење омогућава ефикасан рад и осигурава економичност, истовремено одржавајући природни баланс кроз безбедно испуштање пречишћене процедурне воде у реципијент.

## **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Ferronato, N., Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060.
- [2] *Otpad i upravljanje otpadom (2020)*. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Srbija.  
<http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=207&id=202&akcija=showXlinked>
- [3] Mohd A., Ayushi, J., Sanjeev, K.(2020). Municipal Solid Waste Management and its Impact: A Review, *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 11(5), 685-693 doi: <https://doi.org/10.34218/IJARET.11.5.2020.071>.
- [4] *Statistika otpada i upravljanje otpadom u Republici Srbiji (2012)*. Republički zavod za statistiku, Beograd.
- [5] Nanda, S., Berruti, F. (2021). Municipal solid waste management and landfilling technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1433-1456.
- [6] Nizar, M., Munir, E., Munawar, E. (2021). Analysis of the Composition of Household Waste from the Community within the Framework of a Waste Prevention and Reduction Strategy. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22.
- [7] Luo, H., Zeng, Y., Cheng, Y., He, D., Pan, X. (2020). Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. *Science of the Total Environment*, 703, 135468.
- [8] Abunama, T., Othman, F., Nilam, T. I. T. (2021). Comparison of landfill leachate generation and pollution potentials in humid and semi-arid climates. *International Journal of Environment and Waste Management*, 27(1), 79-92.
- [9] Harun, N. S., Ali, Z. R., Rahim, A. S., Lihan, T., Idris, R. M. W. (2013). Effects of leachate on geotechnical characteristics of sandy clay soil. In *AIP Conference Proceedings (Vol. 1571, No. 1, pp. 530-536)*. American Institute of Physics.
- [10] *Uredba o odlaganju otpada na deponije, „Sl. Glasnik RS“ br. 92/2010*.

- [11] Lombardi, F., Costa, G., Sirini, P. (2017). Analysis of the role of the sanitary landfill in waste management strategies based upon a review of lab leaching tests and new tools to evaluate leachate production. *Revista Ambiente & Água*, 12, 543-555.
- [12] Kavazanjian Jr, E., Dixon, N., Katsumi, T., Kortegast, A., Legg, P., Zanzinger, H. (2006). Geosynthetic barriers for environmental protection at landfills. In *Geosynthetics-8th international conference on geosynthetics*, pp. 121-152.
- [13] Vaverková, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment. *Geosciences*, 9(10), 431.
- [14] Siddiqua, A., Hahladakis, J. N., Al-Attiya, W. A. K. (2022). An overview of the environmental pollution and health effects associated with waste landfilling and open dumping. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(39), 58514-58536.
- [15] Mouhoun-Chouaki, S., Derridj, A., Tazdaït, D., Salah-Tazdaït, R. (2019). A study of the impact of municipal solid waste on some soil physicochemical properties: the case of the landfill of Ain-El-Hammam Municipality, Algeria. *Applied and Environmental Soil Science*.
- [16] Mawlood, Y. I., Aziz, S. Q. (2016). Soil and Municipal Solid Waste Leachate Characterization at Erbil Anaerobic Landfill Site. *ZJPAS J. Pure Appl Sci*, 28(3), 104-113.
- [17] Aljaradin, M., M Persson, K. (2012). Environmental impact of municipal solid waste landfills in semi-arid climates-case study–Jordan. *The Open Waste Management Journal*, 5(1).
- [18] Mishra, P., SINGP, N., Shrama, C., Pathak, A. K. (2020). Landfill emissions and their impact on the environment. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(08).
- [19] Jahan, E., Nessa, A., Hossain, M. F., Parveen, Z. (2016). Characteristics of municipal landfill leachate and its impact on surrounding agricultural land. *Bangladesh Journal of Scientific Research*, 29(1), 31-39.
- [20] Sigourou, S., Theodossiou, N. (2017). Rainwater and leachate management at sanitary landfills. The case of the residue sanitary landfill of Alexandroupolis. *Proceedings 457 of the Sixth International Conference on Environmental*

- Management, Engineering, Planning & Economics Thessaloniki, Greece, June 25-30, 2017 ISBN: 978-618-5271-15-2.
- [21] Chin, P. M., Naim, A. N., Suja, F., Ahmad Usul, M. F. (2020). Impact of effluent from the leachate treatment plant of Taman Beringin solid waste transfer station on the quality of Jinjang River. *Processes*, 8(12), 1553.
- [22] Preliminarna kvalitativna i kvantitativna analiza procednih voda i gasova sa deponija u cilju uspostavljanja kontinualnog monitoringa (2009). Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine.
- [23] Abdel-Shafy, H. I., Ibrahim, A. M., Al-Sulaiman, A. M., Okasha, R. A. (2023). Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview. *Ain Shams Engineering Journal*, 102293.
- [24] Xaypanya, P., Takemura, J., Chiemchaisri, C., Seingheng, H., Tanchuling, M. A. N. (2018). Characterization of landfill leachates and sediments in major cities of indochina peninsular countries-heavy metal partitioning in municipal solid waste leachate. *Environments*, 5(6), 65.
- [25] Geotehničko istraživanje i glavni projekat proširenja tela deponije–regionalna deponija Duboko, Procena uticaja na životnu sredinu i društvo, Srbija, 2016.
- [26] Antić, K. Đ., Sremački, M., Petrović, M., Turk Sekulić, M., Adamović, D., Sakulski, D., Radonić, J. (2019). Analiza procednih voda komunalnih deponija čvrstog otpada i identifikacija farmaceutika. In *Zbornik radova-5. Savetovanje sa međunarodnim učešćem. "Opasan industrijski otpad, tretman industrijskih otpadnih voda, komunalni otpad i deponije komunalnog otpada"*, 22.-23. maj 2019, Vrdnik, Fruška gora (pp. 124-129). Beograd: Udruženje Klaster komora za zaštitu životne sredine i održivi razvoj.
- [27] Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T. H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 32(4), 297-336.
- [28] Ghosh, S., Hasan, S. E. (2010). Sanitary landfill. *Environmental and engineering geology*, 2, 1-6.



- [29] Iravanian, A., Ravari, S. O. (2020). Types of contamination in landfills and effects on the environment: A review study. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614(1), p. 012083.
- [30] Aderemi, A. O., Oriaku, A. V., Adewumi, G. A., Otitolaju, A. A. (2011). Assessment of groundwater contamination by leachate near a municipal solid waste landfill. African Journal of Environmental Science and Technology, 5(11), 933-940.
- [31] Gautam, P., Kumar, S. (2021). Characterisation of hazardous waste landfill leachate and its reliance on landfill age and seasonal variation: a statistical approach. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(4), 105496.
- [32] Serdarević, A. (2021). Prečišćavanje procjednih voda–rezultati rada pilot uređaja kao pomoć pri izboru tehnologije za prečišćavanje. Vodoprivreda, 53(313-314), 199-206.
- [33] Benaddi, R., Ferkan, Y., Bouriqi, A., Ouazzani, N. (2022). Impact of Landfill Leachate on Groundwater Quality-A Comparison Between Three Different Landfills in Morocco. Journal of Ecological Engineering, 23(11).
- [34] Jang, Y. C., Townsend, T. G. (2003). Effect of waste depth on leachate quality from laboratory construction and demolition debris landfills. Environmental Engineering Science, 20(3), 183-196.
- [35] Kastali, M., Mouhir, L., Assou, M., Anouzla, A., Abrouki, Y. (2020). Diagnosis of leachate from a closed landfill, impact on the soil, and treatment by coagulation flocculation with alginate and ferric chloride. Desalination and Water Treatment, 206, 307-314.
- [36] Vaverková, M. D., Adamcová, D., Zloch, J., Radziemska, M., Boas Berg, A., Voběrková, S., Maxianová, A. (2018). Impact of municipal solid waste landfill on environment—a case study. Journal of Ecological Engineering, 19(4), 55-68.
- [37] Wdowczyk, A., Szymańska-Pulikowska, A. (2020). Differences in the composition of leachate from active and non-operational municipal waste landfills in Poland. Water, 12(11), 3129.
- [38] Nyame, F. K., Tigme, J., Kutu, J. M., Armah, T. K. (2012). Environmental implications of the discharge of municipal landfill leachate into the Densu River

- and surrounding Ramsar wetland in the Accra Metropolis, Ghana. *Journal of Water Resource and Protection*, 4(08), 622.
- [39] Sivapullaiah, P. V., Naveen, B. P., Sitharam, T. G. (2016). Municipal solid waste landfills construction and management-a few concerns. *Int J Waste Resour*, 6(214), 2.
- [40] Asibor, G., Edjere, O., Ebighe, D. (2016). Leachate characterization and assessment of surface and groundwater water qualities near municipal solid waste dump site at Okuvo, Delta State, Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, 9(4), 523-533.
- [41] Ohwohere-Asuma, O., Aweto, K. E. (2013). Leachate characterization and assessment of groundwater and surface water qualities near municipal solid waste dump site in Effurun, Delta State, Nigeria. *Journal of Environment and earth Science*, 3(9), 126-134.
- [42] Reddy, PS., Nandini, N. (2011). Leachate Characterization and Assessment of Groundwater Pollution Near Municipal Solid Waste Landfill Site. *Nature Environment and Pollution Technology*, 10(3), 415-418.
- [43] Mukherjee, S., Mukhopadhyay, S., Hashim, M. A., Sen Gupta, B. (2015). Contemporary environmental issues of landfill leachate: assessment and remedies. *Critical reviews in environmental science and technology*, 45(5), 472-590.
- [44] Parvin, F., Tareq, S. M. (2021). Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: a systematic review and possible public health risks assessment. *Applied water science*, 11(6), 1-17.
- [45] Sackey, L. N. A., Meizah, K. (2015). Assesment of the quality of leachate at Sarbah landfill site at Weija in Accra. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 7(6), 56-61.
- [46] Khanal, L. N., Adhikari, N. P., Paudel, G., Adhikari, S. (2021). Physicochemical assessment of leachate from Pokhara landfill site and its impact on the quality of Seti River water, Nepal. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 6(2), 194-201.
- [47] Kanownik, W., Policht-Latawiec, A. (2016). Impact of municipal landfill site on water quality in the Włosanka stream. *Journal of Ecological Engineering*, 17(4), 57-64.

- [48] Abdelwaheb, A., Moncef, Z., Hamed, B. D. (2012). Landfill leachate generation and its impact on water at an urban landfill (Jebel Chakir, Tunisia). *Hydrology: Current Research*, 3(2), 1-5.
- [49] Amano, K. O. A., Danso-Boateng, E., Adom, E., Kwame Nkansah, D., Amoamah, E. S., Appiah-Danquah, E. (2021). Effect of waste landfill site on surface and ground water drinking quality. *Water and Environment Journal*, 35(2), 715-729.
- [50] Javahershenas, M., Nabizadeh, R., Alimohammadi, M., Mahvi, A. H. (2022). The effects of Lahijan landfill leachate on the quality of surface and groundwater resources. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(2), 558-574.
- [51] Nyirenda, J., Mwansa, P. M. (2022). Impact of leachate on quality of ground water around Chunga Landfill, Lusaka, Zambia and possible health risks. *Heliyon*, 8(12).
- [52] Asouam, S., Faik, F., & El Morjani, Z. E. A. (2021). Analysis of leachate and water resource quality surrounding municipal solid waste landfill of Tamellast (Agadir, Morocco). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 240, p. 02006). EDP Sciences.
- [53] Mor, S., Ravindra, K., Dahiya, R. P., Chandra, A. (2006). Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environmental monitoring and assessment*, 118, 435-456.
- [54] Alizadeh, M., Mirhoseini, S. A., Dolatabadi, M., Ebrahimi, A. A. (2018). Evaluation the effect of landfill leachate on the surface water quality: A case study in Tonekabon landfill. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 3(1), 472-480.
- [55] Општина Звечан, (2013). Стратегија економског развоја општине Звечан 2014 – 2016.
- [56] Živković, B., Đokić, J., Petrović, M., Kovačević, S. (2023). Estimating Leachate Generation in the Savina Stena Sanitary Landfill through Evapotranspiration Analysis: A Comprehensive Study. *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 33, No. 1 (2024), 981-989. DOI: 10.15244/pjoes/172032.
- [57] Živković, B., Marjanović, J., Đokić, J. (2022). Decision making tools in regional sanitary landfill location selection. *Recycling and Sustainable Development*, 15(1), 97-108.

- [58] Rowe, R. K., Yu, Y. (2010). Factors affecting the clogging of leachate collection systems in MSW landfills. In Proc. of the 6th International Congress on Environmental Geotechnics, New Delhi (Vol. 1, pp. 3-23).
- [59] Stibinger, J. (2017). Approximation of clogging in a leachate collection system in municipal solid waste landfill in Osecna (Northern Bohemia, Czech Republic). *Waste Management*, 63, 131-142.
- [60] Golhosseini, Z., Jalili Ghazizade, M., Safari, E. (2023). Simulating of clogging process in the leachate collection system in the municipal solid waste landfill using column experiments. *Pollution*, 9(3), 1281-1294.
- [61] Bian, X. L., Liu, J. G. (2014). Influence factors in clogging of landfill leachate collection system. *Advanced Materials Research*, 878, 631-637.
- [62] Li, Y., Ma, J., Ren, Y., Li, Y., Yue, D. (2021). Calcium leaching characteristics in landfill leachate collection systems from bottom ash of municipal solid waste incineration. *Journal of Environmental Management*, 280, 111729.
- [63] Wang, Q., Miao, Q., Wang, X., Wang, T., Xu, Q. (2022). Role of surface physicochemical properties of pipe materials on bio-clogging in leachate collection systems from a thermodynamic perspective. *Science of The Total Environment*, 851, 158263.
- [64] Shen, S., Hu, Z. (2023). Factors Affecting the Maximum Leachate Head in the Landfill Drainage Layer under Clogging Conditions. *Sustainability*, 15(6), 5049.
- [65] Akgiray, Ö. (2004). Simple formulae for velocity, depth of flow, and slope calculations in partially filled circular pipes. *Environmental engineering science*, 21(3), 371-385.
- [66] Dostupno na: <https://www.ksb.com/en-pl/magazine/tips-and-tricks/solids-transport-in-waste-water-pipes>.
- [67] Sigourou, S., Theodossiou, N. (2017). Rainwater and leachate management at sanitary landfills. The case of the residue sanitary landfill of Alexandroupolis. In *Book of Abstracts*.
- [68] Lee, G. F., Jones-Lee, A. (1994). A groundwater protection strategy for lined landfills. *Environmental science & technology*, 28(13), 584A-585A.

- [69] Karanac, M., Mihajlović, M., Dajić, A., Stevanović, D., Jovanović, J., Jovanović, M. (2017). Tehnološki elementi projektovanja deponija. Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji–Procesing, 27(1).
- [70] Panthee, S. (2008). Possible methods of preventing groundwater contamination at landfill sites; case studies from Nepal. Bulletin of the Department of Geology, 11, 51-60.
- [71] Zhu, B., Gao, D., Li, J. C., Chen, Y. M. (2012). Model tests on interaction between soil and geosynthetics subjected to localized subsidence in landfills. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 13(6), 433-444.
- [72] Stanković, M. (2020). Primena plastičnih materijala (geosintetika) u izgradnji i održavanju saobraćajnica i drugih objekata. e-kniga.
- [73] Pusch, R. (2013). Principles of locating, designing and constructing landfills of hazardous waste. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 3(3), 215-221.
- [74] Arab, R., Cherifi, F., Loudjani, F. (2009). Landfill drainage with geocomposites. In Colloque international Sols non saturés et environnement, Tiemcem, Algeria.
- [75] Monteiro, C. B., Araújo, G. L. S., Palmeira, E. M., Neto, M. P. C. (2013). Soil-geosynthetic interface strength on smooth and texturized geomembranes under different test conditions. In Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris (pp. 3053-3056).
- [76] Bacas, B. M., Cañizal, J., Konietzky, H. (2015). Shear strength behavior of geotextile/geomembrane interfaces. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 7(6), 638-645.
- [77] Gajić, B., Kresović, B., Pejić, B., Tapanarova, A., Dugalić, G., Životić, L., Tolimir, M. (2020). Neka fizička svojstva dugotrajno zalivanih livadskih zemljišta doline Belog Drima u području Kline. Zemljište i biljka, 69(1), 21-35.
- [78] Kitić, G., Radonić, V., Janković, N., Crnojević-Bengin, V. (2010). Senzor vlažnosti zemljišta baziran na metodi faznog pomeraja. Etran 2010.
- [79] Rasti, A., Pineda, M., Razavi, M. (2020). Assessment of soil moisture content measurement methods: Conventional laboratory oven versus halogen moisture analyzer. Journal of Soil and Water Science, 4(1), 151-160.

- [80] Radičević, B., Vukić, D., Ercegović, D., Oljača, M. V. (2008). The measurement of soil humidity. *Poljoprivredna tehnika*, 33(4), 25-36.
- [81] Nwogwu, N. A., Okereke, N. A. A., Ohanyere, S. O., Chikwue, M. I. (2018). A concise review of various soil moisture measurement techniques. In *Proceedings of the 3RD niae-se regional conference*. University of Nigeria, NSUKKA (pp. 613-624).
- [82] Faé, G. S., Montes, F., Bazilevskaya, E., Añó, R. M., Kemanian, A. R. (2019). Making soil particle size analysis by laser diffraction compatible with standard soil texture determination methods. *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 1244-1252.
- [83] Takahashi, T., Nakano, K., Nira, R., Kumagai, E., Nishida, M., Namikawa, M. (2020). Conversion of soil particle size distribution and texture classification from ISSS system to FAO/USDA system in Japanese paddy soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(3), 407-414.
- [84] Resch, C., Wahbi, A. (2016). *Guidelines for Measuring Bulk Density of Soil* (No. IAEA-TECDOC--1783).
- [85] Dostupno na: <https://megasolution-shop.rs/proizvod/piknometar-gay-lussac-100ml-chemland/>
- [86] Shan, L. I., LI, Q. Q., WANG, C. Q., Bing, L. I., GAO, X. S., LI, Y. D., WU, D. Y. (2019). Spatial variability of soil bulk density and its controlling factors in an agricultural intensive area of Chengdu Plain, Southwest China. *Journal of integrative agriculture*, 18(2), 290-300.
- [87] Al-Shammary, A. A. G., Kouzani, A. Z., Kaynak, A., Khoo, S. Y., Norton, M., Gates, W. (2018). Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28(4), 581-596.
- [88] Aşkin, T., Özdemir, N. (2003). Soil bulk density as related to soil particle size distribution and organic matter content. *Poljoprivreda/Agriculture*, 9, 52-55.
- [89] Özdemir, N., Demir, Z., Bülbül, E. (2022). Relationships between some soil properties and bulk density under different land use. *Soil Studies*, 11(2), 43-50.
- [90] Amšiejus, J., Dirgėlienė, N., Norkus, A., Žilionienė, D. (2009). Evaluation of soil shear strength parameters via triaxial testing by height versus diameter ratio of sample. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(2), 54-60.

- [91] Szavits-Nossan, V. (2015). Stabilnost kosina. Mehanika tla i stijena–predavanje, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu–Građevinski fakultet Zagreb
- [92] Dostupno na: <https://www.utest.com.tr/en/23141/Triaxial-UU-CU-CD-Test-Systems>
- [93] Bapeer, G. B., Muhammad, R. K., Nadr, K. A., Khodakarami, L., Al-Ansari, N. (2020). Geotechnical Properties of Soil in Ranya and Arbat Area, Sulaimaniya, Kurdistan Region, Iraq. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, 10(5), 35-48.
- [94] Bilskie, J., Scientific, C. (2001). Soil water status: content and potential. Campbell Scientific, Inc. App. Note: 2S-1 <http://s.campbellsci.com/documents/ca/technical-papers/soilh20c.pdf> (2 de Abril de 2014).
- [95] Živković, B., Marjanović, J., Đokić, J., Petrović, M. (2023). Soil and rock properties as a basis for the sanitary landfill settings. The 54<sup>th</sup> International October Conference on Mining and Metallurgy, October 18 – 21, Bor.
- [96] Manojlović, M., Čabilovski, R. (2020). Praktikum iz agrohemije. Urednik. Dragana Latković, Izdavač: Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
- [97] Varga, D. (2015). Priručnik za đubrenje ratarskih i povrtarskih kultura. [https://www.subotica.rs/documents/pages/9158\\_1.pdf](https://www.subotica.rs/documents/pages/9158_1.pdf)
- [98] Prakash, K., Sridharan, A., Sudheendra, S. (2014). Hygroscopic moisture content: determination and correlations. Environmental Geotechnics, 3(5), 293-301.
- [99] Strukturna istraživanja, part I: difrakcijske metode (2013). Dostupno nainternetu: <http://www.phy.pmf.unizg.hr/~mpezek/PSEI/materijali/pxrd.pdf>
- [100] Al-Sudani, H. I. Z. (2019). Derivation mathematical equations for future calculation of potential evapotranspiration in Iraq, a review of application of Thornthwaite evapotranspiration. Iraqi Journal of Science, 60(5), 1037-1048.
- [101] Dostupno na internetu: <https://aquastat.fao.org/climate-information-tool>
- [102] Dostupno na internetu: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/serbia/climate-dataprojections>
- [103] Živković B., Marjanović J., Đokić J. (2023). Estimation of the leachate penetration from the sanitary landfill to the ground waters. DISC2023 - 3<sup>rd</sup> International Student Conference, 5<sup>th</sup> December, Novi Sad, p.74.

- [104] EPA, U. (1999). Wastewater technology fact sheet-sequencing batch reactors. UEP Agency, Editor.
- [105] Li, J., Guan, X. Q., Liu, C. (2012). Treatment of the OCC Pulping Wastewater Using SBR Cycle Control. *Advanced Materials Research*, 550, 2100-2103.
- [106] Mohammed, H. M., Kheria, M. E. (2020, July). Municipal Waste Water Treatment Using Sequencing Batch Reactor (SBR). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 881, No. 1, p. 012182). IOP Publishing.
- [107] Nikolić, S., Mojović, L., Vujačić, V., Milovanović, D. (2014). Causes of pollution and the quality of river Ibar in Raška municipality. *Vodoprivreda*, 46(1-6), 179-185.
- [108] Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje, "Sl. glasnik RS", br. 50/2012.
- [109] Cvetković, D., Sustersic, V. (2011). Uporedni pregled karakteristika rotacionih biodiskova i sekvencijalnih faznih reaktora za tretman komunalnih otpadnih voda. *Vodoprivreda* 0350-0519, 43 (2011) 252-254 p. 249-257.
- [110] Didanović, S., & Sekulić, G. (2012). Biljke u procesu prečišćavanja otpadnih voda u Crnoj Gori. *Zaštita materijala*, 53(2), 137-142.
- [111] Serdarević, A., (2015). Efikasnost i uvjeti rada mbr uređaja. *Vodoprivreda* 0350-0519, 47 (2015). 273-275 p. 51-65.
- [112] Ministarstvo privrede. (2019). Konkursna dokumentacija za otvoreni postupak javne nabavke br. 55/2019, Izgradnja kanalizacione mreže i postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u poslovnoj zoni Bela Zemlj, Užice.
- [113] Final report CirculaMare Kosovo. (2022). Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- [114] Cvetković, D., Despotović, M. (2011). Primena SBR sistema u prečišćavanju komunalnih otpadnih voda sa parametarskim modelom postrojenja. *Vodoprivreda*, 43(1).
- [115] Datta, S., Taghvaeian, S., Stivers, J. (2017). Understanding soil water content and thresholds for irrigation management. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- [116] Pooja, P., Bhagwat, T. N. Soil suitability for solid waste dumping: Implication For Groundwater Protection. *Earth Sciences: an International Journal (ESIJ)*, Vol 1 (1).



- [117] Vasin, J. (2016). Fizička i vodno-fizička svojstva zemljišta. Pedološke i agrohemijske karakteristike vinogradarskog rejona Tri Morave, 127-148.
- [118] Belić, M., Nešić, L.J., Ćirić, V. (2014) Praktikum iz pedologije, Izdavač: Univerzitet u novom sadu, urednik: Popović Milan, str. 43.
- [119] Lukić, D. (2018). Friction angle of soil and rock, 6<sup>th</sup> International Conference Contemporary achievements in civil engineering, Subotica, SERBIA.  
DOI: 10.14415/konferencijaGFS2018.034
- [120] Zlatović, S. (2006). Uvod u mehaniku tla. Udžbenik Tehničkog veleučilištva u Zagrebu. , ISBN 953-7048-02-0.
- [121] Gavez, B. (2018). Određivanje deformabilnosti tla u edometru. Doctoral dissertation, University of Zagreb. Faculty of Geotechnical Engineering.
- [122] Petrinjak, I., Štuhec, D., Jeftić, G., Strelec, S. (2018). Usporedba različitih metoda određivanja koeficijenta propusnosti nekoherentnog tla. Environmental Engineering-Inženjerstvo okoliša, 5(1-2), 99-108.
- [123] Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2018. godinu. Agencija za zaštitu životne sredine, Ministarstvo zaštite životne sredine, Srbija, 2019.
- [124] Vassileva, R. D., Bonev, I. K. (2008). Mineralogy of diopside-phlogopite marbles from the Modi-Khola valley, the Central Nepal Himalaya. Geochemistry, Mineralogy and Petrology, 46, 69-84.
- [125] Đorđievski, S., Petrović, J., Krstić, V., Stevanović, Z., Marković, R., Jonović, R., Avramović, L. (2016). Comparative XRD and XRF analysis of selected mine waste samples from Oštrejski Planir dump (Bor, Serbia). Recycling and sustainable development, 9(1), 21-27.

## СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Процентуална заступљеност свих категорија у комуналном отпаду у Републици Србији .....	2
Слика 2. Макролокација санитарне депоније „Савина Стена“ .....	13
Слика 3. Количина отпада по становнику.....	14
Слика 4. Укупна количина отпада по општинама.....	14
Слика 5. Количина отпада по фракцијама (kg/дан).....	15
Слика 6. Финално рангирање алтернатива за локацију.....	17
Слика 7. Дубински узорци земљишта: а) У1, б) У2, в) У3 .....	23
Слика 8. Површински узорак земљишта (УП) .....	23
Слика 9. Пикнометар.....	26
Слика 10. Триакартни УУ уређај .....	29
Слика 11. Тачке посматрања кретања воде у графичком домену.....	38
Слика 12. Шематски приказ SBR система са шаржним реакторима.....	43
Слика 13. Гранулометријска крива У1 узорка.....	47
Слика 14. Гранулометријска крива У2 узорка.....	48
Слика 15. Гранулометријска крива У3 узорка.....	48
Слика 16. USDA дијаграм за У1 узорак .....	50
Слика 17. USDA дијаграм за У2.....	51
Слика 18. USDA дијаграм за У3.....	52
Слика 19. Мохрове кружнице.....	55
Слика 20. Дијаграми пластичности за: а) У1 и У2 .....	57
Слика 20. Дијаграми пластичности за: б) У3.....	57
Слика 21. Дијаграм стишљивости за узорак У1 .....	59
Слика 22. Дијаграм стишљивости за У2 .....	59
Слика 23. Дијаграм стишљивости за У3 .....	60
Слика 24. рН у Н <sub>2</sub> О и КСl – у .....	62
Слика 25. Садржај органског С у површинском узорку земљишта .....	63
Слика 26. Процентуални садржај хумуса у површинском узорку земљишта.....	64
Слика 27. Садржај Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> и К <sub>2</sub> О у површинском узорку земљишта .....	64
Слика 28. USDA дијаграм површинско узорка земљишта.....	66
Слика 29. Дифрактограм са детектованим минералима за површински узорак земљишта.....	67
Слика 30. Висина притиска у односу на време на одабраним тачкама посматрања (N1-40 cm, N2-80 cm, N3-120 cm, N4-160 cm и N5-200 cm).....	73
Слика 31. Садржај воде у односу на време у посматраним тачкама (N1-40 cm, N2-80 cm, N3-120 cm, N4-160 cm и N5-200 cm) .....	74
Слика 32. Проток воде за задате чворове у односу на време.....	75
Слика 33. Напредовање фронта влажности у односу на време .....	75
Слика 34. Садржај воде у профилу земљишта по дубини.....	76
Слика 35. Приказ збирног протока у узорку.....	77
Слика 36. Криве задржавања воде у земљишту .....	78
Слика 37. Информације о времену симулације.....	79
Слика 38. Евалуациона матрица PROMETHEE мултикритеријумске анализе.....	81
Слика 39. Рангирање алтернатива: а) парцијално рангирање и б) коначно рангирање .....	82

Слика 40. PROMETHEE дијамант .....	83
Слика 41. PROMETHEE GAIA.....	84
Слика 42. PROMETHEE Тежински фактори: а) задати тежински фактори б) изједначени тежински фактори.....	85
Слика 43. Аератори у SBR 1 реактору .....	87
Слика 44. Аератор у SBR 2 реактору.....	88

## СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Распон концентрација параметра процедурне воде .....	8
Табела 2. Карактеристике процедурне воде у односу на старост депоније.....	9
Табела 3. Предвиђена количина генерисаног отпада за 2020-2035 .....	16
Табела 4. Средња вредност дневне осветљености за латитуду 42° у 15 h (P) .....	34
Табела 5. Метеоролошки подаци за период 1990-2020 .....	35
Табела 6. Пројектовани метеоролошки подаци за период 2020-2039 .....	36
Табела 7. Хидраулички параметри земљишта.....	37
Табела 8: Граничне вредности загађујућих материја за II класу површинских вода .....	40
Табела 9. Садржај влаге у земљишту .....	46
Табела 10. Специфична густина земљишта .....	53
Табела 11. Порозност земљишта у процентима .....	54
Табела 12. Природна густина земљишта.....	54
Табела 13. Модул компресибилности .....	58
Табела 14. Коефицијент филтрације.....	61
Табела 15. Класификација земљишта на основу коефицијента филтрације .....	61
Табела 16. Физичко - хемијска анализа површинског узорка земљишта .....	62
Табела 17. Садржај механичких фракција .....	65
Табела 18.Коригована потенцијална евапотранспирација и потенцијалана евапотранспирација mm/месец (1990-2020).....	69
Табела 19. Количина процедурних вода на основу метеоролошких података за период 1990-2020 .....	70
Табела 20. Коригована потенцијална евапотранспирација и потенцијалана евапотранспирација mm/месец (2020-2039).....	71
Табела 21. Количина процедурне воде на основу података 2020-2039.....	72
Табела 22. Информације о масеном билансу .....	80
Табела 23. Позитиван, негативан и нето проток .....	81
Табела 24. Димензионисање Секвенционалног шаржног реактора .....	86

## Биографија аутора

### Бојана (Зоран) Живковић

Дипломирала сам 2017. године, на факултету „Унион – Никола Тесла“, са просечном оценом 8,94. Стекла сам звање дипломирани аналитичар заштите животне средине, на Факултету за екологију и заштиту животне средине. Мастер академске студије сам уписала школске 2017/2018, на студијском програму Инжењерство заштите животне средине и заштите на раду, модул: Инжењерство заштите животне средине. Дипломирала сам 2018. године, са просечном оценом 10,00 и стекла звање мастер инжењер заштите животне средине.

Уписала сам докторске академске студије школске 2018/2019. године на Катедри за Технолошко инжењерство на Факултету Техничких наука у Косовској Митровици.

Од почетка студирања бавим се научно – истраживачким радом. Данас имам 2 публикована рада у међнародном часопису са импакт фактором (M23), 1 рад категорије M24, један рад категорије M51, шест саопштења на међнародним скуповима штампаних у целости (M33), два саопштења на међнародним скуповима штампаних у изводу (M34).

Област интересовања заштита животне средине, заштита природних ресурса, управљање отпадом.

Тренутно живим у Звечану, а радим у „Апотекарска установа Косовска Митровица“. Говорим енглески језик.

У Косовској Митровици, \_\_\_\_\_

## Изјава о ауторству

Потписана: Бојана Живковић

Број индекса: 2/2018

### *Изјављујем*

да је докторска дисертација под насловом:

„Студија утицаја климатских промена на квалитет и квантитет процедурних вода санитарне депоније Савина Стена“

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанта**

---

У Косовској Митровици, \_\_\_\_\_

## **Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада**

Име и презиме аутора: Бојана Живковић

Број индекса: 2/2018

Студијски програм: Технолошко инжењерство

Наслов рада: „Студија утицаја климатских промена на квалитет и квантитет  
процедних вода санитарне депоније Савина Стена“

Ментор: Проф. др Јелена Ђокић

Потписана: Бојана Живковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици.

**Потпис докторанта**

У Косовској Митровици, \_\_\_\_\_

**Изјава о коришћењу**

Овлашћујем Универзитетску библиотеку да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Приштини, са привременим седиштем у Косовској Митровици унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Студија утицаја климатских промена на квалитет и квантитет процедурних вода санитарне депоније Савина Стена“

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа)

**Потпис докторанта**

---

У Косовској Митровици, \_\_\_\_\_



1. Ауторство - Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавн саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавање умножавања, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.