

# Procjedne vode uređenog odlagališta otpada Gorjak

---

**Gumbas, Renata**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:962103>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Renata Gumbas

**PROCJEDNE VODE UREĐENOG  
ODLAGALIŠTA OTPADA GORJAK**

**Diplomski rad**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Renata Gumbas

# **PROCJEDNE VODE UREĐENOG ODLAGALIŠTA OTPADA GORJAK**

Diplomski rad  
predložen Geološkom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog stupnja  
magistra geologije zaštite okoliša

Mentor:  
doc. dr. sc. Hana Fajković

Zagreb, 2019.

*Ovaj je diplomski rad izrađen na Geološkom odsjeku pod vodstvom doc. dr. sc. Hane Fajković, u sklopu diplomskog sveučilišnog studija geologije zaštite okoliša na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.*

## **Zahvala**

*Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Hani Fajković za ideju i pomoć pri izradi ovog diplomskog rada.*

*Hvala i svim profesorima Geološkog odsjeka na prenesenom znanju .*

*Veliko hvala i mojoj obitelji na potpori, strpljenju i vjeri tijekom studiranja.*

Renata Gumbas

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu

Prirodoslovno – matematički fakultet

Geološki odsjek

Diplomski rad

PROCJEDNE VODE UREĐENOG ODLAGALIŠTA OTPADA GORJAK

RENATA GUMBAS

Rad je izrađen u Mineraloško–petrografskom zavodu PMF-a, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb.

**Sažetak:** Odlagalište otpada Gorjak je odlagalište neopasnog, komunalnog otpada smješteno u SZ Hrvatskoj. To odlagalište izgrađeno je u skladu s Pravilnikom, a sastoji se od brtvenog i drenažnog sloja, zdenaca za otplinjavanje i sabirnog bazena za prihvrat procjednih voda. Cilj rada bio je procijeniti utjecaj tog odlagališta otpada na okoliš, a navedeno se procjenjivalo pomoću rezultata kemijskih analiza procjednih voda sakupljenih na odlagalištu otpada dva puta godišnje u periodu od 2016. - 2018. godine. U tu svrhu svaka kemijska analiza bila je obrađena statističkim metodama, a dobiveni rezultati uspoređivani su međusobno i s maksimalno dopuštenim koncentracijama (mdk) propisanim legislativom. Analizom je dokazano da se koncentracije svih izmjerenih parametara (Pb, Cd, Hg, As, Zn, Ni, Cu, nitriti, fluoridi i cijanidi) nalaze ispod MDK propisanih Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. Iz navedenog proizlazi da po trenutno važećim propisima ovo odlagalište otpada ne predstavlja rizik za zdravlje ljudi i okoliš.

Ključne riječi: MDK, uređeno odlagalište, otpad, procjedne vode

Rad sadrži: 40 + V str., 28 slika, 3 tablice

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u Središnjoj geološkoj knjižnici PMF-a, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Mentor: doc. dr. sc. Hana Fajković

Ocjenjivači: doc. dr. sc. Hana Fajković

izv. prof. dr. sc. Gordana Medunić

prof. dr. sc. Alan Moro

Rad prihvaćen: 13. rujna 2019.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb

Faculty of Science

Department of Geology

Master of Science Thesis

### SEEPAGE WATER FROM GORJAK WASTE LANDFILL

RENATA GUMBAS

Thesis completed at Department of Mineralogy and Petrography, Faculty of Science, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb.

**Abstract:** Landfill Gorjak is a landfill of non-hazardous, municipal waste located in NW Croatia. The landfill is constructed in accordance with the Regulations and consist of a sealing and drainage layer, degassing wells and a collecting pool for receiving leachate. The aim of the study was to evaluate the environmental impact of this landfill and the above was evaluated using the results of chemical analyzes of leachate collected at the landfill twice a year in a period 2016. - 2018. For this purpose, each chemical analysis was processed by statistical methods and the results were compared with each other and with the maximum permissible concentrations (mdk) prescribed by the legislation. The analysis has shown that the concentrations of all measured parameters (Pb, Cd, Hg, As, Zn, Ni, Cu, nitrites, fluorides and cyanides) are below the MRLs prescribed by the Regulation on the Limit Values of Waste Water Emissions. From the above it follows that according to the regulations currently in force this landfill does not pose a risk to human health and the environment.

Keywords: landfill, waste, leachate, maximum permissible concentrations

Thesis contains: 40 + V pages, 28 figures, 3 tables

Original in: Croatian

Thesis deposited in Central Geological Library, Faculty of Science, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Supervisor: doc. dr. sc. Hana Fajković

Reviewers: doc. dr. sc. Hana Fajković

izv. prof. dr. sc. Gordana Medunić

prof. dr. sc. Alan Moro

Thesis accepted: September 13<sup>th</sup> 2019

## Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. TEORIJSKA OSNOVA .....	2
2. 1. ODLAGALIŠTA OTPADA .....	3
2. 2. DIZAJN UREĐENIH ODLAGALIŠTA OTPADA .....	5
2. 2. 1. BRTVENI SLOJEVI .....	5
2. 2. 2. SUSTAV OTPLINJAVANJA.....	6
2. 3. PROCJEDNE VODE .....	7
2. 3. 1. NASTANAK PROCJEDNIH VODA.....	7
2. 3. 2. SASTAV PROCJEDNIH VODA.....	8
2. 4. PROČIŠĆAVANJE PROCJEDNIH VODA.....	10
2. 4. 1. KONVENCIONALNE METODE PROČIŠĆAVANJA PROCJEDNIH VODA .....	10
2. 4. 2. NOVE METODE OBRADE PROCJEDNIH VODA.....	11
2. 5. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA .....	13
2. 5. 1. ARITMETIČKA SREDINA .....	13
2. 5. 2. STANDARDNA DEVIJACIJA I VARIJANCA .....	13
2. 5. 3. KOEFICIJENT VARIJABILNOSTI.....	14
2. 5. 4. KOEFICIJENT KORELACIJE.....	14
2. 5. 5. KLASTERSKA ANALIZA (CA) .....	15
3. ODLAGALIŠTE OTPADA GORJAK .....	16
3. 1. PROSTORNI SMJEŠTAJ ODLAGALIŠTA OTPADA .....	16
3. 2. GEOLOGIJA PODRUČJA.....	19
3. 3. TEHNIČKE SASTAVNICE ODLAGALIŠTA.....	22
4. MATERIJALI I METODE.....	24
4. 1. MAKSIMALNO DOPUŠTENA KONCENTRACIJA (MDK).....	25
5. REZULTATI I RASPRAVA.....	26
6. ZAKLJUČAK.....	38
7. LITERATURA .....	39
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V



## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA, KRATICA I SIMBOLA

BPK – biokemijska potrošnja kisika

KPK – kemijska potrošnja kisika

L – litra

M – metar

MDK – maksimalno dopuštena koncentracija

mg/L – miligram po litri

## 1. UVOD

Posljednjih nekoliko godina i desetljeća slika svijeta bitno se promijenila. Najveće promjene dogodile su se u polju znanosti, tehnike i tehnologije čiji je brzi razvoj doveo do velikog socijalnog i ekonomskog razvoja čovječanstva. Nagli porast broja stanovnika i kupovne moći te sve veće iskorištavanje prirodnih resursa stvaraju veliki pritisak na planet Zemlju. Jedna od glavnih posljedica takvog, modernog, načina života je stvaranje prekomjernih količina otpada koji predstavlja središnji problem zaštite okoliša, ali i problem sveukupne civilizacije.

Gospodarenje otpadom je mjera čiji su ciljevi zaštita ljudi i okoliša te očuvanje resursa na način koji ne šteti dobrobiti sadašnjih niti budućih generacija. Ono uključuje sakupljanje, prijevoz, uporabu i zbrinjavanje otpada te nadzor nad tim postupcima kao i naknadno održavanje lokacija na kojima je otpad zbrinut. Primjena te mjere je nužna, posebice ako može doći do ugrožavanja ljudskog zdravlja, onečišćenja voda, zraka ili tla, širenja bolesti i narušavanja izgleda krajolika. Drugi, ali ne manje važniji, cilj gospodarenja otpadom je ponovna upotreba otpada u energetske ili druge svrhe.

Svrha ovog rada bila je procijeniti utjecaj uređenog odlagališta otpada Gorjak na okoliš. Taj utjecaj procjenjivao se na temelju rezultata kemijskih analiza procjednih voda sakupljenih sa odlagališta u periodu od tri godine i obrađenih statističkim metodama. Dobiveni rezultati su se potom uspoređivali međusobno, kao i sa maksimalno dopuštenim vrijednostima propisanih legislativom kako bi se utvrdilo postoji li neki element ili spoj čije vrijednosti odstupaju od propisanih.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA

Otpad je svaka tvar ili predmet koju posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje i prijevoz nužni u svrhu zaštite javnog interesa (NN 94/13, 73/17).

Otpad se dijeli prema svojstvima i mjestu nastanka.

Podjela otpada prema svojstvima (NN 114/15):

- Opasni otpad – otpad koji sadrži jedno ili više opasnih svojstava (eksplozivnost, reaktivnost, toksičnost, kancerogenost, mutagenost, infektivnost, zapaljivost...)
- Neopasni otpad – otpad koji ne sadrži niti jedno od opasnih svojstava
- Inertni otpad – otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim ili biološkim promjenama

Podjela otpada prema mjestu nastanka (NN 94/13):

- Komunalni otpad – otpad nastao u kućanstvu i tome sličan otpad, osim proizvodnog otpada i otpada iz šumarstva i poljoprivrede
- Proizvodni otpad – otpad nastao u proizvodnim procesima u industriji, obrtu i drugim procesima, osim ostataka iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača

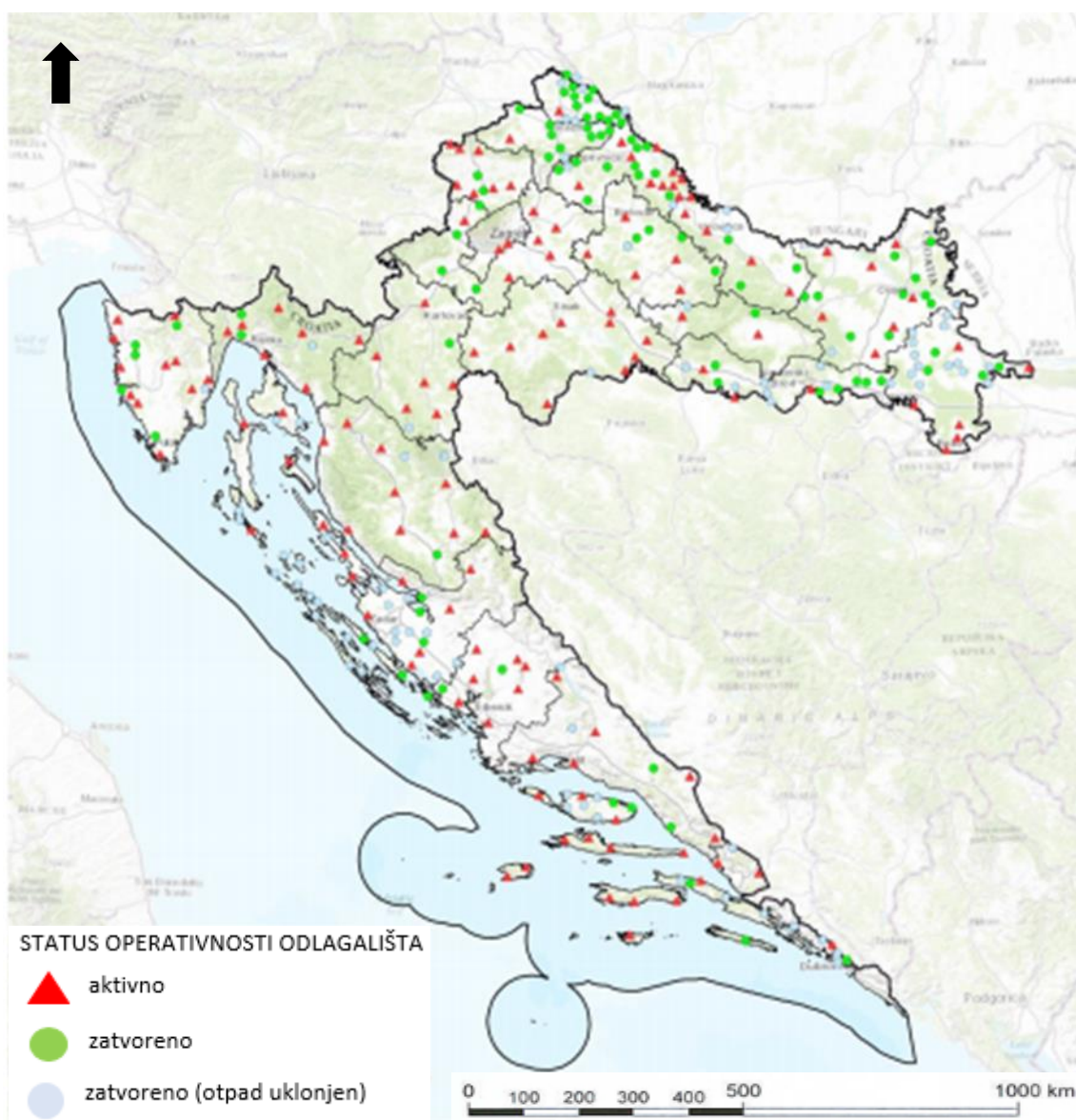
Uz navedene postoji i posebna kategorija otpada. U tu kategoriju ubrajaju se biootpad, otpadni tekstil i obuća, otpadna ambalaža, otpadne baterije i akumulatori, medicinski otpad, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, električni i elektronički uređaji i oprema (Slika 1.), građevni otpad, otpadne gume i ulja.



Slika 1. Posebna kategorija otpada - elektronički i elektronski uređaji (internetski izvor 1)

## 2. 1. ODLAGALIŠTA OTPADA

Odlagališta otpada su građevine namijenjene odlaganju otpada na površinu ili ispod površine zemlje. U sklopu odlagališta otpada mogu se nalaziti i građevine za skladištenje te obradu otpada. Sav otpad zaprimljen na odlagalište otpada mora se obraditi ili razvrstati sukladno članku 5. i 6. Direktive o odlagalištima (NN 73/17). Obrada uključuje odvajanje, razvrstavanje, recikliranje, kompostiranje, spaljivanje i stabilizaciju otpada. U Republici Hrvatskoj je evidentirano ukupno 310 odlagališta otpada od kojih je, prema podacima Agencije za zaštitu okoliša, aktivno ukupno 141 odlagalište (Slika 2).



Slika 2. Karta statusa operativnosti odlagališta otpada u Republici Hrvatskoj (internetski izvor 2)

Agencija za zaštitu okoliša pokrenula je 2004. godine projekt „Katastar odlagališta otpada“ u kojem su podaci prikupljeni posebnim upitnikom kojeg je ispunio 121 grad i 413 općina. Katastar sadržava podatke o odlagalištu otpada, površini, kapacitetu i količini odloženog otpada, vrsti otpada, statusu operativnosti odlagališta i dozvolama, opremljenosti odlagališta, glavnim obilježjima odlagališta i stanju istoga. S obzirom na pravni status, veličinu, vrstu odloženog otpada, stanje aktivnosti i utjecaj na okoliš odlagališta otpada dijele se u pet kategorija. U kategoriji legalnih uređenih odlagališta otpada nalaze se odlagališta koja su sagrađena u skladu s važećim propisima, a rade uz odobrenje nadležnog tijela na temelju provedene procjene o utjecaju na okoliš te ishodenih dozvola.

Odlagališta otpada u postupku legalizacije su odlagališta predviđena odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima za koje je započeo, ali još nije dovršen postupak procjene utjecaja na okoliš, odnosno ishodenje potrebnih dozvola.

Službena odlagališta otpada su veći, neuređeni prostori za odlaganje otpada, predviđeni odgovarajućim prostorno-planskim dokumentima za koje nije proveden postupak procjene utjecaja na okoliš niti raspolažu ijednom od potrebnih dozvola.

Manji, neuređeni prostori za odlaganje otpada koji nisu predviđeni prostorno-planskim dokumentima i za koje nije proveden postupak procjene utjecaja na okoliš predstavljaju dogovorena odlagališta otpada. Ona ne raspolažu niti jednom dozvolom, a rade u dogovoru s nadležnim tijelom.

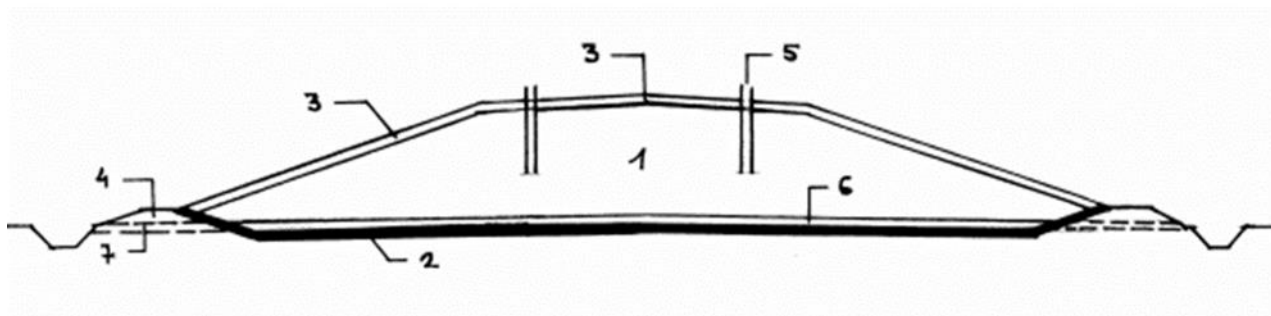
Divlja odlagališta otpada (Slika 3.) su hijerarhijski najniža, organizacijski najlošija i ekološki posve neprihvatljiva kategorija odlagališta manjih površina koje su najčešće formirali građani bez znanja tijela lokalne samouprave. Takva odlagališta ne raspolažu nikakvim dokumentima niti potrebnim dozvolama.



Slika 3. Divlje odlagalište otpada (internetski izvor 3)

## 2. 2. DIZAJN UREĐENIH ODLAGALIŠTA OTPADA

Odlagališta otpada trebaju biti objekti koji su izgrađeni i opremljeni za trajno, sigurno, kontrolirano i organizirano odlaganje otpada, a to se postiže odgovarajućom izgradnjom. Najvažniji dijelovi uređenog odlagališta otpada su brtveni slojevi (donji i gornji), sustav za prikupljanje i odvodnju procjednih voda te sustav za otplinjavanje. Slika 4. prikazuje presjek kroz uređeno odlagalište otpada.



Slika 4. Presjek i glavni dijelovi uređenog odlagališta otpada

Legenda:

1-otpad

2-donji brtveni sloj

3-pokrovni brtveni sloj

4-obodni nasip

5-zdenci za otplinjavanje

6-drenažni tepih

7-odvod vode

### 2. 2. 1. BRTVENI SLOJEVI

Brtveni slojevi predstavljaju izolacijske pregrade između okoliša i odloženog materijala. Glavna zadaća tih sustava je spriječiti kontakt tijela odlagališta s površinskim i podzemnim vodama. Kod brtvenih slojeva razlikuju se temeljni i pokrovni brtveni sloj. Temeljni brtveni sloj izgrađuju nepropusni materijali, najčešće glina, bitumen, asfalt ili plastična folija. On onemogućuje kontakt odlagališta s podlogom. Pokrovni brtveni sloj prekriva otpad i onemogućava prodiranje oborinskih voda u tijelo odlagališta.

## 2. 2. 2. SUSTAV OTPLINJAVANJA

Tijekom razgradnje otpada na odlagalištu se razvijaju plinovi. Sastav plinova se s vremenom mijenja, a plin s tipičnog odlagališta otpada uglavnom se sastoji od ugljikovog dioksida, metana i dušika. Međutim, ovisno o sastavu otpada koji se odlaže, odlagališni plin može u vrlo niskim koncentracijama sadržavati i sumporovodik, amonijak, disulfide i druge nemetanske ugljikovodike. Ovisno o sastavu otpada i uvjetima na odlagalištu najintenzivniji procesi nastanka plinova se odvijaju u razdoblju od 3. - 20. godine.

Otpadni plinovi mogu se sakupljati pasivno ili aktivno (Veinović Ž., Kvasnička P., 2007. ). Sustav pasivnog sakupljanja plinova sastoji se od horizontalno postavljenih cijevi pri čemu se koristi prirodni pritisak plina za njegovo sakupljanje i odvođenje izvan tijela odlagališta. Najveći nedostatak pasivnog otplinjavanja je njegova ovisnost o promjenama atmosferskog tlaka. Kod niskog tlaka zraka iz tijela odlagališta se mogu oslobađati veće količine plinova, dok kod visokog tlaka zraka oslobađanje odlagališnih plinova u atmosferu može u potpunosti izostati. Sustav aktivnog sakupljanja plinova se sastoji od pokrivenih mreža cijevi i pumpi za hvatanje plina. Taj plin potom ide na obradu i obrađen se iskorištava za dobivanje električne energije i topline.

## 2. 3. PROCJEDNE VODE

Procjedne vode su smeđe do crne koloidne otopine (Slika 5a. i 5b.) koje nastaju cirkulacijom oborinske vode kroz tijelo odlagališta, dijelom potječu od vode koja se unese u sastavu odloženog otpada, a dijelom nastaju i biokemijskim procesima razgradnje otpada. Neugodnog su mirisa, visoke vodljivosti, organskog opterećenja i visokih koncentracija amonijaka koji nastaje razgradnjom proteina, a mogu sadržavati povišene do visoke vrijednosti teških metala (Oreščanin V., 2011.). Procjedne vode predstavljaju veliki problem u smislu zaštite stanovnika od negativnog utjecaja odlaganja otpada, a također direktno ugrožavaju površinske i podzemne vode na području odlagališta otpada i u njegovoj neposrednoj blizini.



Slika 5a. i 5b. Procjedne vode sa odlagališta otpada (internetski izvor 5)

### 2. 3. 1. NASTANAK PROCJEDNIH VODA

Procjedne vode javljaju se u odlagalištu kada je unutarnji sadržaj vlage u otpadu veći od kapaciteta njezinog vezivanja. Količina procjednih voda može varirati između različitih odlagališta otpada, a ovisi o sljedećim čimbenicima:

- svojstvima odloženog otpada
- klimatskim obilježjima lokacije
- hidrološkim i hidrogeološkim uvjetima lokacije
- stupanju uređenja odlagališta te tehnikama zbrinjavanja i manipulacije otpada



Glavnina procjednih voda nastaje od vanjskih, oborinskih voda koje prodiru u tijelo odlagališta. Maksimalna količina procjednih voda formira se u proljeće, a minimalna u jesen (EPA, 2000.).

### 2. 3. 2. SASTAV PROCJEDNIH VODA

Za određivanje sastava procjednih voda potrebno je napraviti niz kemijskih i mikrobioloških analiza uzoraka procjednih, odlagališnih voda.

U procjednim vodama najčešće se određuju sljedeći parametri: kemijska potrošnja kisika (KPK), biokemijska potrošnja kisika (BPK), odnos BPK/KPK, pH-vrijednost, suspendirana tvar,  $\text{NH}_3\text{-N}$  i ukupni dušik. Vrijednosti navedenih parametara ovise prvenstveno o starosti odlagališta, a varijacije se mogu javiti i s obzirom na sastav otpada te klimatske uvjete lokacije odlagališta. Odnos BPK/KPK te vrijednosti KPK-a i BPK-a smanjuju se s porastom starosti odlagališta. Koncentracija suspendirane tvari također opada s porastom starosti odlagališta.

Procjedne vode uređenih odlagališta otpada uglavnom sadrže otopljenu organsku tvar, sulfide, kloride, teške metale i druge štetne tvari, a njihove koncentracije ovise o starosti odlagališta otpada, vrsti otpada i fazama razgradnje otpada. Razlikuje se pet faza razgradnje otpada (Zovko M., 2012.) od početka odlaganja do stabilizacije, a koje utječu na promjenu sastava procjednih voda.

Prva, aerobna faza razgradnje predstavlja kratkotrajni proces koji se odvija u rasponu od nekoliko dana do nekoliko tjedana, a ovisi o količini raspoloživog kisika. U tu fazu uključeni su samo gornji, površinski slojevi svježeg odloženog otpada. Tijekom te faze mikroorganizmi razlažu organske čestice istovremeno stvarajući ugljični dioksid, manje organske molekule i vodu. Ugljični dioksid potom odlazi u atmosferu ili se adsorbira u vodi tvoreći karbonatnu kiselinu koja povećava kiselost procjednih voda. Ovom reakcijom dolazi do razaranja plijesni, virusa i bakterija, odnosno dolazi do sterilizacije otpada. U ovoj fazi pH pada na vrijednost četiri.

Odlaganjem novih slojeva otpada i potrošnjom kisika završava aerobna faza razgradnje otpada, a započinje faza hidrolize i fermentacije. Otpad razlažu anaerobni mikroorganizmi. Hidrolizom ugljikohidrata nastaju šećeri koji se dalje razgrađuju na ugljični dioksid, vodik, amonijak i organske kiseline. Koja će kiselina nastati ovisi o sastavu i podrijetlu otpada. Na kraju te faze procjedne vode sadrže puno amonijaka i karboksilnih

kiselina zbog čega imaju visoku BPK vrijednost. Također je u njima prisutno i puno metala. Odlagališni plin sadrži ugljični dioksid i vodik. pH-vrijednost je kisela.

Acetogeneza je treća faza razgradnje otpada. U odlagalištu i dalje prevladavaju anaerobni uvjeti. U toj fazi mikroorganizmi koriste ugljični dioksid i vodik te nastaju metan i voda. Mogu se javiti i sumporovodici. Zbog prisutnosti organskih kiselina procjedne vode su u ovoj fazi još kiselije. pH-vrijednost je manja od četiri.

Nakon faze acetogeneze slijedi faza metanogeneze. Za tu fazu potrebno je stvaranje dovoljnih količina metana pa ona može trajati nekoliko desetaka godina. Metanogeni organizmi uz pomoć vodika stvaraju metan (60%) i ugljični dioksid (40%) iz organskih kiselina. Koncentracije vodika znatno opadaju. Tijekom faze metanogeneze prisutne su mezofilne i termofilne bakterije. pH raste na vrijednost između 7 i 8.

Posljednja faza u razgradnji je oksidacija. Nakon završetka metanogeneze ponovno se uspostavljaju stabilni uvjeti i na odlagalištu se javljaju aerobni organizmi. Karboksilne kiseline nestale su tijekom proizvodnje metana. Postepeno se događa stabilizacija otpada. Ta faza može trajati jako dugo jer amonijak i dušik ostaju godinama u procjednoj vodi.

Osim svih navedenih, u procjednim vodama se mogu nalaziti i neke druge tvari kao što su policiklički aromatski ugljikovodici (benzeni, fenoli, etilbenzeni...), pesticidi i farmaceutski proizvodi. Iako su te tvari prisutne u relativno niskim količinama one ipak predstavljaju rizik za okoliš zbog svoje visoke biološke aktivnosti (Oreščanin V., 2014.).

## 2. 4. PROČIŠĆAVANJE PROCJEDNIH VODA

Prema EU Direktivi o odlaganju otpada, procjedne vode koje nastaju na odlagalištu otpada treba sakupiti i pročistiti prije bilo kakvog ispuštanja u okoliš. Ta voda se skuplja i pročišćava kako bi se uklonile štetne tvari ili da se njihova koncentracija svede na razinu prihvatljivu za životnu sredinu. Zbog svojeg sastava procjedne vode su teške za obradu te da bi se postigla zakonom propisana kvaliteta izlaznog efluenta potrebno je kombinirati nekoliko različitih metoda obrade procjednih voda. Razlikuju se konvencionalne i nove metode pročišćavanja procjednih voda.

### 2. 4. 1. KONVENCIONALNE METODE PROČIŠĆAVANJA PROCJEDNIH VODA

Konvencionalne metode podrazumijevaju biološke i fizikalno – kemijske metode obrade procjednih voda, adsorpciju i stripiranje-najčešća metoda za uklanjanje dušika iz procjednih voda.

#### **BIOLOŠKE METODE OBRADU PROCJEDNIH VODA**

Biološke metode obrade procjednih voda koriste se s ciljem smanjenja sadržaja organskih tvari i dušika. Metode biološke obrade koriste mikroorganizme koji pretvaraju neželjene produkte u biomasu i plinove. Zbog svoje jednostavnosti, pouzdanosti i visoke ekonomičnosti te metode se ponajviše koriste za obradu procjednih voda koje imaju visoku BPK vrijednost. Biološke metode obrade procjednih voda se mogu podijeliti na aerobne i anaerobne procese.

#### **FIZIKALNO – KEMISKA OBRADA PROCJEDNIH VODA**

Fizikalno – kemijski procesi obrade procjednih voda podrazumijevaju uklanjanje suspendiranih i koloidnih čestica, plutajućih materijala, boja i toksičnih spojeva.

#### **ADSORPCIJA**

Adsorpcija je proces koji podrazumijeva prijenos tvari iz tekuće na čvrstu fazu na koju se veže kemijskom ili fizičkom vezom. Adsorpcija je uzrokovana privlačnim silama koje se javljaju između površine adsorbensa i molekula u otopini ili plinu koje se adsorbiraju, a prati ju oslobađanje topline. To je najčešće korištena metoda za uklanjanje organskih

spojeva iz procjednih voda. Najčešće korišteni adsorbens je aktivni ugljen. On se koristi u dva oblika: zrnati aktivni ugljen (engl. Granular activated carbon, GAC) ili aktivni ugljen u prahu (engl. Powdered activated carbon, PAC). Obrada procjednih voda odlagališta koristeći GAC kao adsorbens se pokazala najučinkovitijom za uklanjanje teških metala kao što su kadmij, bakar, krom, mangan, olovo i cink. Koristeći GAC u neutralnom pH području može se postići 80-96%-tno uklanjanje teških metala (EPA, 2000.).

## **STRIPIRANJE**

Najčešće korištena metoda za uklanjanje  $\text{NH}_3\text{-N}$  iz procjednih voda je stripiranje. To je metoda koja se temelji na protustrujnom cirkuliranju zraka i onečišćene vode te se koristi za uklanjanje hlapivih organskih i amonijevih spojeva. Kako bi uklanjanje onečišćivala stripiranjem bilo uspješno, proces se mora voditi pri visokim pH vrijednostima, a kontaminirana plinska faza se mora obraditi sa sumpornom ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ili kloridnom kiselinom.  $\text{NH}_3\text{-N}$  se prenosi iz otpada u zrak i zatim se apsorbira iz zraka u jaku kiselinu kao što je  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ili izravno u tok okolnog zraka. Glavni nedostatak ove metode je negativni utjecaj na okoliš zbog emisije plina u atmosferu (EPA, 2000.).

## **2. 4. 2. NOVE METODE OBRADU PROCJEDNIH VODA**

Nove metode obrade procjednih voda uključuju membranske procese. To su nanofiltracija, ultrafiltracija i reverzna osmoza.

### **NANOFILTRACIJA**

Nanofiltracija je membranski postupak pogodan za uklanjanje organskog, anorganskog i mikrobiološkog onečišćenja iz procjednih voda. To je postupak koji se provodi uz tlak od 5 - 15 bara s veličinom pora na membrani od 15 mikrometara. Membrane za nanofiltraciju su slične membranama za reverznu osmozu, proizvode se iz istih polimera i na isti način. Te membrane vrlo dobro zadržavaju manje organske molekule s molarnom masom preko 100 - 200 kao što su pesticidi, herbicidi, boje i šećeri te imaju 2 - 5 veću permeabilnost od reverzne osmoze tako da se mogu upotrebljavati pri nižim tlakovima. Nanofiltracija predstavlja ekonomičniju varijantu reverzne osmoze.

## ULTRAFILTRACIJA

Ultrafiltracija je vrsta membranske filtracije gdje se tvari odvajaju pomoću membrane s veličinom pora od 0,05 mikrometara. To je postupak kod kojeg sila hidrostatskog tlaka gura tekućinu kroz polupropusne membrane pri čemu molekule otapala lako prolaze kroz pore, a otopljena tvar veće molekulske mase se zadržava na membranama. Ultrafiltracijom se uklanjaju koloidne tvari s velikom molekularnom masom te organske ili anorganske polimerne molekule male molekularne težine, ioni natrija, kalcija, magnezij-klorida i sulfata. Nedostatak ultrafiltracije je visoka cijena jer je vijek trajanja membrana ograničen, velika količina energije koja je potrebna za cirkulaciju otopine, a i membrane se moraju često čistiti.

## REVERZNA OSMOZA

Reverzna osmoza je jedna od novijih metoda među procesima obrade procjernih voda odlagališta otpada. U procesu reverzne osmoze, pod utjecajem vanjskog tlaka kojeg stvaraju pumpe, vodeni se medij tlači obrnuto djelovanju osmotskog tlaka i prolazi kroz polupropusnu membranu. Membrana predstavlja barijeru koja selektivno propušta čestice koje se nalaze u vodenom mediju na temelju njihove razlike u veličini, obliku i kemijskoj strukturi. Ulazni vodeni medij razdvaja se na dva dijela: diluat ili dio koji je prošao kroz membranu i koncentrat ili zasićeni dio koji ne prolazi membranu. Membrane koje se koriste u ovom postupku moraju biti mehanički jake, otporne na kemikalije i biološku aktivnost, izdržljive, pH i temperaturno tolerantne, fleksibilne i ekonomične. Nedostatci ove metode odnose se na nisku učinkovitost uklanjanja malih molekula koje prolaze kroz membranu čime je onečišćuju te dolazi do nepoželjnog taloženja otopljene tvari na vanjskoj površini membrane. Drugo ograničenje je visoka potrošnja energije na koju otpada 60 - 80% ukupnog troška postupka. Dakle, pri odabiru postupka treba uzeti u obzir isplativost reverzne osmoze (Oreščanin, 2014.).

## 2. 5. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Statistika je znanstvena disciplina koja na organiziran način prikuplja, odabire, grupira, prezentira i analizira podatke te interpretira rezultate provedene analize. Dijeli se na deskriptivnu i inferencijalnu statistiku.

Deskriptivna ili opisna statistika temelji se na potpunom obuhvatu statističkog skupa, čiju masu podataka organizirano prikuplja, odabire, grupira, prezentira i interpretira dobivene rezultate analize. Na taj način se, izračunavanjem različitih karakteristika statističkog skupa, sirova statistička građa svodi na lakše razumljivu i jednostavniju formu (Matovina M., 2018.). Bavi se mjerama centralne tendencije (npr. aritmetička sredina), mjerama varijabiliteta (npr. standardna devijacija, varijanca) te grafičkim i tabelarnim prikazivanjem statističkih vrijednosti.

Inferencijalna statistika se temelji na uzorku jedinica izabranih iz cjelovitog statističkog skupa kojim se uz pomoć odgovarajućih statističkih metoda i tehnika donose zaključci o cijelom statističkom skupu.

### 2. 5. 1. ARITMETIČKA SREDINA

Aritmetička sredina je numerička karakteristika koja spada u mjere centralne tendencije, tj. ona mjeri "srednju vrijednost" podataka (Benšić i Šuvak, 2013). Aritmetička sredina niza podataka  $x_1, x_2, \dots, x_n$  definirana je izrazom:

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

### 2. 5. 2. STANDARDNA DEVIJACIJA I VARIJANCA

Standardna devijacija i varijanca predstavljaju mjeru disperzije, tj. raspršenosti podataka oko aritmetičke sredine.

Varijanca niza izmjerenih vrijednosti  $x_1, x_2, \dots, x_n$  varijable  $X$  definirana je izrazom:

$$\bar{s}_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$$

Standardna devijacija je apsolutna mjera disperzije podataka. Izračunava se kao kvadratni korijen varijance:

$$\bar{s}_n = \sqrt{\bar{s}_n^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}$$

### 2. 5. 3. KOEFICIJENT VARIJABILNOSTI

Koeficijent varijabilnosti predstavlja relativnu mjeru disperzije. On obuhvaća sve elemente statističkog skupa, a izražava se u postocima (%). Taj koeficijent pokazuje koliko je odstupanje minimalne i maksimalne vrijednosti u skupu podataka od srednje vrijednosti (Vasilj I., 2016.). Definiran je izrazom:

$$\frac{\bar{s}_n}{\bar{X}_n} \times 100 [\%]$$

### 2. 5. 4. KOEFICIJENT KORELACIJE

Koeficijent korelacije je numerička karakteristika koja služi za analizu zavisnosti između njegovih komponenti. Ako je koeficijent između dvije varijable različit od nule kažemo da su one zavisne jedna o drugoj. Pomoću koeficijenata moguće je odrediti nisku ili visoku korelaciju, a kreće se u rasponu od (-1) do (+1), (Benšić M., Šuvak N., 2013.). Razlikuju se Pearsonov i Spearmanov koeficijent korelacije.

Pearsonov koeficijent korelacije koristi se u slučajevima kada između varijabli promatranog modela postoji linearna povezanost i neprekidna normalna distribucija. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta korelacije kreće se od +1 (savršena pozitivna korelacija) do -1 (savršena negativna korelacija). Predznak koeficijenta nas upućuje na smjer korelacije – da li je pozitivna ili negativna, ali nas ne upućuje na snagu korelacije. Označava se malim slovom  $r$ .

Spearmanov koeficijent korelacije koristi se za mjerenje povezanosti između varijabli u slučajevima kada nije moguće primjeniti Pearsonov koeficijent korelacije. Bazira se na tome da se izmjeri dosljednost povezanosti između poredanih varijabli, a oblik povezanosti nije bitan. Spearmanov koeficijent korelacije kao rezultat daje približnu vrijednost koeficijenta korelacije koji se tretira kao njegova dovoljno dobra aproksimacija. Spearmanov koeficijent označava se sa slovom  $r_s$ .

### 2. 5. 5. KLASTERSKA ANALIZA (CA)

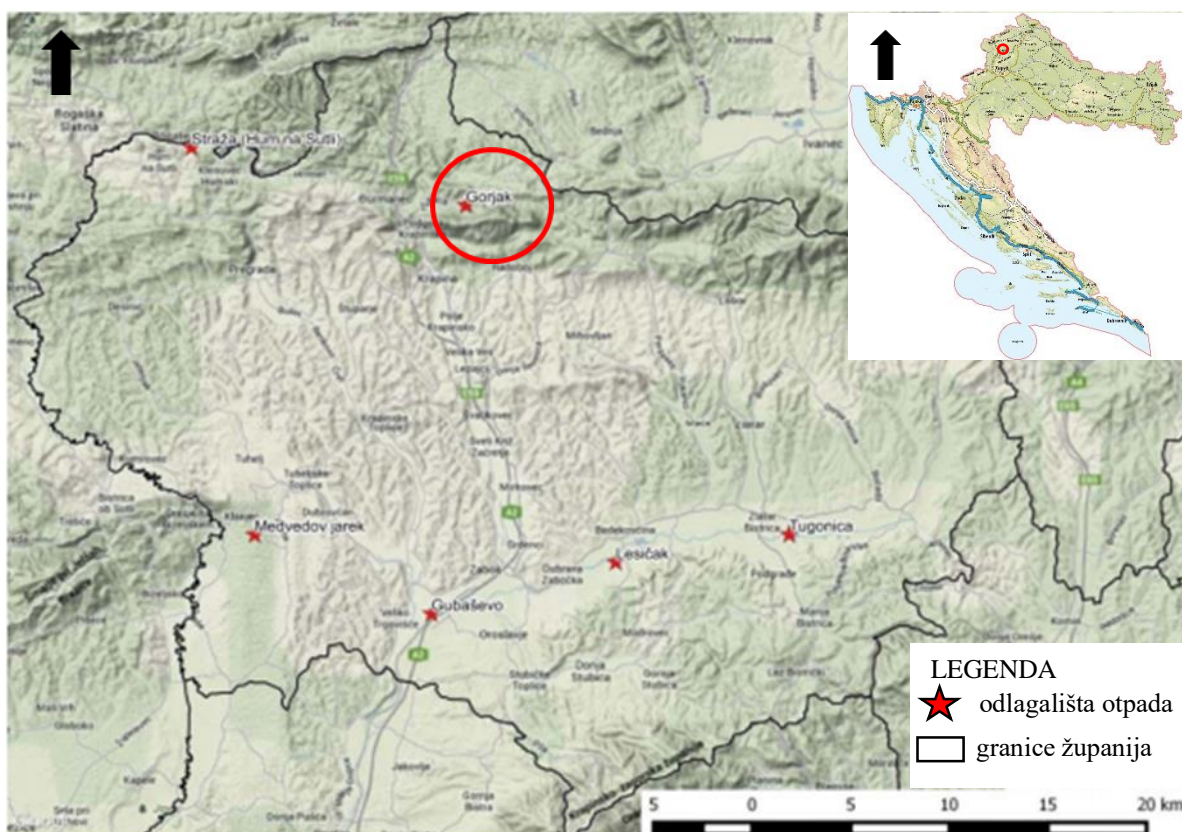
Klasterska analiza je postupak utvrđivanja relativno homogenih skupina objekata. Njome se klasificiraju objekti u skupine na način da je svaka skupina homogena s obzirom na određene varijable, a svaka skupina je različita od druge s obzirom na te iste varijable. Kao rezultat ove analize nastaje klaster. Riječ klaster dolazi od eng. *cluster* što označava skupinu istovrsnih elemenata. Predmet klasterske analize su najčešće objekti, a ne varijable. Njezin cilj je utvrđivanje homogenih grupa ili klastera. Klasterska analiza mora odgovoriti na temeljna pitanja kao što su: kako mjeriti sličnost među objektima, kako formirati klastere i koji je konačan broj klastera. Unutar klasterske analize postoji veliki broj različitih algoritama koji u principu odgovaraju na iste probleme (Kapetanović L., 2015).



### 3. ODLAGALIŠTE OTPADA GORJAK

#### 3. 1. PROSTORNI SMJEŠTAJ ODLAGALIŠTA OTPADA

Odlagalište otpada „Gorjak“ služi kao odlagalište neopasnog, komunalnog otpada za grad Krapinu i njezinu okolicu. Smješteno je u šumskom i brdovitom području na udaljenosti od oko 12 km od grada Krapine i oko 450 m od naselja Gornje Jesenje (Slika 6.). U neposrednoj blizini odlagališta nalazi se i kamenolom istoimenog naziva „Gorjak“. Pristup odlagalištu je odvojkom od ceste Krapina – Jesenje.



Slika 6. Kartografski prikaz lokacije odlagališta otpada Gorjak

S odlaganjem otpada na odlagalištu započelo se 1976. godine i nastavilo sve do danas. Odlagalište je izduženog, nepravilnog oblika i nalazi se na čestici veličine 4,36 ha. Ono je zatvorenog tipa, a pristup je dozvoljen samo vozilima koja posjeduju dozvolu za gospodarenje, prikupljanje i zbrinjavanje otpada na odlagalište „Gorjak“. Prostor odlagališta podijeljen je na dva dijela: staru (Slika 7.) i novu plohu.



Slika 7. Stara ploha odlagališta otpada Gorjak

Stara ploha odlagališta zauzima površinu od jednog ha s ukupnim kapacitetom od 185 000 m<sup>3</sup>. Na tom dijelu odlagališta ugrađeno je 16 odzračnika čija je funkcija pasivno otplinjavanje istog (Slika 8.) Oko samog tijela odlagališta izgrađen je i dio obodnog kanala u duljini od 200 m. Područje stare plohe odlagališta otpada je sanirano i zatvoreno. Nova ploha odlagališta otpada zauzima površinu od 0,4 ha s kapacitetom od 180 000 m<sup>3</sup>. Kao i na staroj i na novoj plohi odlagališta provodi se pasivno otplinjavanje. U tu svrhu ugrađeno je šest odzračnika.



Slika 8. Odzračnici

Odlagalište otpada „Gorjak“ ne nalazi se u vodozaštitnom području kao niti u području izvorišta voda namijenjenih za ljudsku potrošnju. Najbliži vodotok odlagalištu je potok Žutnica u koji utječe gorski potok koji se formira slijevanjem oborinskih voda s okolnih brda. Gorski potok protiče ispod odlagališta te je zacijevljen i kanaliziran. Područje u kojem se nalazi odlagalište je izvan dosega značajnijih aktivnih rasjeda, a nastanak klizišta i erozija sprječava se izvođenjem nagiba čime je osigurana stabilnost tijela odlagališta.

Na odlagalištu postoji sva potrebna komunalna i energetska infrastruktura i protupožarno je osiguran te je također pod stalnim 24-satnim nadzorom.

### 3. 2. GEOLOGIJA PODRUČJA

Odlagalište otpada „Gorjak“ smješteno je u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, podno gore Strahinjčice (Slika 9.).

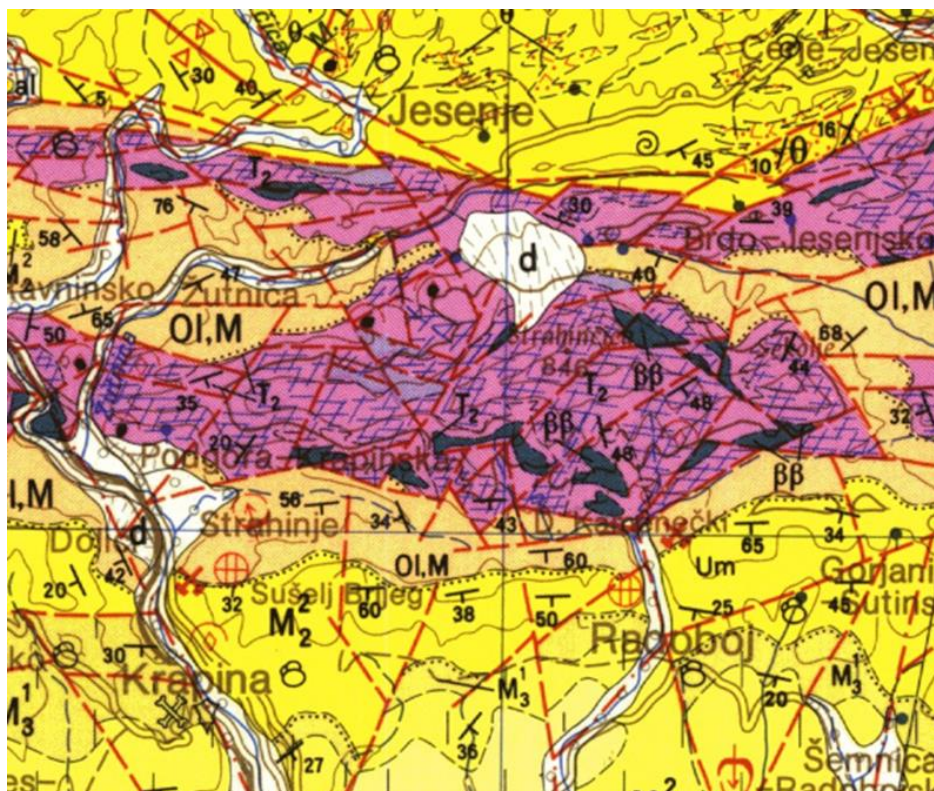


Slika 9. Satelitska snimka odlagališta otpada Gorjak i okolice

Područje odlagališta otpada „Gorjak“ izgrađuju naslage srednjetrijske starosti (T2), a najznačajniji litološki elementi su tamnosivi dolomiti i dolomitizirani vapnenci. Na ovom području zbog rijetkih fosilnih nalaza nije izvršena podjela srednjeg trijasa na katove. Rijetko su prisutne i naslage vulkanskih sedimenata male debljine. Dolomiti se odlikuju limonitiziranom teksturom koja ukazuje da su oni nastali procesom dolomitizacije stromatolitnog vapnenca. Najveći dio tih dolomita je tijekom dijageneze prekristaliziran. Intenzivne tektonske deformacije uzrokovale su kataklastičnu metamorfozu zbog koje dolomit ima brečasti habitus. Najčešći fosili pronađeni u naslagama su *Meandrospira dinarica* (Kochansky-Devide & Pantić, 1966.), *Neoendothyra knepperi* i *Earlandanita oberhauseri* (Aničić i dr., 1985.).

Do početka srednjeg trijasa na našim prostorima uglavnom se odvijalo taloženje siliciklastita, a tek manjim dijelom i karbonata na plitkovodnom platformnom prostoru. Tijekom srednjeg trijasa je kao posljedica riftovanja nastao mikrokontinent pod nazivom Jadranska mikroploča. Bio je to od kopna izolirani prostor na kojem su se prevladavajuće taložili čisti karbonati. Kroz razdoblje gornjeg trijasa nastavljeno je plitkovodno taloženje iz

srednjeg trijasa. Međutim, tijekom jure došlo je do promjene paleografskih odnosa i započelo je taloženje u nešto dubljim uvjetima. Iako je zbog tektonike raspored jurskih naslaga bitno poremećen, one su ipak otkrivene na više od 40 lokacija različitih veličina. S početkom produbljavanja bazena još uvijek se talože vapnenci i dolomiti, no vrlo brzo počinje silicifikacija unutar njih i pojava rožnjaka. Prijelazom u kredu nastavlja se ista paleogeografska situacija kao i u juri, s jedinom razlikom da je tijekom krede došlo do postupnog zatvaranja dinaridskog dijela Tethysa. U kredi se uz sedimentaciju postupno javlja i magmatizam s gabrom, peridotitom, dijabazom i spilitom. Ipak, zbog transgresije, nekad ta cjelovita zona danas je razlomljena i djelomično prekrivena naslagama paleozoika i trijasa. Početkom miocena zbog kolizije afričke i eurazijske ploče dolazi do izdizanja Dinarida, Alpa i Helenida i kao posljedica tog izdizanja zapadni Tethys podijelio se na dva dijela: sjeverni (Paratethys) i južni. Sredinom miocena došlo je do pucanja veze između Paratethysa i južnog kraka Tethysa, te Paratethys postaje veliko jezero koje se zbog dotoka slatke vode postepeno oslađuje. Krajem miocena Paratethys se raspao na nekoliko manjih bazena koji su se isušili ili su od njih nastala velika jezera kao što je Kaspijsko jezero. Neogenske naslage sjeverne i istočne Hrvatske formirane su u jugozapadnom dijelu Središnjeg Paratethysa i one diskordantno naliježu na stariju podlogu koja je često nepoznata. Debljina tih naslaga najveća je u depresijama, a najmanja uz rubove gora kao što je Medvednica, ali zbog poremećenosti terena tu debljinu bilo je teško odrediti. Naslage su izrazito bogate mikroorganizmima (Bucković D., 2006.).



	Lapor, laporoviti vapnenac, glinoviti lapor, pijesak i pješčenjak		Normalna granica: utvrđena, pokrivena, prevrnutna
	Lapor, laporoviti vapnenac, vapnenac		Erozijska ili tektonsko – erozijska granica
	Kvarcni pijesak, pješčenjak, konglomerat		Elementi pada sloja
	Pijesak, pješčenjak, pjeskovita glina, pjeskoviti lapor i škriljavac		Rasjed
	Dolomit, dolomitna breča i dolomitni vapnenac		Os sinklinale i antiklinale
	Spilitizirani dijabaz i dijabazni tuf		Makrofauna
	Jalovište		Mikrofauna
	Pećina		Kamenolom građevnog kamena

Slika 10. Geološka karta područja odlagališta otpada Gorjak i okolice - isječak iz OGK SFRJ, list Rogatec (Aničić i dr., 1981.)

### 3. 3. TEHNIČKE SASTAVNICE ODLAGALIŠTA

Odlagalište otpada Gorjak izgrađeno je sukladno Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15). Na dnu odlagališta otpada izgrađen je temeljni brtveni sloj. Njegova funkcija je spriječiti onečišćenje podzemne i površinske vode. Taj temeljni brtveni sloj sastoji se od dva dijela: umjetnog brtvenog sloja debljine 0,5 m i drenažnog sloja debljine također 0,5 m. Temeljni i drenažni slojevi izgrađeni su i sa bočnih strana odlagališta otpada. Bokovi odlagališta otpada sastoje se od tvrdih i slabo propusnih naslaga gline i lapora. Strmi pokosi bokova omogućavaju brzo otjecanje filtrata. Na drenažni sloj postavljen je zaštitni sloj geotekstila kako bi se spriječilo prodiranje otpada do drenažnog sloja. Procjedne vode sakupljaju se drenažnim sustavom izvedenim u strukturi temeljnog brtvenog sloja i putem cjevovoda provode u nepropusni sabirni bazen za procjedne vode (Slika 11.). Sakupljene procjedne vode pročišćavaju se prije ispuštanja u prijemnik. Jedan dio tih voda se iz sabirnog bazena crpkama recirkulira po tijelu odlagališta, dok se njihov višak kao i talog sabirnog bazena otprema na kolektor.



Slika 11a. i 11b. Sabirni bazen za procjedne vode odlagališta otpada Gorjak

Odloženi otpad redovito se zbija specijalnim strojem – kompaktorom (Slika 10.) i prekriva inertnim materijalom kao što su zemlja i šuta kako bi se spriječili požari, razvijanje neugodnih mirisa i raznošenje otpada vjetrom.



Slika 12. Kompaktor otpada



## 4. MATERIJALI I METODE

Analizu procjednih voda na odlagalištu otpada Gorjak vrši Zavod za javno zdravstvo Krapinsko – zagorske županije, „Odjel za zdravstvenu ekologiju“. Provođenje analiza procjednih voda je odredba koju je dužan provesti ovlaštenu laboratorij prema posebnim propisima koji proizlaze iz zakona (NN 56/19.). Osim analize procjednih voda vrše se i mjerenja meteoroloških parametara, emisije odlagališnih plinova, parametara onečišćenja podzemne vode, a obavlja se i kontrola stabilnosti tijela odlagališta. Uzorkovanje voda na spomenutom odlagalištu obavlja se iz sabirnog bazena (Slika 13.) smještenog u podnožju odlagališta.



Slika 13. Sabirni bazen za procjedne vode na odlagalištu otpada Gorjak

Uzorci se uzimaju dva puta godišnje, početkom i krajem godine, a uzorkovanje je neovisno o vremenskim prilikama. U zavodu za javno zdravstvo Krapinsko – zagorske županije analiziraju se fizikalno-kemijska svojstva procjedne vode ( temperatura, pH, boja, miris, koncentracije teških metala, nitrita, fluorida i cijanida) te KPK i BPK vrijednosti. Koncentracije navedenih parametara određuju se prema normiranim metodama prikazanim u Tablici 1.

Tablica 1. Normirane metode

Element ili spoj	Metoda
Pb	HRN ISO 8288:1998
Cd	HRN ISO 15586:2003
Hg	HRN EN ISO 12846:2012
As	HRN ISO 15586:2003
Zn	HRN ISO 8288:1998
Ni	HRN ISO 8288:1998
Cu	HRN ISO 8288:1998
Nitriti	HRN EN 26777:1998
Fluoridi	HRN EN ISO 10304-1:2009
Cijanidi	SOP-216-051

Dobiveni rezultati uspoređuju se s maksimalno dopuštenim koncentracijama (mdk) propisanim legislativom. Rezultati korišteni u ovom radu dobiveni su analizom procjernih voda sakupljenih na odlagalištu otpada u vremenskom razdoblju od 2016. – 2018. godine.

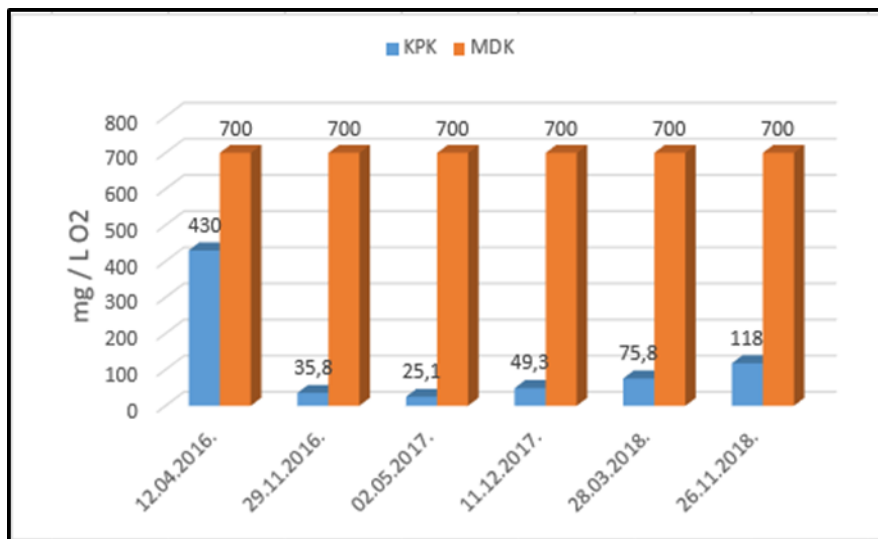
#### 4. 1. MAKSIMALNO DOPUŠTENA KONCENTRACIJA (MDK)

Maksimalno dopuštene koncentracije parametara korištenih u ovom radu definirane su Pravilnikom o graničnim vrijednostima ( NN 80/13., 43/14., 27/15. i 3/16. ) emisija otpadnih voda. Ovim se Pravilnikom propisuju granične vrijednosti emisija u tehnološkim otpadnim vodama prije njihova ispuštanja u građevine javne odvodnje ili u septičke ili sabirne jame i u svim pročišćenim ili nepročišćenim otpadnim vodama koje se ispuštaju u vode, uvjeti privremenog dopuštenja ispuštanja otpadnih voda iznad propisanih količina i graničnih vrijednosti emisija, kriteriji i uvjeti prikupljanja, pročišćavanja i ispuštanja metodologija uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda, učestalost uzorkovanja i ispitivanja, obrazac očevidnika ispuštenih otpadnih voda, obrazac očevidnika za kemikalije stavljenih na tržište za primjenu na području Republike Hrvatske koje nakon uporabe dospijevaju u vode, oblik i način vođenja očevidnika, rokovi, detaljniji sadržaj i način dostave podataka, slučajevi primjene jedinstvenog fiksnog koeficijenta pokazatelja onečišćenja te slučajevi koji podliježu obvezi iz članka 65. stavaka 1. i 4. Zakona o vodama.

## 5. REZULTATI I RASPRAVA

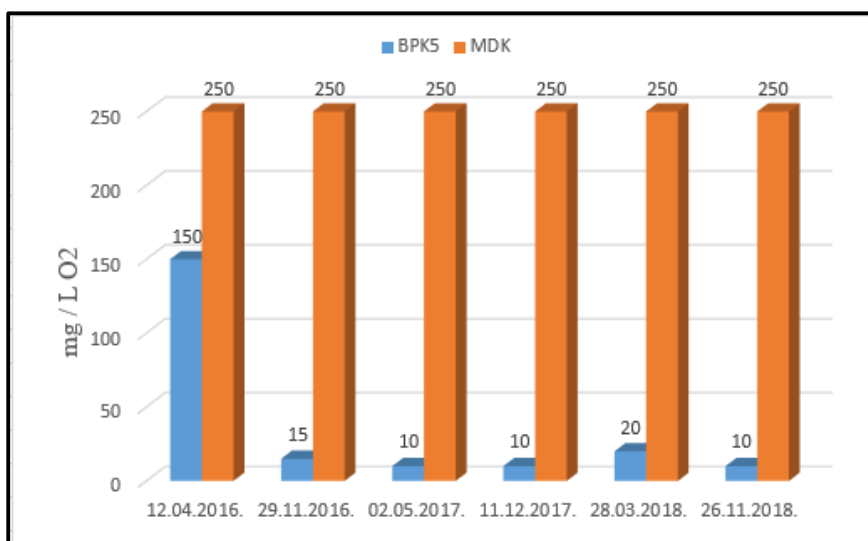
Temeljem pregleda rezultata kemijskih analiza uzoraka procjernih voda uzorkovanih u razdoblju od 2016. – 2018. godine izdvojeno je 14 parametara za koje je ustanovljeno da nisu premašili maksimalno dopuštene koncentracije propisane Pravilnikom o graničnim vrijednostima. Međutim, kod svakog od spomenutih 14 parametara vidljive su oscilacije koncentracija tijekom pojedinih razdoblja.

Kemijska potrošnja kisika (KPK) predstavlja mjeru ekvivalenta kisika u organskoj tvari u uzorku koji je podložan oksidaciji pomoću jakog oksidacijskog reagensa. Koncentracije kemijske potrošnje kisika u sabirnom bazenu ne prelaze maksimalno dopuštenu koncentraciju (MDK) od 700 mg/L O<sub>2</sub>. Najviša koncentracija izmjerena je 12. 04. 2016. godine i iznosila je 430 mg/L O<sub>2</sub>. Nakon toga uslijedio je drastični pad koncentracije na vrijednost od 35,8 mg / L O<sub>2</sub> koja je izmjerena 29. 11. 2016. godine. Potom se do kraja mjenog razdoblja bilježi blagi porast koncentracije KPK.



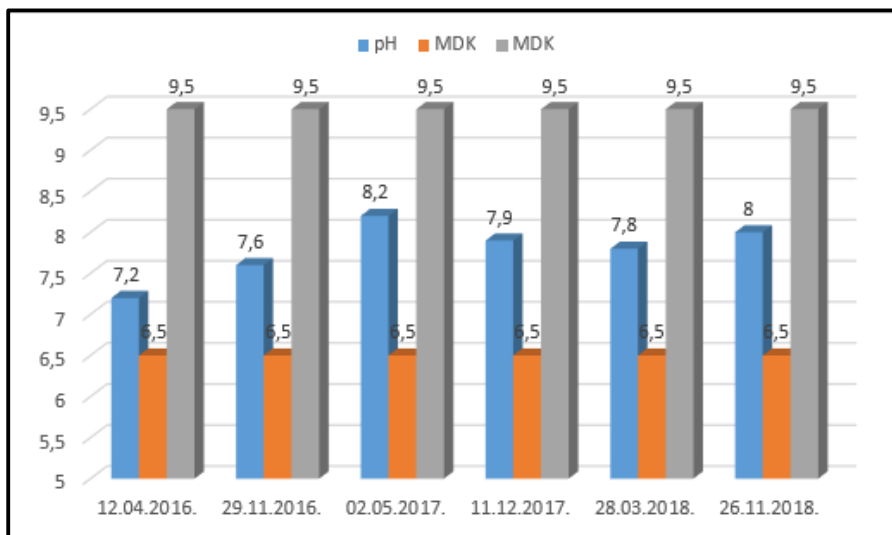
Slika 14. Kemijska potrošnja kisika u procjernoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Biokemijska potrošnja kisika (BPK) je mjera za količinu kisika potrebnog za oksidaciju organskih tvari u vodi. Voda u kojoj BPK prelazi maksimalno dopuštenu koncentraciju smatra se onečišćenom, tj. preopterećenom organskom tvari. BPK ima manje vrijednosti od KPK jer se većina tvari može kemijski oksidirati, dok se samo manji dio tvari biološki razgrađuje. Najviša koncentracija BPK izmjerena je 12. 04. 2016. godine i iznosila je 150 mg/L O<sub>2</sub> čime nije premašena MDK od 250 mg/L O<sub>2</sub>. Nakon toga uslijedio je pad koncentracije BPK na 10 mg/L O<sub>2</sub> i ta vrijednost se, uz manje oscilacije, održala do kraja mjerenog razdoblja .



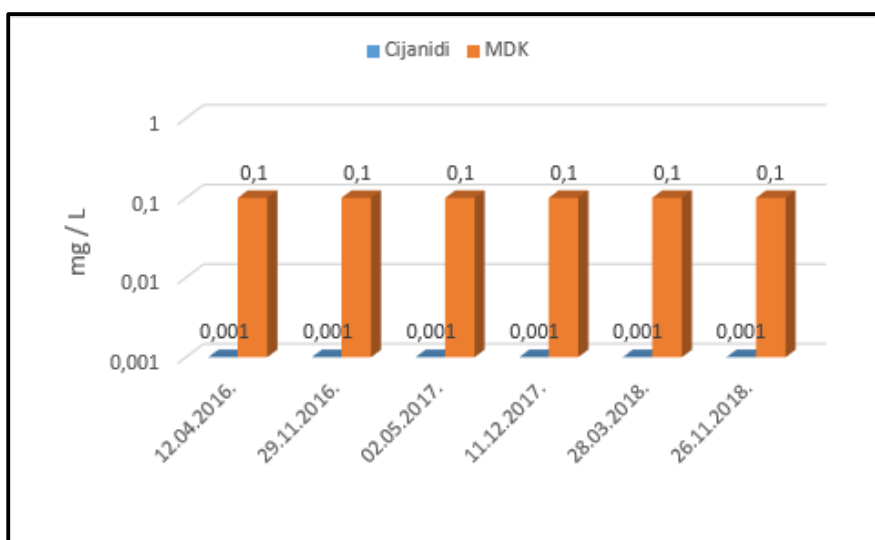
Slika 15. Biokemijska potrošnja kisika u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Koncentracija H<sup>+</sup> iona (pH ) predstavlja mjeru kiselosti vodenih otopina. pH-vrijednost u sabirnom bazenu kroz cijelo vrijeme mjerenja se nalazila unutar minimalno i maksimalno dopuštenih koncentracija. Koncentracija H<sup>+</sup> iona trebala bi varirati između vrijednosti koje iznose 6, 5 i 9, 5. Najviša koncentracija izmjerena je 02. 05. 2017. godine i iznosila je 8, 2. Najniža koncentracija vrijednosti 7, 2 izmjerena je 12. 04. 2018. godine.



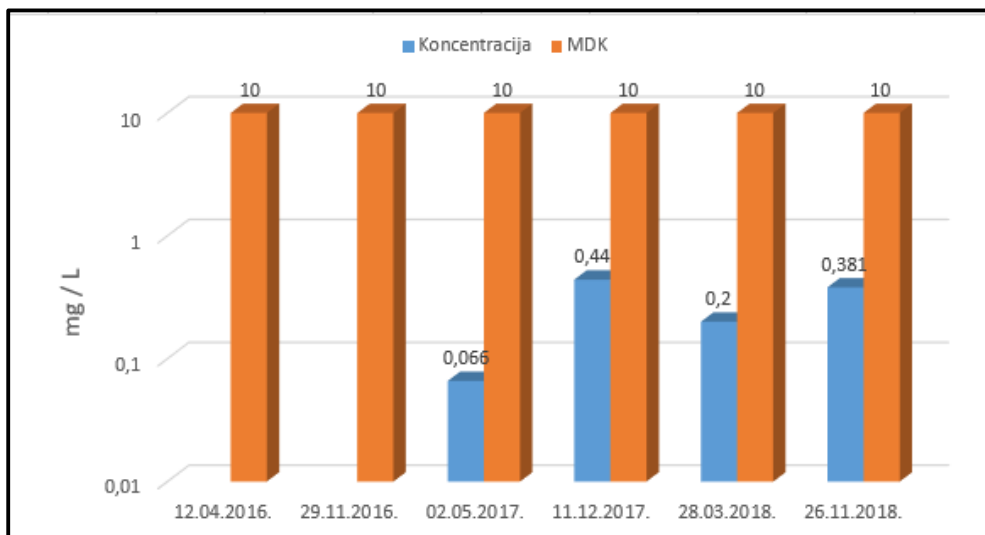
Slika 16. Koncentracija  $H^+$  iona u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Kod cijanida se tijekom cijelog vremena mjerenja održavala konstantna koncentracija od 0,001 mg/L. Time nije premašena MDK koja za cijanide iznosi 0,1 mg/L.



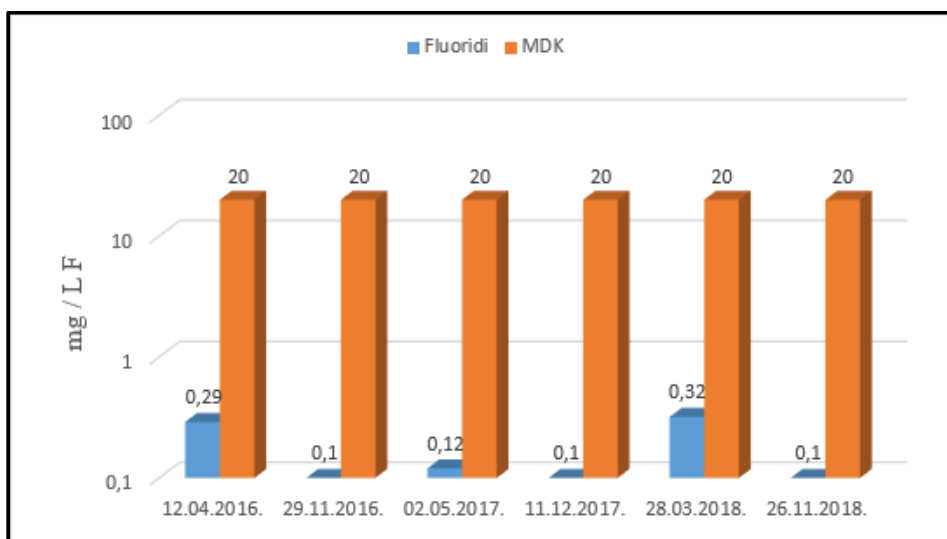
Slika 17. Koncentracija cijanida u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Informacije o koncentraciji ukupnog fosfora poznate su za mjereno razdoblje od 2017. – 2018. godine. Najviša koncentracija od 0,44 mg/L izmjerena je 11. 12. 2017. godine i nije premašena MDK koja iznosi 10 mg/L. Najniža koncentracija izmjerena je 02. 05. 2017. i iznosila je 0,066 mg/L.



Slika 18. Koncentracija ukupnog fosfora u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

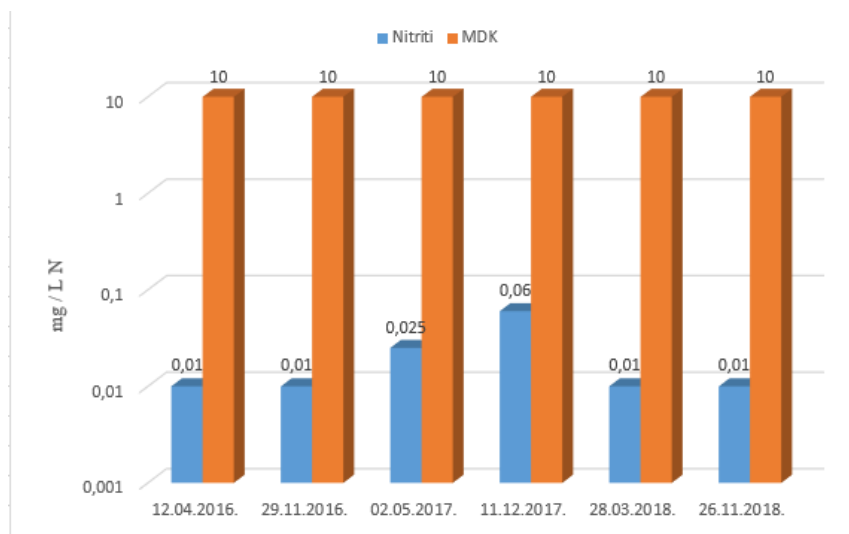
Koncentracije fluorida su tijekom cijelog vremena mjerenja dosta oscilirale, no ipak nije premašena maksimalno dopuštena koncentracija koja za iste iznosi 20 mg/L F. Koncentracija od 0,29 mg/L F izmjerena je 12. 04. 2018. godine nakon čega ona pada do vrijednosti od 0,1 mg/L F. Ta koncentracija je stagnirala kroz sljedeća tri mjerna razdoblja da bi potom narasla na vrijednost od 0,32 mg/L F koja je izmjerena 28. 03. 2018. godine. Nakon toga uslijedio je ponovni pad koncentracije.



Slika 19. Koncentracija fluorida u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Tijekom 2016. godine koncentracija nitrita stagnirala je na 0,01 mg/L N. Sljedeće godine te koncentracije su narasle prvo na 0,025, a potom i na 0,06 mg/LN što je ujedno i najveća izmjerena koncentracija. U sljedećem mjernom razdoblju koncentracija nitrita

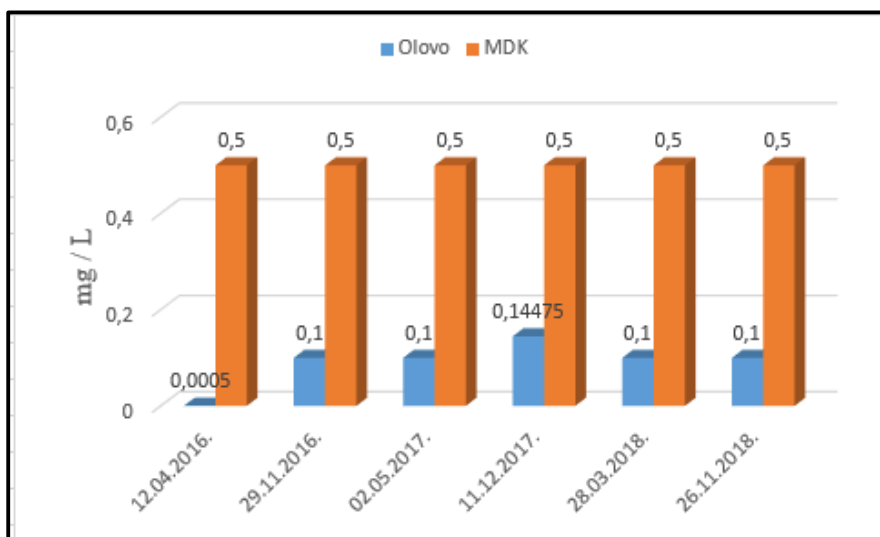
ponovna pada na vrijednost od 0,01 i takva ostaje do kraja. Niti kod nitrita nije premašena MDK koja iznosi 10 mg/L N.



Slika 20. Koncentracija nitrita u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

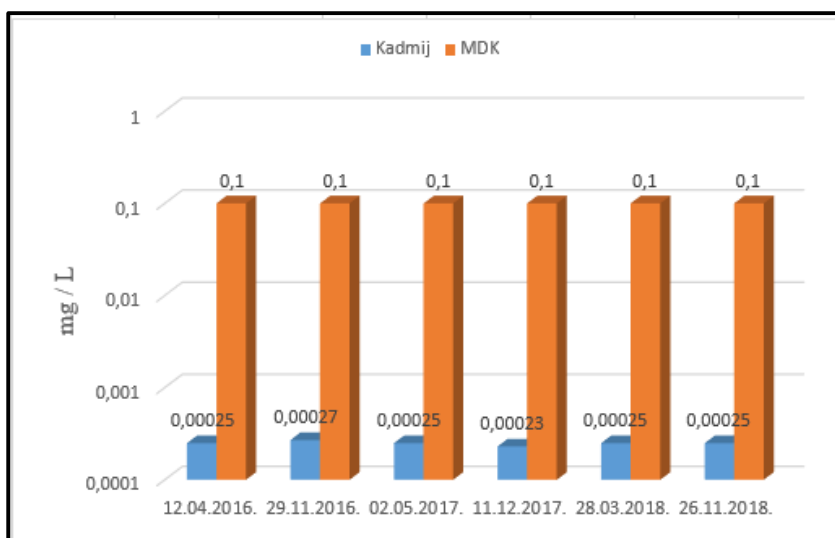
Osim već gore spomenutih spojeva u procjednoj vodi prisutni su i teški metali. Oni su ekološki vrlo značajni zbog toga što su nerazgradljivi i ne nestaju, već kruže kroz ekosustav. Neki od njih (bakar, cink, željezo, mangan...) pripadaju skupini esencijalnih elemenata što znači da su u malim količinama neophodni za normalno funkcioniranje organizma. Ipak, kod povišenih koncentracija postaju toksični i predstavljaju rizik za zdravlje ljudi i životinja. Prisutnost teških metala u procjednim vodama s odlagališta otpada posljedica je prisustva baterija, akumulatora, elektroničkih uređaja, boja, lakova, plastike, itd. u komunalnom otpadu. Koncentracija tih metala u procjednim vodama je veća u ranijim fazama razgradnje otpada zbog veće topljivosti metala.

Koncentracija olova u sabirnom bazenu nije prelazila MDK od 0,5 mg/L. Najveća izmjerena koncentracija iznosila je 0,14475 mg/L, a izmjerena je 11. 12. 2017. godine. Najniža koncentracija od 0,0005 mg/L izmjerena je 12. 04. 2016. godine.



Slika 21. Koncentracija olova u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

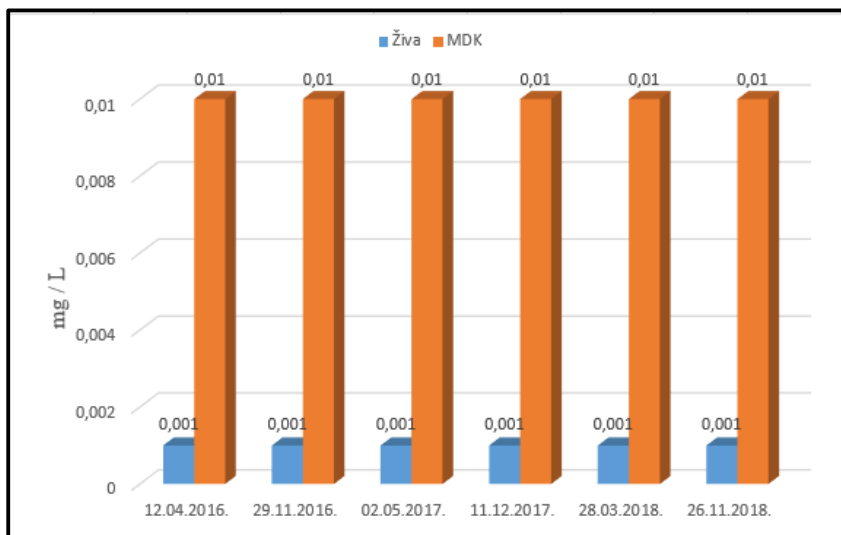
Koncentracije kadmija uglavnom su stagnirale na vrijednosti od 0,0002 mg/L kroz cijelo mjereno razdoblje. Nije premašena maksimalno dopuštena koncentracija od 0,1 mg/L.



Slika 22. Koncentracija kadmija u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

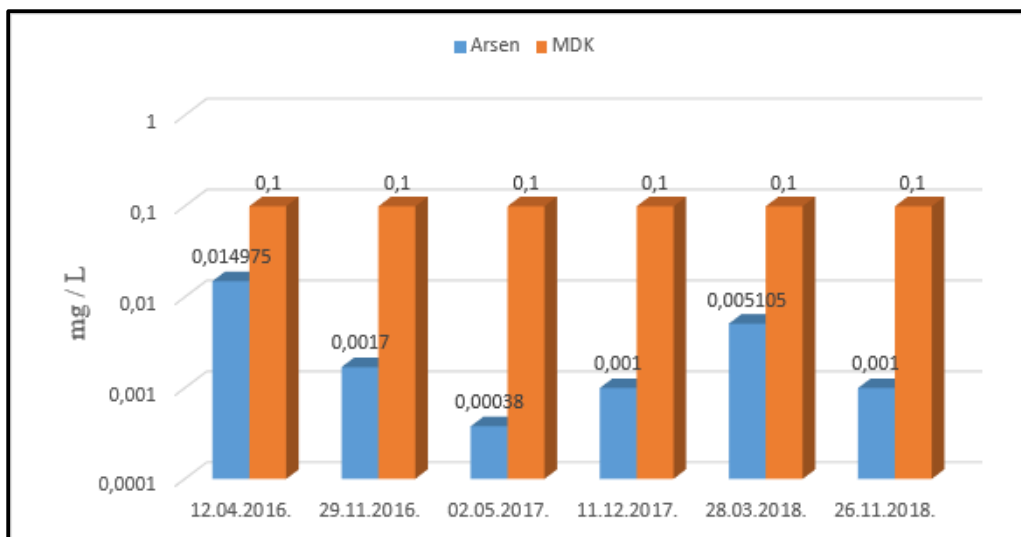
Koncentracija žive je tijekom cijelog mjenog razdoblja stagnirala na vrijednosti od 0,001 mg/L.





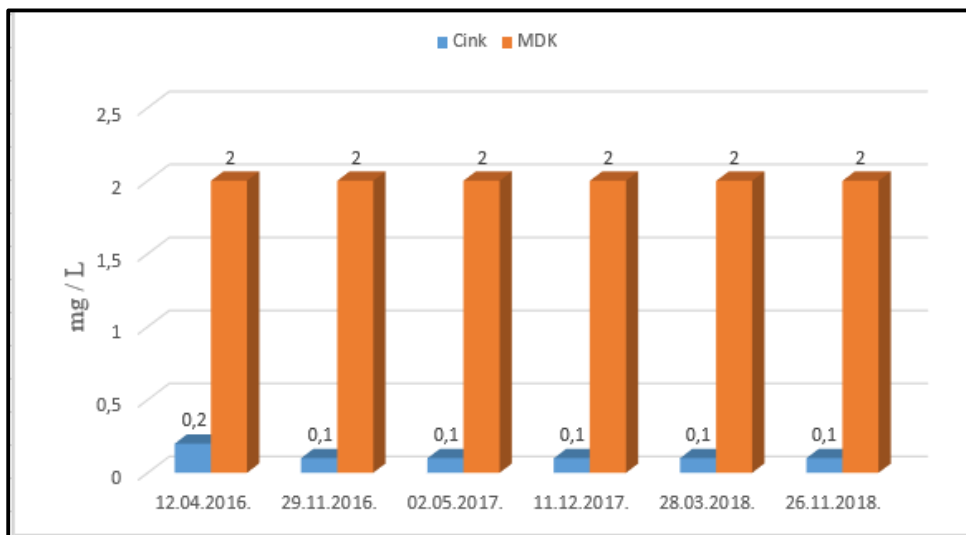
Slika 23. Koncentracija žive u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Koncentracija arsena od 0,014975 mg/L izmjerena je 12. 04. 2016. i ona ujedno predstavlja najvišu izmjerenu vrijednost u mjenom razdoblju. Nakon toga vrijednosti su padale da bi 02. 05. 2017. godine dosegnule najnižu koncentraciju od 0,00038 mg/L. Potom je ponovno uslijedio rast koncentracija. Međutim, MDK nije premašena.



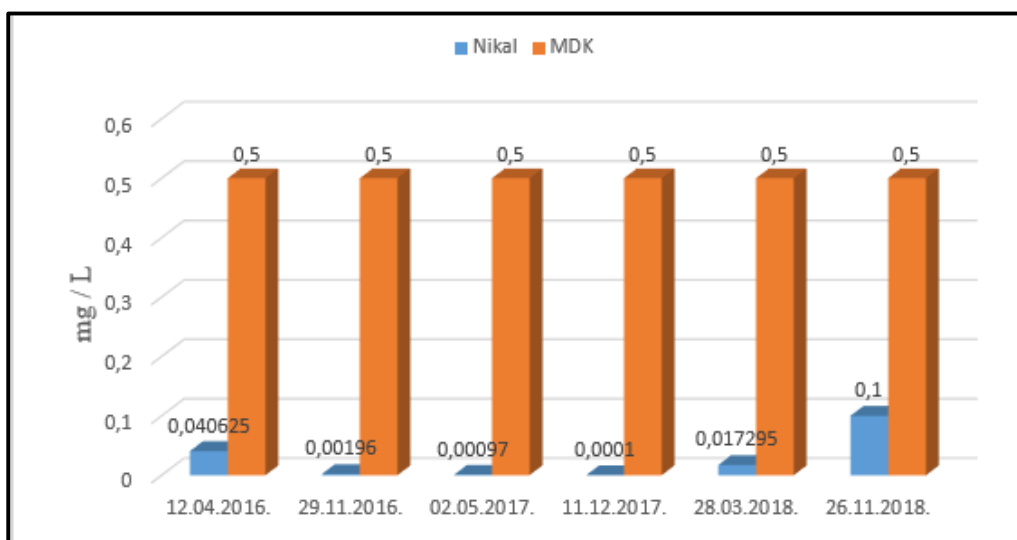
Slika 24. Koncentracija arsena u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Koncentracija cinka je na početku mjenog razdoblja padala s vrijednosti 0,2 na vrijednost 0,1 mg/L i otada je cijelo vrijeme stagnirala.



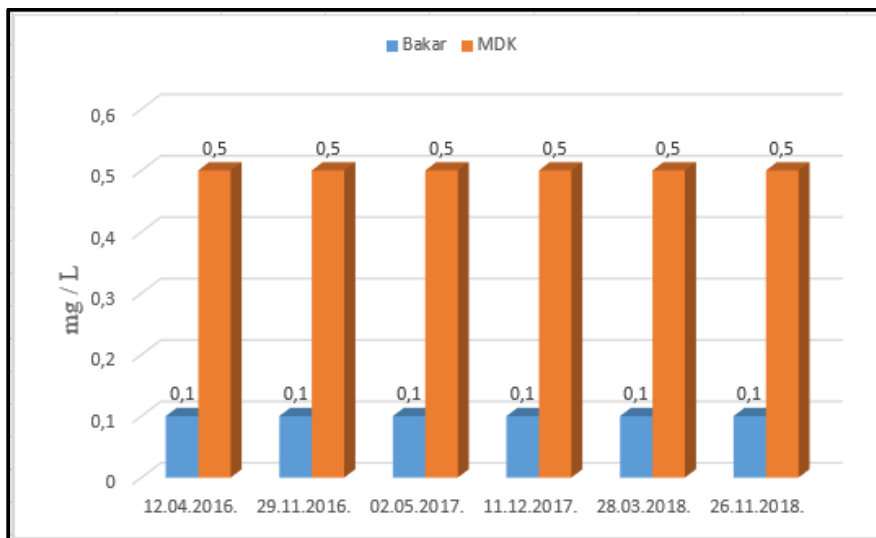
Slika 25. Koncentracija cinka u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjак

Koncentracije nikla su tijekom mjerjenog razdoblja također oscilirale. U 2016. godini pale su s vrijednosti od 0,040625 do 0,00196 mg/L. Potom je kroz 2017. godinu uslijedila stagnacija na 0,0001 mg/L, da bi potom koncentracije nikla ponovno počele rasti. Ipak, MDK nije premašena.



Slika 26. Koncentracija nikla u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjак

Koncentracije bakra cijelo vrijeme su stagnerale na vrijednosti od 0,1 mg/L. Time nije premašena MDK od 0,5 mg/L.



Slika 27. Koncentracija bakra u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak

Koncentracija nekih teških metala kao što su kadmij, živa, nikal i bakar u procjednoj vodi su prilično niske, u tragovima. U najvećoj koncentraciji prisutni su cink, arsen i olovo. Ipak, koncentracije svih izmjerenih metala nalaze se ispod graničnih vrijednosti propisanih pravilnikom.

Osvrtom na izrađene grafove vidljivo je da je pročišćivač uspješno obavio svoju funkciju i vrijednosti svih mjerenih parametara snizio ispod maksimalno dopuštenih koncentracija propisanih Pravilnikom o graničnim vrijednostima ( NN 80/13., 43/14., 27/15. i 3/16. ) emisija otpadnih voda. Na taj način dokazano je da kvaliteta procjednih voda odgovara konstrukciji samog odlagališta te da niti jedan od mjerenih parametara potencijalno ne predstavlja rizik za okoliš. Također, oscilacije koncentracija pojedinih parametara su takve da sa sigurnošću nije moguće odrediti promjenu trenda u određenom periodu godine.

Za podatke dobivene analizom procjernih voda provedena je deskriptivna statistička analiza. Određena je srednja vrijednost, standardna devijacija, koeficijent korelacije i varijabilnosti, a načinjena je i korelacijska matrica.

U Tablici 2. prikazani su srednja vrijednost, standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti navedenih parametara.

Tablica 2. Srednja vrijednost, standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti za parametre procjernih voda s odlagališta otpada Gorjak

Element ili spoj	Srednja Vrijednost (ppm)	Standardna devijacija	Koeficijent varijabilnosti
Pb	0,09088	0,04359	48%
Cd	0,00025	$1,15 \cdot 10^{-05}$	5%
As	0,00403	0,00513	127%
Zn	0,11667	0,03727	32%
Ni	0,02683	0,03568	133%
Cu	0,1	0,00373	4%
Nitriti	0,02083	0,01835	88%
Fluoridi	0,17167	0,09494	55%
Cijanidi	0,001	$3,72 \cdot 10^{-05}$	4%

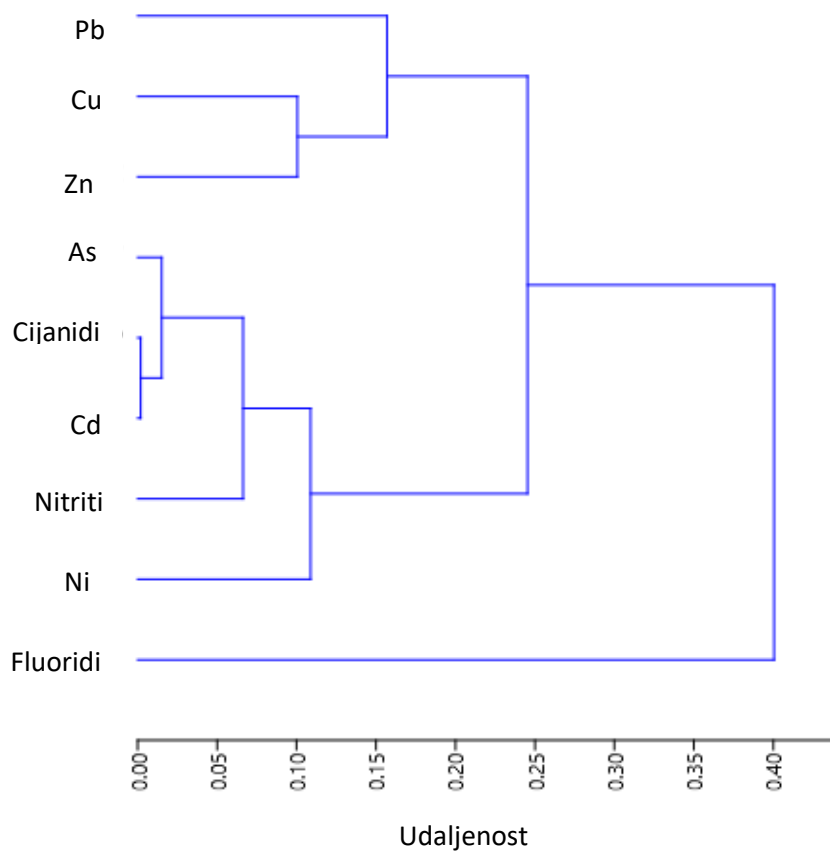
U Tablici 3. prikazani su korelacijski odnosi između 9 parametara procjernih voda.

Koeficijent korelacije izračunat je pomoću Pearsona.

Tablica 3. Koeficijenti korelacije procjernih voda odlagališta otpada Gorjak

	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cu	Nitriti	Fluoridi	Cijanidi
Pb	<b>1</b>								
Cd	-0,29	<b>1</b>							
As	-0,91	0,04	<b>1</b>						
Zn	-0,93	0	0,95	<b>1</b>					
Ni	-0,28	0,02	0,14	0,17	<b>1</b>				
Cu	0,09	0	-0,26	-0,2	0,92	<b>1</b>			
Nitriti	0,59	-0,79	-0,36	-0,26	-0,44	-0,26	<b>1</b>		
Fluoridi	-0,60	0	0,77	0,56	0,0004	-0,34	-0,42	<b>1</b>	
Cijanidi	-0,93	0	0,95	1	0,17	-0,2	0,26	0,26	<b>1</b>

Parametri s najvećim koeficijentom korelacije su arsen, cink, nitriti, fluoridi i cijanidi. To je vrlo jaka korelacija koja upućuje na to da porast ili smanjenje jednog parametra uzrokuje porast ili pad drugog parametra.



Slika 28. Dendrogram klusterske analize za setove izmjerenih vrijednosti parametara procjernih voda da odlagališta otpada Gorjak

## 6. ZAKLJUČAK

Odlagalište otpada „Gorjak“ je odlagalište neopasnog, komunalnog otpada za grad Krapinu i njezinu okolicu. Ono je zatvorenog tipa, a pristup odlagalištu dozvoljen je samo vozilima koja posjeduju dozvolu za prikupljanje, odvoz i zbrinjavanje komunalnog otpada. Površina odlagališta podijeljena je na dvije plohe – staru plohu koja je sanirana i zatvorena i novu plohu na kojoj se još uvijek vrši odlaganje otpada. Odlagalište je izgrađeno u skladu sa Pravilnikom te se sastoji od brtvenog i drenažnog sloja, zdenaca za otplinjavanje i sabirnog bazena u koji utječu procjedne vode. Procjedne vode sa odlagališta otpada „Gorjak“ se pročišćavaju i recirkuliraju po tijelu odlagališta. Analizu procjednih voda vrši Zavod za javno zdravstvo Krapinsko-zagorske županije, „Odjel za zdravstvenu ekologiju“. Na temelju uzoraka procjednih voda sakupljenih na odlagalištu dva puta godišnje u razdoblju od 2016. – 2018. godine napravljena je kemijska analiza. Koncentracije svih 14 izmjerenih parametara nalaze se ispod maksimalno dopuštenih koncentracija propisanih Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda. Iz svega navedenog proizlazi da je kvaliteta procjednih voda na odlagalištu otpada, po trenutno važećim propisima, na zadovoljavajućoj razini te da ne predstavlja rizik za zdravlje ljudi ili okoliš.

## 7. LITERATURA

1. Aničić, B. & Juriša, M. (1984): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, List Rogatec, L 33-56 - Geološki zavod Ljubljana, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
2. Aničić, B. i Juriša, M. (1985.): Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, Tumač za list Rogatec – Geološki zavod Ljubljana, Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 24–25 str.
3. Berišić M. i Šuvak N. (2013.): Primjenjena statistika
4. Bucković D. (2006.): Historijska geologija 2, Mezozoik i Kenozoik, eBook, PMF – Zagreb, 7.–104. str.
5. Environmental Protection Agency, Landfill Manual, Landfill Site Design, EPA Ireland (2000.)
6. EU Direktiva o odlaganju otpada, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=FI> , (pristup 18. lipnja 2019.)
7. EU Direktiva o odlagalištima otpada, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:31999L0031> , (pristup 20. lipnja 2019.)
8. Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, <http://www.azo.hr/Izvjescja25> , (pristup 20. lipnja 2019.)
9. Kapetanović L. (2015.): Primjena *cluster* analize u projektiranju proizvodnih sustava. Završni rad.
10. Matovina M. (2018.): Kemometrijska analiza sastava podzemnih voda Osječko-branjske županije. Diplomski rad.
11. Oreščanin, V. (2014.): Procjedne vode odlagališta otpada – kemijski sastav, toksični učinci i metode pročišćavanja, Hrvatske vode, 22, 1 -12.
12. Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15, 3/16)
13. Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15), (pristup 20. lipnja 2019.)
14. Vasilj I. (2016.): Kemometrijski model zavisnosti svojstava kvalitete pšeničnog zrna i brašna. Diplomski rad
15. Veinović Ž., Kvesnička P. (2007.): Površinska odlagališta otpada, interna skripta, RGNF
16. Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17)
17. Zovko M. (2012.): Zaštita okoliša – pogled iz prakse, stručna knjiga
18. Slika 1.  
[https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=OENLXKT0F9LYwQLVxYyWdW&q=elektri%C4%8Dni+i+elektroni%C4%8Dki+otpad&oq=elektri%C4%8Dni+i+elektroni%C4%8Dki+otpad&gs\\_l=img.3...0.0..2471...0.0..0.0.0.....0.....gws-wiz-img.d1QVa2v2vi8#imgrc=MfEl8JZk6UBq](https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=OENLXKT0F9LYwQLVxYyWdW&q=elektri%C4%8Dni+i+elektroni%C4%8Dki+otpad&oq=elektri%C4%8Dni+i+elektroni%C4%8Dki+otpad&gs_l=img.3...0.0..2471...0.0..0.0.0.....0.....gws-wiz-img.d1QVa2v2vi8#imgrc=MfEl8JZk6UBq) (pristup 10. 07. 2019.)



19. Slika 2.

[https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/SPUO/nadlezno\\_mzoe/-nacrtnacrt\\_prijedloga\\_plana\\_gospodarenja\\_otpadom\\_republike\\_hrvatske\\_za\\_razdoblje\\_2016-2022\\_.pdf](https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/SPUO/nadlezno_mzoe/-nacrtnacrt_prijedloga_plana_gospodarenja_otpadom_republike_hrvatske_za_razdoblje_2016-2022_.pdf) (pristup 15. 07. 2019.)

20. Slika 3.

[https://www.google.com/search?q=divlja+odlagali%C5%A1ta+otpada&source=lnms&tbnisch&sa=X&ved=0ahUKEwjZvLeLu-fAhUitosKHf3zA3AQ\\_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgc=ZkB9U6z6dFPCuM](https://www.google.com/search?q=divlja+odlagali%C5%A1ta+otpada&source=lnms&tbnisch&sa=X&ved=0ahUKEwjZvLeLu-fAhUitosKHf3zA3AQ_AUIDigB&biw=1366&bih=657#imgc=ZkB9U6z6dFPCuM) (pristup 16. 07. 2019.)

21. Slika 5a. i 5b.

[file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/BROS\\_BIORAZGRADNJA+OTPADNE+VODE+D+EPONIJA\\_2012\\_2013+\[Compatibility+Mode\].pdf](file:///C:/Users/Korisnik/Downloads/BROS_BIORAZGRADNJA+OTPADNE+VODE+D+EPONIJA_2012_2013+[Compatibility+Mode].pdf) (pristup 20. 07. 2019.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Posebna kategorija otpada - elektronički i elektronski uređaji (internetski izvor 1)	2
Slika 2. Karta statusa operativnosti odlagališta otpada u Republici Hrvatskoj (internetski izvor 2) .....	3
Slika 3. Divlje odlagalište otpada (internetski izvor 3).....	4
Slika 4. Presjek i glavni dijelovi uređenog odlagališta otpada.....	5
Slika 5a. i 5b. Procjedne vode sa odlagališta otpada (internetski izvor 5).....	7
Slika 6. Kartografski prikaz lokacije odlagališta otpada Gorjak .....	16
Slika 7. Stara ploha odlagališta otpada Gorjak.....	17
Slika 8. Odzračnici.....	17
Slika 9. Satelitska snimka odlagališta otpada Gorjak i okolice .....	19
Slika 10. Geološka karta područja odlagališta otpada Gorjak i okolice - isječak iz OGK SFRJ, list Rogatec (Aničić i dr., 1981.) .....	21
Slika 11a. i 11b. Sabirni bazen za procjedne vode odlagališta otpada Gorjak.....	22
Slika 12. Kompaktor otpada.....	23
Slika 13. Sabirni bazen za procjedne vode na odlagalištu otpada Gorjak .....	24
Slika 14. Kemijska potrošnja kisika u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	26
Slika 15. Biokemijska potrošnja kisika u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	27
Slika 16. Koncentracija H <sup>+</sup> iona u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak.....	28
Slika 17. Koncentracija cijanida u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	28
Slika 18. Koncentracija ukupnog fosfora u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	29
Slika 19. Koncentracija fluorida u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	29
Slika 20. Koncentracija nitrita u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	30
Slika 21. Koncentracija olova u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	31
Slika 22. Koncentracija kadmija u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	31
Slika 23. Koncentracija žive u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	32
Slika 24. Koncentracija arsena u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak.....	32
Slika 25. Koncentracija cinka u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	33
Slika 26. Koncentracija nikla u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	33
Slika 27. Koncentracija bakra u procjednoj vodi odlagališta otpada Gorjak .....	34
Slika 28. Dendogram klusterske analize za setove izmjerenih vrijednosti parametara procjednih voda da odlagališta otpada Gorjak .....	37

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Normirane metode .....	25
Tablica 2. Srednja vrijednost, standardna devijacija i koeficijent varijabilnosti za parametre procjednih voda s odlagališta otpada Gorjak.....	35
Tablica 3. Koeficijenti korelacije procjednih voda odlagališta otpada Gorjak.....	36