

# Određivanje kemijskih parametara filtrata odlagališta komunalnog otpada

---

Južnić, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:219006>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-23**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij rudarstva

**ODREĐIVANJE KEMIJSKIH PARAMETARA FILTRATA ODLAGALIŠTA  
KOMUNALNOG OTPADA**

Diplomski rad

Ana Južnić

R 190

Zagreb, 2018.

## **Zahvala**

*Ovom prilikom zahvaljujem se gospođi Jeleni Parlov-Vuković na ukazanoj prilici i pomoći pri izradi diplomskog rada i svim djelatnicima Centalnog ispitnog laboratorija koji su pomogli pri stvaranju ovoga rada.*

*Također zahvaljujem se gospođi Martini Sesvečan i djelatnicima odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava na ustupanju uzorka za analizu.*

*Zahvaljujem se i mentoru Želimiru Veinoviću na strpljenju, pomoći i usmjeravanju.*

## ODREĐIVANJE KEMIJSKIH PARAMETARA FILTRATA ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

Ana Južnić

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

### Sažetak

U radu je dan prikaz odlagališta komunalnog otpada, sastava i faktora koji utječu na otpad te nastanak procjednih voda i filtrata. Rad se temelji na važnosti pravilnog odlaganja otpada i izvedbe odlagališta otpada u svrhu zaštite okoliša. Cilj rada je analiza uzorka filtrata s odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava. Temeljem analize filtrata odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava utvrđeno je da su parametri zadovoljili zadane granice za zadržavanje procjedne vode u tijelu odlagališta.

Ključne riječi: filtrat, procjedne vode, odlagalište, komunalni otpad

Diplomski rad sadrži: 38 stranica, 6 tablica, 14 slika i 19 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Želimir Veinović, docent, RGNF

Pomagao pri izradi: Dr. sc. Želimir Veinović, docent, RGNF  
Dr. sc. Jelena Parlov-Vuković

Ocjenjivači: Dr. sc. Želimir Veinović, docent, RGNF  
Dr. sc. Frankica Kapor, redoviti profesor RGNF  
Dr. sc. Dubravko Domitrović, docent, RGNF

## ANALYSIS OF CHEMICAL PARAMETERS OF LANDFILL LEACHATE

Ana Južnić

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Mining and Geotechnical Engineering  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Abstract

This thesis describes landfill sites, composition and factors which affect waste and creation of landfill leachate. The thesis is based on the importance of proper waste disposal and proper construction of landfills with the purpose of protecting the environment. The aim of this thesis is to analyze a sample of landfill leachate from Mraclinska Dubrava landfill. Based on the analysis of landfill leachate from Mraclinska Dubrava landfill, the conclusion is that the parameters are within the specified limits of accumulating the leachate within the body of the landfill.

Keywords: filtrat, leachate, landfill, municipal waste

Thesis contains: 38 pages, 6 tables, 14 figures and 19 references

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Assistant Professor Želimir Veinović, PhD

Tech. assistance: Assistant Professor Želimir Veinović, PhD  
Jelena Parlov-Vuković, PhD

Reviewers: Assistant Professor Želimir Veinović, PhD  
Full Professor Frankica Kapor, PhD  
Assistant Professor Dubravko Domitrović, PhD

Defence date: 14.12.2018. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA.....	2
2.1. SASTAV I KARAKTERISTIKE OTPADNOG MATERIJALA.....	6
2.2. NASTANAK I PROMJENE FILTRATA STARENJEM.....	10
2.3. GOSPODARENJE FILTRATOM.....	12
2.3.1. Fizikalne metode.....	12
2.3.2. Fizikalno-kemijske metode.....	12
2.3.3. Biološke metode.....	15
2.3.4. Membranske metode.....	15
2.3.5. Elektrokemijska metoda.....	16
2.3.6. Recirkulacija.....	17
3. KEMIJSKA ANALIZA FILTRATA IZ ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA.....	18
3.1. PARAMETRI.....	18
3.1.1. Određivanje pH vrijednosti.....	18
3.1.2. Određivanje električne vodljivosti.....	19
3.1.3. Određivanje karbonata i hidrogenkrabonata.....	20
3.1.4. Određivanje sadržaja žive.....	23
3.1.5. Određivanje udjela amonijaka.....	24
3.2. ANALIZA UZORKA FILTRATA IZ ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA MRACLINSKA DUBRAVA.....	25
4. RASPRAVA I ZAKLJUČAK .....	36
5. LITERATURA.....	37

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Prikaz presjeka odlagališta komunalnog otpada (Prelec, 2018).....	3
Slika 2-2 Postavljanje geomembrane (usfabricsinc.com, 2018).....	5
Slika 2-3 Postavljanje geotekstila (geofabrics.co, 2017).....	6
Slika 2-4 Prosječan sastav komunalnog otpada u RH (HAOP, 2015).....	8
Slika 2-5 Karakteristične vremenske faze odlagališta otpada (Prelec, 2018).....	9
Slika 2-6 Flotacija (seawateroplant.com, 2018).....	13
Slika 2-7 Koagulacija/flokulacija (ecologixsystems.com, 2018).....	14
Slika 2-8 Reverzna osmoza (euroclean.cz, 2018).....	16
Slika 3-1 Uređaj 794 BASIC TITRINO .....	19
Slika 3-2 Uređaj SevenExcellence.....	20
Slika 3-3 Uređaj TOC-Control L.....	21
Slika 3-4 Hladnjak za čuvanje uzoraka.....	22
Slika 3-5 Uređaj Spektrofotometar DR 3900.....	25
Slika 4-1 Odlagalište komunalnog otpada Mraclinska (vgcistoca.hr, 2018).....	36

## POPIS TABLICA

Tablica 3-1 Rezultati analize filtrata odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava (CIL, 2018).....	25
Tablica 3-2 Karakteristike procjernih voda s odlagališta otpada i kućanskih otpadnih voda (Petković, 2017).....	27
Tablica 3-3 Usporedba određenih parametara odlagališta otpada Bikarac, odlagališta otpada Totovec i odlagališta otpada Mraclinska Dubrava (CIL, 2018; Petković, 2017; Sakal, 2017).....	28
Tablica 3-4 Dopuštene masene koncentracije tvari i vrijednosti fizikalno kemijskih veličina u eluatu za odlagalište I i II kategorije (Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom, 1997).....	29
Tablica 3-5 Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 2013).....	30
Tablica 3-6 Tablica 3-6 Usporedba graničnih vrijednosti emisija onečišćujućih tvari i vrijednosti s odlagališta otpada Mraclinska Dubrava (CIL,2018; Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 2013).....	33



## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
BPK	mg/L	biološka potrošnja kisika
BPK <sub>5</sub>	mg/L	biološka potrošnja kisika nakon pet dana
KPK	mg/L	kemijska potrošnja kisika
MF	-	mikrofiltracija
UF	-	ultrafiltracija
NF	-	nanofiltracija
RO	-	reverzna osmoza
TOC	mg/L	ukupni organski ugljik
DOC	mg/L	otopljeni organski ugljik
TDS	%	total dissolved solids
ORP	mV	oxidation reduction potential
MLVSS/MLSS	-	Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (Mixed Liquor Suspended Solids)
AOX	mg/L	organski halogeni spojevi koji se daju ekstrahirati
BTX	mg/L	lakohlapljivi aromatski ugljikovodici

## 1. UVOD

Odlagališta otpada, a naročito ona neuređena, uzrokuju značajan negativan utjecaj na sve sastavnice okoliša, a najznačajniji rizik za okoliš predstavljaju produkti razgradnje otpada odnosno odlagališni plinovi i procjedne vode.

Budući da u svakom odlagalištu komunalnog otpada dolazi do stvaranja filtrata koji može biti izuzetno opasan za ljude, životinje i okoliš, detaljne analize se moraju provoditi najmanje jednom godišnje, a pravna ili fizička osoba koja se bavi odlaganjem otpada može dodatno tražiti ispitivanje filtrata.

U radu je provedena laboratorijska analiza filtrata s odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava, a analizu je proveo Centralni ispitni laboratorij koji je akreditiran prema zahtjevima norme HRN EN ISO/IEC 17025 za ispitivanje tekućih naftnih proizvoda i bio-goriva te uzorkovanje na benzinskim postajama, kao i za ispitivanje voda, otpada, muljeva i tla te uzorkovanje otpadnih voda.

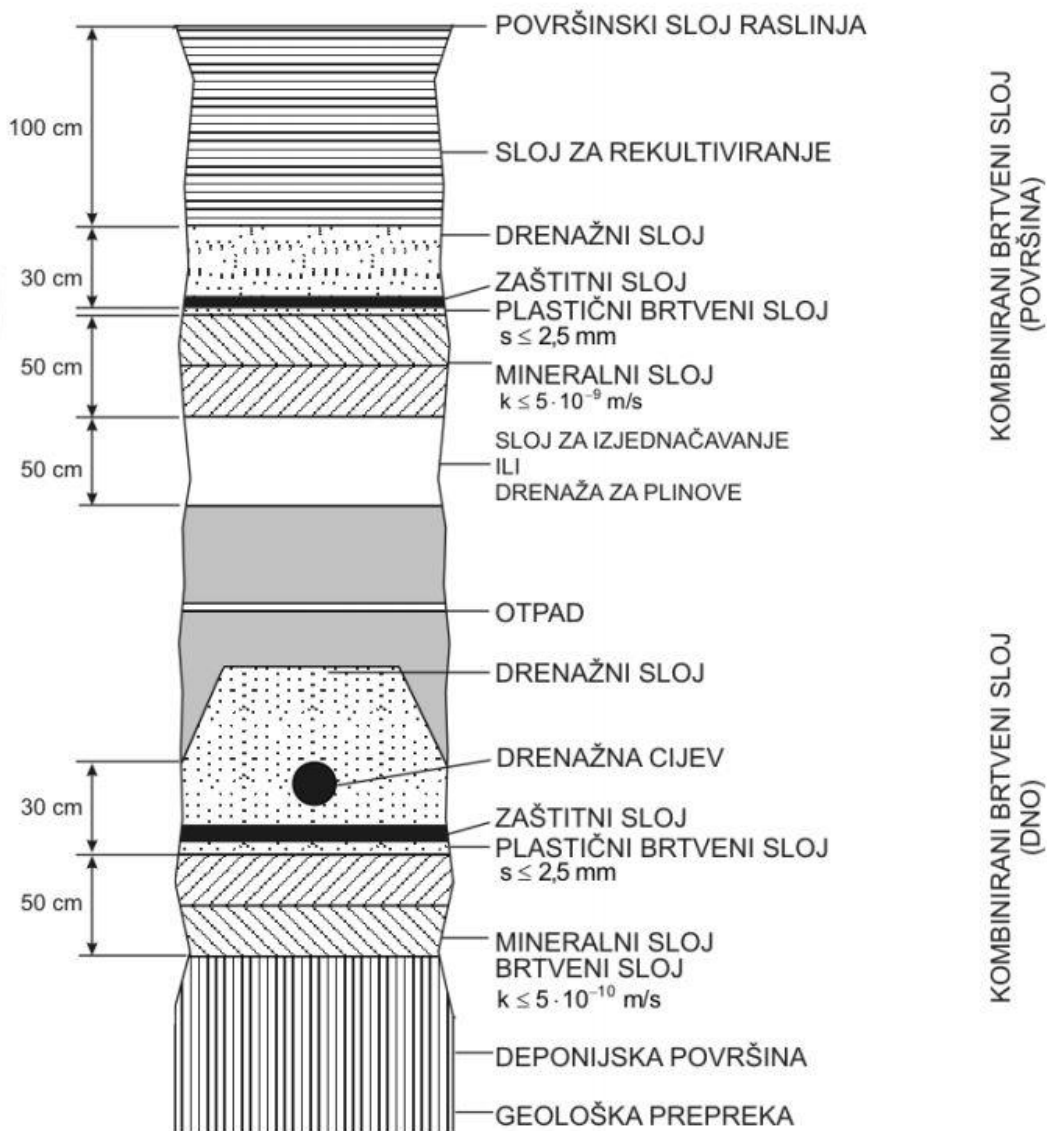
U nastavku rada pozornost je usmjerena na otpadni materijal odlagališta komunalnog otpada, analizu filtrata i usporedbe s drugim odlagalištima komunalnog otpada.

## 2. ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

Komunalni otpad predstavlja veliki problem, budući da je po svojoj količini najrašireniji, a ujedno ga možemo pronaći i u najmanjem naseljenom mjestu. U svrhu legalnog zbrinjavanja komunalnog otpada, te u svrhu očuvanja okoliša, komunalni otpad se zbrinjava u posebne geotehničke objekte, odnosno na odlagališta komunalnog otpada, gdje se pohranjuje na siguran način.

Uz uvjet da su odlagališta pravilno projektirana i izgrađena, ona predstavljaju objekte sigurne u smislu štetnog utjecaja na okoliš. Suvremena odlagališta otpada su zatvorene posude u koje se odlaže otpad, a iz koje ništa ne može i ne smije nekontrolirano izaći.

Kako bi odlagalište bilo u potpunosti sigurno potrebno je ugraditi osnovne elemente, a to su temeljno tlo, temeljni zaštitni sustav, tijelo odlagališta, završni pokrov te sustav za otplinjavanje (slika 2-1). Prilikom izgradnje odlaganja koriste se i posebni geosintetski materijali poput geotekstila, geomreža, geomembrana i geokompozita.



Slika 2-1 Prikaz presjeka odlagališta komunalnog otpada (Prelec, 2018)

Temeljno tlo je podloga za izgradnju temeljnog zaštitnog sustava. To je tlo koje postoji na lokaciji prije izvedbe građevine. Podloga se ravna i zbija kako bi se pripremila za temeljni zaštitni sloj.

Temeljni zaštitni sustav izvodi se kako bi se onemogućilo otjecanje filtrata iz tijela odlagališta u temeljno tlo, odnosno u okoliš. Temeljni zaštitni sustav sastavljen je od temeljnog brtvenog sustava, s materijalom koeficijenta propusnosti manjim od  $10^{-9}$  m/s. Kao brtveni sustavi najčešće se koriste slojevi gline, složeni brtveni sustav, sastavljeni od gline i geomembrana, bentonitni tepisi, mineralni slojevi od krupnozrnatog materijala obogaćenog glinom ili bentonitom, asfaltne barijere i slično (Veinović, usmeno priopćenje, 2017)

Temeljni zaštitni sustav također je sačinjen i od drenažnog sustava koji ima svrhu prikupljanja i odvođenja filtrata iz tijela odlagališta. Drenažni sustav sastoji se od drenažnog sloja, filtarskog sloja i drenažnih cijevi. Materijal potreban za drenažni sloj mora imati koeficijent propusnosti barem za jedan red veličine veći od komunalnog otpada, obično  $10^{-5}$  m/s, te minimalnu debljinu od 30 cm. Za izradu se koristi šljunak i krupni pijesak. Filtarski sloj ima svrhu procjeđivanja filtrata iz odlagališta u drenažni sloj. On istovremeno sprječava iznošenje sitnijih čestica te time smanjuje mogućnost začepljenja drenažnog sloja. Za izradu filtarskog sloja koriste se zrnati materijali i geotekstili. U drenažni sloj se postavljaju drenažne cijevi, koje se dodatno oblažu filtarskim materijalom, poput geotekstila.

Tijelo odlagališta je zapravo otpad koji se u slojevima rasprostire i svaki sloj se zbija kako bi se smanjio volumen otpada i zatim se prekriva svakog dana zemljanim materijalom.

Kada je odlaganje gotovo, odlagalište se pokriva završnim pokrovom koji sprječava prodiranje oborinskih voda u tijelo odlagališta, te omogućava odvodnju oborinskih voda. Završni pokrov također služi kao zaštita od raznih životinja i širenja neugodnih mirisa i raznošenje otpada. Završni sloj sačinjen je od pokrovnog brtvenog sustava i drenažnog sustava. U pokrovnom brtvenom sustavu češće se koriste geosintetički bentonitni tepisi radi veće izloženosti završnost pokrova od nastajanja pukotina, uslijed slijeganja tijela odlagališta. Drenažni sloj nalazi se povrh brtvenog sloja te služi za dreniranje oborinske vode, kako ne bi ušla u tijelo odlagališta.

Kako bi se nastali plinovi oslobodili iz odlagališta, potrebno je ugraditi i sustav za otplinjavanje. Sustav za otplinjavanje se izvodi kao pasivno i aktivno otplinjavanje. Sustavi su sastavljeni od propusnih slojeva i cijevi za odvođenje plinova. Plin se dalje može ponovno koristiti ili se pali na baklji iznad odlagališta.

Geomembrana je vrlo slabo propusna sintetička membrana koja se koristi kao barijera za kontrolu migracije fluida u objektima ili određenim sustavima. U odlagalištima otpada najčešće se koriste polietilenske membrane visoke gustoće, a debljina varira od 0,5 mm do 2,5 mm, ovisno o funkciji geomembrane i tipu otpada. Geomembrane (slika 2-2) se spajaju

metodom vrućeg spajanja, prekriva se zaštitnim geotekstilom i drenažnim materijalom za sakupljanje procjednih voda.



Slika 2-2 Postavljanje geomembrane (Us fabrics, 2018)

Geotekstil se koristi kao zaštita geomembrane od mehaničkih oštećenja kod ugradnje drenažnih i filterskih slojeva te odlaganja i zbijanja otpada. Geotekstil je netkani propusni proizvod od polimernog materijala oblikovan u mrežu. Podloga ispod zaštitnog geotekstila je glatka, bez brazdi i izbočina, a polaže se vodoravno i jednolično da bi geotekstil bio u direktnom kontaktu s podlogom (slika 2-3). Potrebno ga je zaštititi od opterećivanja, cijepanja i ostalih oštećenja za vrijeme postavljanja (Hrnčić i Hrničić, 2011) .



Slika 2-3 Postavljanje geotekstila (Geofabrics, 2017)

## 2.1. SASTAV I KARAKTERISTIKE OTPADNOG MATERIJALA

Otpadom se smatra svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti (mzoip, 2018). Općenito prema svojstvima otpad se dijeli na opasni, neopasni i inertni otpad. Opasni otpad je onaj otpad koji sadrži jedno od 14 svojstava, a to su eksplozivnost, reaktivnost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, kancerogenost, infektivnost, zapaljivost, korozivnost, mutagenost, teratogenost, ukoliko sadrži tvari koje ispuštaju toksične plinove u kontaktu sa vodom, zrakom i kiselinom, ukoliko sadrži ekotoksične tvari. Neopasni otpad je otpad koji nema neko od svojstava opasnog otpada. Inertni otpad je onaj otpad koji ne podliježe znatnim fizičkim, kemijskim ili biološkim promjenama. Takav otpad nije topljiv, zapaljiv, biorazgradiv, fizikalno ili kemijski ne reagira, ne utječe na zdravlje ljudi i životinja i ne šteti okolišu, a koncentracije štetnih tvari ne utječu na kakvoću površinskih i podzemnih voda (Zakon o održivom gospodarenju otpadom, NN 94/13).

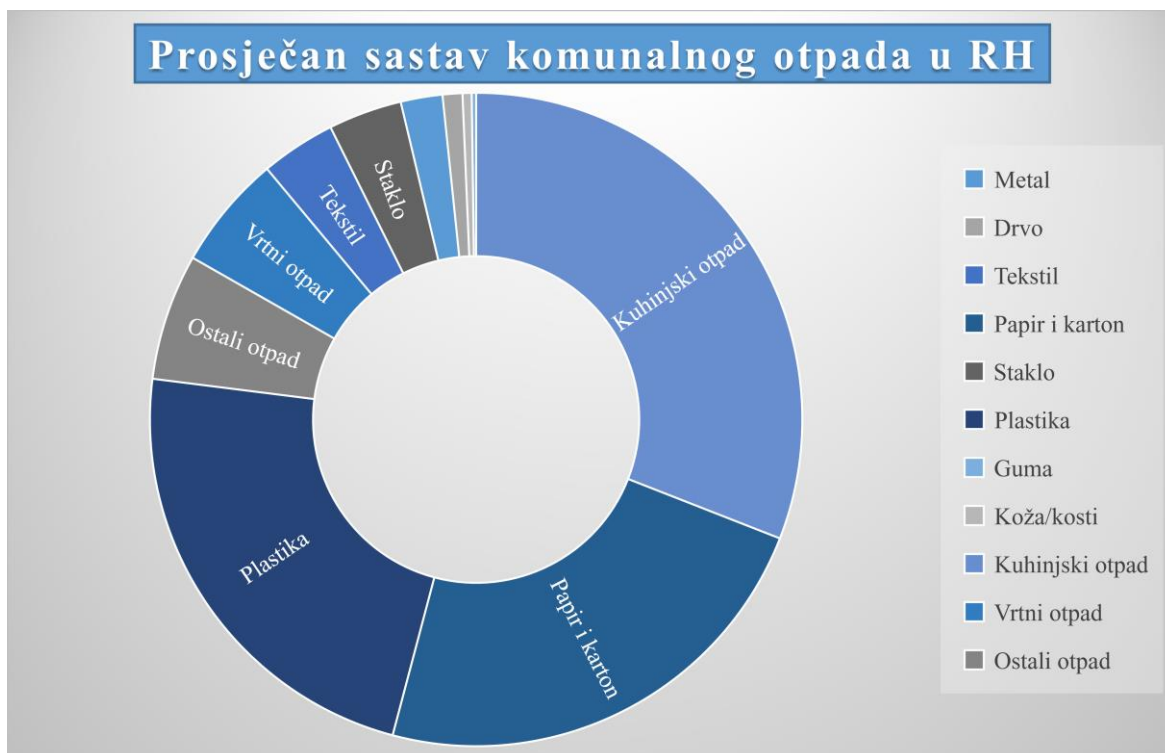
Prema mjestu nastanka otpad se dijeli na proizvodni otpad, komunalni otpad i otpad posebne kategorije. Posebne kategorije otpada definirane Zakonom o održivom gospodarenju (NN 94/13) su:

- Građevni otpad
- Otpad koji sadrži azbest
- Otpadna ulja
- Otpadne baterije i akumulatori
- Otpadni električni i elektronički uređaji i oprema
- Otpadne gume
- Otpadna vozila
- Ostale posebne kategorije otpada:
  - Otpadni brodovi
  - Otpadna ambalaža
  - Medicinski otpad
  - Morski otpad
  - Biootpad
  - Otpadni tekstil i obuća
  - Otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda
  - Otpad iz proizvodnje titan dioksida
  - Poliklorirani bifenili i poliklorirani terfenili

Čimbenici koji utječu na prosječan sastav i količinu komunalnog otpada su broj stanovnika, standard stanovništva, tip naselja, dostignuta razina komunalne infrastrukture, ekonomski stupanj razvoja društva, sezonske varijacije, geografska lokacija i slični faktori (HAOP, 2015).

Prosječan godišnji sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj (slika 2-4) jest sljedeći: Metal 2,07%, drvo 0,98%, tekstil 3,71%, papir i karton 23,19%, staklo 3,65%, plastika 22,87%, guma 0,22%, koža/kosti 0,45%, kuhinjski otpad 30,93%, vrtni otpad 5,68%, ostali otpad (pelene, zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano) 6,25% (HAOP, 2015).





Slika 2-4 Prosječan sastav komunalnog otpada u RH (HAOP, 2015)

U 2014. godini, ukupno je proizvedeno 1 637 371 tona komunalnog otpada. Godišnja količina komunalnog otpada po stanovniku iznosila je 382 kilograma, odnosno dnevna količina 1,04 kilograma proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku. Udio miješanog komunalnog otpada u sakupljenom otpadu činio je 76% (mzoip, 2018).

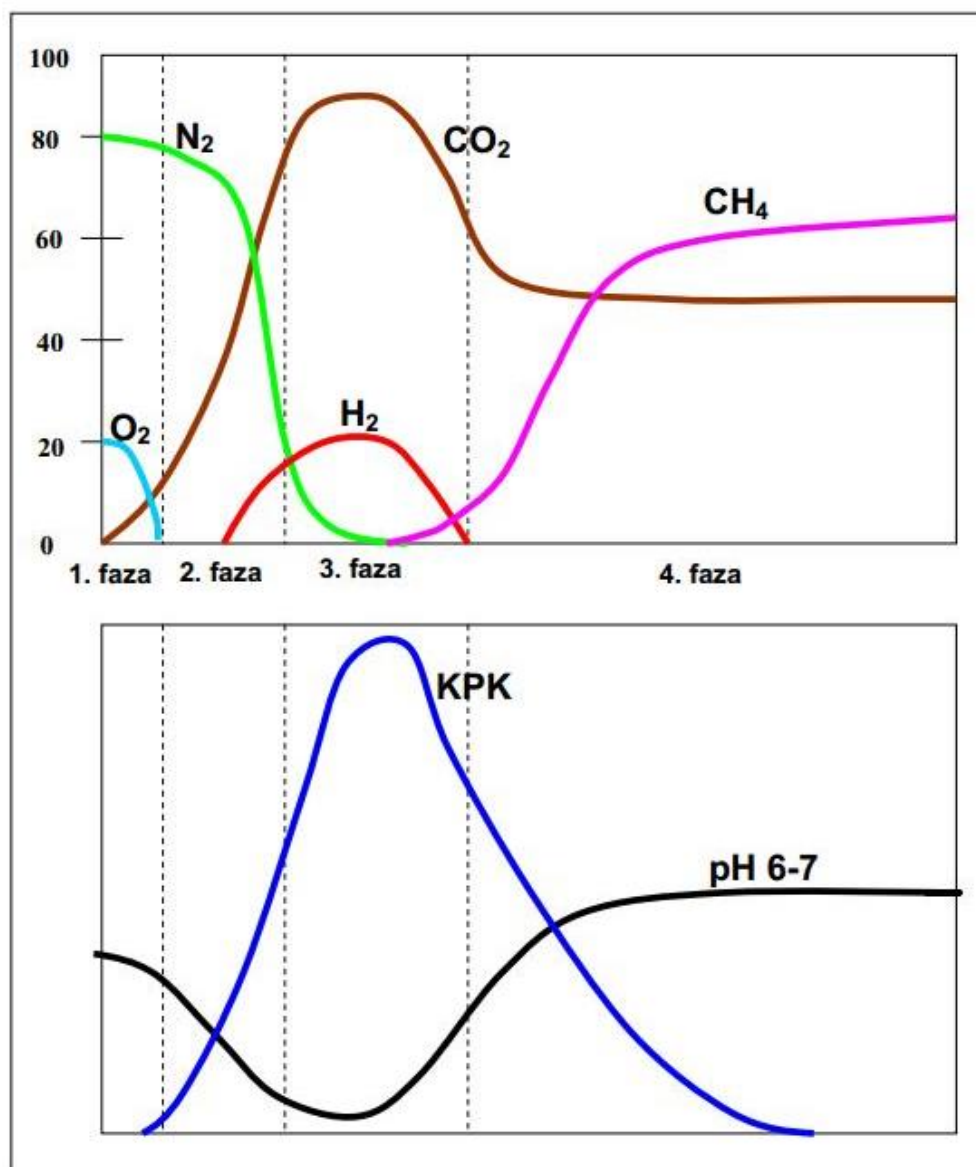
Komunalni otpad sačinjava otpad iz kućanstva, otpad koji nastaje čišćenjem javnih i prometnih površina te otpad sličan otpadu iz kućanstva koji nastaje u gospodarstvu, ustanovama i uslužnim djelatnostima (Sabol, 2012).

Ukoliko komunalni otpad sadrži biološki razgradiv otpad, tada se on naziva biorazgradivi komunalni otpad, a krupni, odnosno glomazni otpad, odnosi se na otpad koji zbog svoje zapremnine ili mase nije prikladan za prikupljanje. Miješani komunalni otpad sastavljen je od biootpada, papira i kartona, opasnog komunalnog otpada, plastike, stakla, sitnog otpada, tkanine i pelena, metala i ostalog.

Biorazgradivi otpad je otpad koji podliježe aerobnoj ili anaerobnoj razgradnji. U komunalnom otpadu te komponente su papir, karton, otpad iz vrtova i parkova, otpad od hrane, drvo, tekstil i slično (Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine, 2017).

Prilikom starenja otpada dolazi do promjena karakteristika otpada. Otpad se postupno razgrađuje te nastaju kruti, tekući i plinoviti produkti. Promjene mogu biti spontane i namjerne na način da se manipulira promjenama u svrhu boljeg odlaganja otpada. Namjerne promjene odnose se na odvajanje određenih komponenti iz otpada, smanjivanje volumena otpada odnosno zbijanje i smanjivanje veličine otpada kidanjem, trganjem ili mljevenjem otpada.

Starenje otpada odvija se u četiri faze, aerobna razgradnja, kisela faza anaerobne razgradnje, anaerobna razgradnja i ustaljena anaerobna razgradnja (slika 2-5).



Slika 2-5 Karakteristične vremenske faze odlagališta otpada (Prelec, 2018)

Aerobna razgradnja odvija se prilikom ugradnje otpada u tijelo odlagališta i traje od nekoliko dana do nekoliko tjedana. Dolazi do trošenja kisika i razgrađivanja organske tvari na ugljikov dioksid, vodu, toplinu i djelomično raspadnute tvari. Aerobni uvjeti traju sve dokle ima slobodnog kisika. Temperatura u ovoj fazi raste na oko 700 °C, a koncentracija ugljikovog dioksida u plinu je oko 90%. Zbog povišene razine ugljikovog dioksida nastaje ugljična kiselina i smanjuje se pH filtrata.

Kisela faza anaerobne razgradnje slijedi nakon aerobne faze i traje od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci. Organski materijal se i dalje razgrađuje uz nastanak visokih koncentracija organskih kiselina, amonijaka, vodika i ugljičnog dioksida. Ova faza se naziva kisela jer pH pada do 4. Tolika kiselost uzrokuje razgradnju drugih organskih i anorganskih tvari te nastaje kemijski agresivni filtrat s visokom specifičnom vodljivošću.

Anaerobna razgradnja traje između tri do pet godina. Započinje stvaranje metanogenih bakterija koje organske kiseline pretvaraju u metan. Optimalni uvjeti za ovu fazu su kod pH 6 do 7.

## 2.2. NASTANAK I PROMJENE FILTRATA STARENJEM

Filtrat je prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN117/07, 111/11, 17/13, NN 62/13) svaka tekućina koja prolazi kroz otpad ili je u njemu sadržana.

Filtrat dakle nastaje iz vode koja je prisutna u otpadu i iz vode koja ulazi u odlagalište u obliku oborinskih voda, podzemnih voda i slično.

Filtrat prilikom prolaska kroz otpad preuzima velike količine otopljenih i suspendiranih tvari, a sami prolazak vode kroz otpad ovisi o sastavu otpada, propusnosti otpada, debljini odloženog otpada, starosti odlagališta, klimi, itd.

Sastav i kemijske osobine filtrata ovise o samom otpadu, odnosno o kemijskom sastavu otpada, topivosti i razgradivosti materijala, klimi, o uvjetima unutar odlagališta, starosti odlagališta.

Količina procjednih voda može znatno varirati između različitih odlagališta budući da ovisi o karakteristikama odloženog otpada, prvenstveno o primarnom sadržaju vlage, zatim o makroklimatskim i mikroklimatskim osobinama lokacije, o lokalnim hidrološkim i

hidrogeološkim uvjetima terena, o stupnju uređenja odlagališta te tehnologiji zbrinjavanja i manipulacija otpadom. Također količina procjednih voda ovisi o stupnju uređenosti odlagališta i o fazi korištenja odlagališta, jer o navedenom ovisi količina oborina koje će ući u tijelo odlagališta.

Procjedne vode nastaju cirkulacijom oborinske vode kroz tijelo odlagališta te biokemijskim procesima u otpadu tokom njegove razgradnje. Procjedne vode mogu biti veoma zagađene toksičnim i biološkim materijalima, smeđe su do crne otopine, neugodnog mirisa, visoke vodljivosti, visokih koncentracija amonijaka. Radi svog sastava, procjedne vode predstavljaju veliku opasnost za okoliš i ljude.

Kao što je već spomenuto karakteristike procjednih voda se mijenjaju s vremenom u četiri faze:

- Procjedne vode aerobne razgradnje otpada karakterizirane su zakiseljavanjem do kojeg dolazi zbog velike količine nastalog ugljikovog dioksida i njegovog otapanja u vodi
- Procjedne vode anaerobne razgradnje otpada karakterizirane su daljnjim zakiseljavanjem na pH 5-6 te jakim i neugodnim mirisom zbog visoke koncentracije amonijaka.
- Procjedne vode metanogene faze karakteriziraju niske vrijednosti BPK<sub>5</sub> (biološka potrošnja kisika nakon pet dana) i nizak omjer BPK<sub>5</sub>/KPK (kemijska potrošnja kisika). Amonijak je prisutan u visokim koncentracijama i nastavlja se izdvajanje željeza, natrija, kalija, sulfata i klorida.
- U stabilnom dijelu metanogene faze nema značajnijih promjena u odnosu na metanogenu fazu.

Mlađa odlagališta sadrže veće količine biorazgradivih organskih tvari, te se anaerobna fermentacija odvija brzo rezultirajući hlapljivim masnim kiselinama. Kako odlagalište stari, u otpadu nastaju metanogeni mikroorganizmi i stvara se bioplin, odnosno metan i ugljikov dioksid.

## 2.3. GOSPODARENJE FILTRATOM

Zbog velike štetnosti filtrata po okoliš i ljude, filtrat je potrebno obraditi kako bi zadovoljio propisane koncentracije za ispuštanje u okoliš ili vraćanje u odlagalište. Moguće je korištenje više metoda, a dijele se na fizikalne, fizikalno kemijske, kemijske, biološke, membranske i elektrokemijske metode.

Odabir metode za obradu filtrata temelji se na podacima o kakvoći i količini filtrata, o veličini i radnom vijeku odlagališta, o zahtijevanoj kakvoći filtrata i ekonomskoj isplativosti.

### 2.3.1. Fizikalne metode

Fizikalne metode su metode koje najčešće služe kao predobrada. Koriste se jednostavni postupci poput sedimentacije i isparavanja. Fizikalnim metodama uklanjamo krupnije čestice i višak vode kako bi olakšali daljnju obradu.

### 2.3.2. Fizikalno-kemijske metode

Fizikalno kemijske metode obuhvaćaju flotaciju, koagulaciju/flokulaciju, kemijsko taloženje, kemijsku oksidaciju, stripiranje i adsorpciju.

Flotacija (slika 2-6) je postupak razdvajanja komponenti materijala pomoću zračnih mjehurića u suspenziji, koji se zasniva na razlici u površinskim svojstvima to jest intenzitetu hidrofilnosti odnosno hidrofobnosti komponenti koje se razdvajaju. Prilikom uvođenja zračnih mjehurića u suspenziju, hidrofobne čestice prionuti će za mjehuriće zraka i s njima će isplivati na površinu. Kako bi odvajanje bilo uspješno u suspenziju se dodaju regulatori, kolektori i pjenušavci te se suspenzija aerira.



Slika 2-6 Flotacija (Seawater ro plant, 2018)

Koagulacija/flokulacija (slika 2-7) su kemijski postupci kojima se iz vode uklanjaju koloidne tvari. Ti postupci temelje se na električnim svojstvima koloidnih suspenzija. Koagulacija je destabilizacija naboja koloidne čestice, a flokulacija je proces u kojem se čestice međusobno privlače slabim silama ili pak povezuju u flokule preko adsorbiranih molekula flokulanta makromolekularne prirode. Ovi postupci se uspješno koriste u obradi stabilizirane i stare procjedne vode s odlagališta.



Slika 2-7 Koagulacija/flokulacija (Ecologix environmental system, 2018 )

Kemijsko taloženje obuhvaća procese nastajanja teško topljivih soli iz vodenih, najčešće elektrolitnih otopina. Reakcija kemijskog taloženja se zbiva kada su u otopini ioni teško topljive soli u koncentraciji većoj nego što odgovara njezinoj topljivosti pri danim uvjetima. U slučaju obrade procjednih voda s odlagališta otpada, kemijsko taloženje je primjenjivano kao metoda predobrade kako bi se uklonile visoke koncentracije amonijakalnog dušika.

Kemijska oksidacija je potrebna za obradu otpadnih voda koje sadrže topljive organske tvari. Obično se koriste oksidansi poput klora, ozona, kalijevog permanganata, kalcijeva hipoklorita što rezultira smanjenjem KPK za 20 do 50%. Većina procesa se temelji na izravnoj reakciji oksidansa s onečišćenjem ili putem generiranih hidroksilnih radikala.

Stripiranje se koristi za uklanjanje amonijaka. Temelji se na protustrujnom cirkuliranju zraka i onečišćene vode uz povećanje međufazne površine pomoću punila te se najčešće koristi za uklanjanje hlapljivih organskih spojeva i amonijevih spojeva. Nedostatak procesa je provođenje procesa u lužnatom pH području pH 14 i relativno visokoj temperaturi od oko 400°C.

Adsorpcija je tehnološka operacija kod koje se na graničnoj površini između krute ili tekuće faze te plinovite ili tekuće faze nakuplja neka tvar iz plinske ili tekuće faze u koncentraciji većoj od koncentracije te tvari u plinskoj ili tekućoj smjesi. Koristi se kao faza integriranog kemijsko-fizikalno-biološkog procesa za obradu procjednih voda s odlagališta otpada ili istovremeno s biološkim postupkom. Najčešće korišteni adsorbent je aktivni ugljen. KPK i amonijakalni dušik se smanjuje za 50 do 70% (Oreščanin, 2014; Petković, 2017).

### 2.3.3. Biološke metode

U biološkim metodama koriste se mikroorganizmi kako bi se smanjio sadržaj organske tvari i dušika u procjednoj vodi. Obično se ova metoda primjenjuje kod procjednih voda s velikim vrijednostima BPK (biološka potrošnja kisika) pokazatelja. Biološke metode dijele se na aerobne i anaerobne metode.

Anaerobna metoda je metoda u kojoj se koriste mikroorganizmi bez prisustva kisika, otopljeni sastojci i netopljive čestice organskog podrijetla u vodi ili mulju razgrađuju u bioplin (metan i ugljikov dioksid). Anaerobna metoda najpogodnija je za novija odlagališta otpada.

Aerobnim metodama djelomično se uklanja biorazgradiva organska tvar te dolazi do nitrifikacije amonijaka. Aerobne metode provode se u aeriranim lagunama, ne zahtijevaju posebne mjere održavanja, no efikasnost uklanjanja polutanata ovisi o temperaturnim promjenama i dugotrajna je. Iako je ova metoda ekonomična i jednostavna, nije prikladna za obradu procjednih voda odlagališta otpada (Oreščanin, 2014; Petković, 2017).

### 2.3.4. Membranske metode

Membranske metode dijele se na mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, nanofiltraciju i reverznu osmozu. Pomoću membrane otpadna voda dijeli se na dvije struje, permeat je dio ulazne struje koji je prošao kroz membranu i retentat, dio ulazne struje koji je membrana zadržala. Primjenom ovih metoda iz vode se uklanjaju otopljene, emulgirane i raspršene tvari do iznimno niskih koncentracija, a otpadne tvari mogu se iskoristiti kao vrijedne sekundarne sirovine. Prijenos kroz membranu odvija se djelovanjem razlike tlaka, razlike koncentracije/aktiviteta, razlike električnog potencijala.

Mikrofiltracija (MF) se koristi za predobradu procjedne vode kako bi se izdvojile koloidne čestice i suspendirane tvari i služi kao priprema za neki drugi membranski proces te se ne može koristiti samostalno.

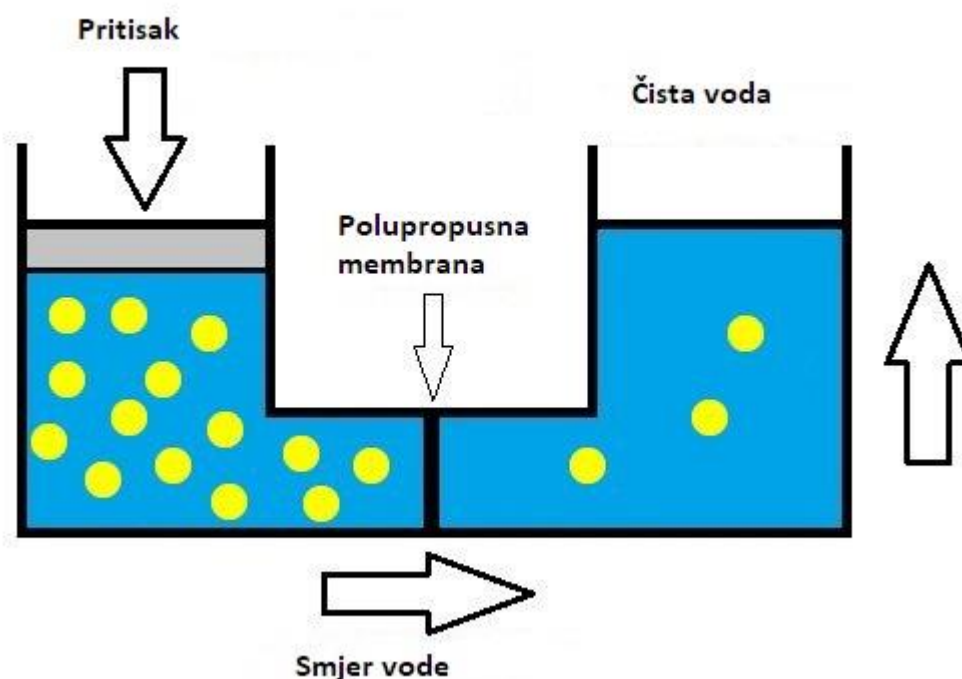
Ultrafiltracija (UF) se često koristi kao predtretman prije reverzne osmoze. Vrlo je učinkovita u uklanjanju makromolekula, a uspješnost ove metode zavisi o vrsti materijala membrane. Sniženje KPK-a kreće se između 10 i 75%.

Nanofiltracija (NF) se zasniva na steričkom i Donnan-ovom efektu. Donnan-ov potencijal nastaje između aniona prisutnih u membrani i kationa prisutnih u filtratu i sprječava prolazak kationa kroz membranu. Nanofiltracijske membrane obično su izrađene



od polimernih filmova. Korištenjem ove metode postiže se visok stupanj uklanjanja organskog, anorganskog i mikrobiološkog onečišćenja, a postotak uklanjanja KPK-a i ukupnog dušika kreće se između 60 i 80%, a suspendirane tvari i mutnoće iznad 99%.

Reverzna osmoza (RO) je najučinkovitija metoda za obradu procjernih voda (slika 2-8). Postiže se uklanjanje KPK-a i teških metala iznad 99%. Nedostatak reverzne osmoze je taj da metoda zahtjeva veliku potrošnju energije zbog korištenja visokih tlakova (iznad 10 MPa).



Slika 2-8 Reverzna osmoza (Euroclean, 2018)

Općeniti nedostatak korištenja membranskih tehnologija je potreba za predtretmanima, također i začepljenja membrana, čime se dodatno povećavaju troškovi obrade (Oreščanin, 2014; Petković, 2017).

### 2.3.5. Elektrokemijska metoda

Elektrokemijske metode primjenjuju električno polje na jedan ili više setova elektroda sa ili bez korištenja polupropusnih membrana ili dodatnih elektrolita u svrhu

uklanjanja anorganskog, organskog i mikrobiološkog onečišćenja prisutnog u vodi. Elektrokemijske metode mogu se podijeliti na elektrokoagulaciju, elektroflotaciju, elektrooksidaciju i elektrodijalizu. Ove metode ne razlikuju se od klasičnih koagulacija, flotacija i oksidacija po samome mehanizmu pročišćavanja, nego po tome što potrebne tvari za postupak nastaju in situ u elektrokemijskoj ćeliji. Za obradu procjednih voda kombiniraju se sve metode. Elektrokoagulacijom i elektroflotacijom se uklanjaju visokomolekularne huminske kiseline i suspendirane tvari i na taj način se značajno uklanja boja i mutnoća. Elektrooksidacijom razgrađuju se teško razgradive organske tvari male molekulske mase i za oksidaciju amonijaka. Elektroredukcijom se uklanjaju nitrati i nitriti. Svi procesi mogu se odvijati istovremeno (Oreščanin, 2014; Petković, 2017).

#### 2.3.6. Recirkulacija

Još jedan način obrade procjedne vode je recirkulacija, a to je ujedno i najjednostavniji način obrade procjedne vode. Procjedna voda se crpi i raspršuje po radnoj kosini odlagališta. Nakon raspršivanja dio filtrata ispari, a dio se izgubi u hidrotermičkim procesima, a najmanji dio se ponovno vraća u proces recirkulacije.

### 3. KEMIJSKA ANALIZA FILTRATA IZ ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

Za analizu je korišten filtrat s odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava. Filtrat je prikupljen u staklene boce, ukupne količine 4,5 litara. Za analizu filtrata s odlagališta komunalnog otpada ispitano je 39 parametara. Ti parametri su izgled, boja, miris, pH vrijednost, temperatura uzorka, električna vodljivost, alkalitet vode, suspendirane čestice, karbonat, hidrogenkarbonat, gustoća, arsen, barij, kadmij, krom, bakar, molibden, nikal, olovo, antimon, selen, cink, suhi ostatak, ukupna otopljena tvar, ukupni organski ugljik, otopljeni organski ugljik, ukupna ulja i masnoće, živa, fluorid, klorid, nitrit, sulfat, bromid, natrij, amonij ion, kalij, magnezij, kalcij.

#### 3.1. PARAMETRI

##### 3.1.1. Određivanje pH vrijednosti

Vrijednost pH određivala se metodom HRN EN ISO 10523:2012 na aparatu za potenciometriju 794 BASIC TITRINO ( Slika 3-1). Provjerava se razina elektrolita KCl u elektrodi, zatim se kalibrira aparat. Aparat se umjerava u dvije točke, u točki pH = 7,00 i u točki pH = 9,00 ovisno o očekivanom pH uzorka koji će se mjeriti. Mjerenje se odvija tako da se u staklenu čašicu od 50 ml stavi oko 30 ml uzorka i magnetski mješač te uroni elektroda, pritisne se tipka start i na digitalnom pokazivaču se očita pH i temperatura uzorka.



Slika 3-1 Uređaj 794 BASIC TITRINO

### 3.1.2. Određivanje električne vodljivosti

Električna vodljivost određivala se metodom HRN EN 27888:2008, na uređaju SevenExcellence konduktometar, Mettler Toledo (Slika 3-2). Uređaj se kalibrira sa standardnim otopinama (12,88 mS/cm, 1413  $\mu$ S/cm, 500  $\mu$ S/cm i 84  $\mu$ S/cm) ovisno o očekivanoj električnoj vodljivosti uzorka. Zatim se u plastičnu čašicu za mjerenje natoči oko 30 ml uzorka te se uroni elektroda i očita električna vodljivost.



Slika 3-2 Uređaj SevenExcellence

### 3.1.3. Određivanje karbonata i hidrogenkarbonata

Određivanje karbonata i hidrogenkarbonata vrši se na aparatu za potenciometriju 794 BASIC TITRINO (Slika 3-1). Uzorak se titrira sa 0,1 M HCl do dvije točke pH vrijednosti 8,2 i 4,3. iz dobivenih vrijednosti volumena utroška HCl-a računa se koncentracija karbonata i hidrogenkarbonata.

Oprema i pribor koji su se koristili za određivanje ukupnog organskog ugljika (TOC) i otopljenog organskog ugljika (DOC) su instrumenti za određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljika, TOC-Control V software, verzija 2 i TOC-Control L software, verzija 1.04 (Slika 3-3), plinska boca sa sintetičkim zrakom čistoće za TOC, plastični spremnici za radne otopine i spremnik za otpadnu vodu, membranski filtar papir veličine pora 0,45  $\mu\text{m}$ , vakuum sisaljka za filtraciju, uobičajena laboratorijska oprema i pribor.



Slika 3-3 Uređaj TOC-Control L



Uzorci se uzorkuju u staklene ili polietilenske boce tako da se potpuno ispune uzorkom do vrha. Ako je moguće potrebno je zakiseliti uzorak odmah, a ako ne onda po dolasku u laboratorij. Uzorci se čuvaju u hladnjaku (Slika 3-4) na temperaturi 2-5°C.



Slika 3-4 Hladnjak za čuvanje uzoraka

Postupak se sastoji u mjerenju sadržaja ukupnog organskog ugljika ili otopljenog organskog ugljika u uzorku pomoću instrumenata. Prije početka analize u instrumentu se trebaju postići odgovarajući uvjeti za mjerenje (zagrijavanje i stabilizacija instrumenta, te provjera čistoće suđa u sustava ispiranjem ultračistom vodom).

Zakiseljeni uzorak se po potrebi homogenizira te se u njega uvede cjevčica za uzimanje uzorka. Odabere se odgovarajuća kalibracijska krivulja prema očekivanom koncentracijskom području te unesu svi potrebni podaci i započne analiza. Po završetku mjerenja očita se koncentracija uzorka u mg/L.

Metoda se primjenjuje za gravimetrijsko određivanje ukupnih ulja i masnoća bilo da su biološkog porijekla ili mineralni ugljikovodici i podzemnim vodama, otpadnim vodama i eluatima otpada. Metoda je primjenjiva u mjerenom području od 1 mg/L do visokih koncentracija (>1000 mg/L).

Reagensi koji su korišteni su: HCl ili H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1:1, n-Heksan, minimalne čistoće 85%, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, aceton, heksadekan, stearinska kiselina.

Korištena oprema i pribor su analitička vaga, lijevak za odlijevanje, lijevak staklenim filter papir, tikvica za vrenje ravnog dna, kuglice za vrenje, rotavapor, tikvica za sakupljanje destilata, eksikator, graduirana menzura. Pipete, centrifuga s mogućnošću vrtnje najmanje četiri epruvete za centrifugu na 2400 rpm.

Kvantitativno se određuju grupe supstanci sličnih fizikalnih svojstava na temelju njihove zajedničke topljivosti u organskom otapalu. Ulja i masnoće ekstrahiraju se iz uzorka vode ekstrakcijom „tekuće-tekuće“ organskim otapalom kvantificira njihov sadržaj. Uzorak vode volumena 0,5 L ili 1 L zakiseli se do pH<2 i ekstrahira tri puta po 15 mL ili 30 mL otapala n-heksana u lijevku za odlijevanje. Snažno se miješa dvije minute. Kada se slojevi razdvoje ispusti se donji sloj vode, a svaki ekstrakt sakuplja se u tariranu tikvicu za vrenje tako da se propusti kroz lijevak u kojem se nalazi filter papir s bezvodnim natrij-sulfatom koji služi za uklanjanje zaostale vode. Sakupljeni i profiltrirani ekstrakt destilira se na rotavaporu do suha. Tikvica sa uzorkom se ohladi na sobnu temperaturu u eksikatoru te se važe na analitičkoj vagi do konstantne mase.

#### 3.1.4. Određivanje sadržaja žive

Primjenjuje se za direktno određivanje sadržaja ukupne žive u koncentracijskom području od 0,05 mg žive do 1500 mg žive, u uzorcima vode, čvrstim uzorcima te uzorcima koje je prethodno potrebno razgraditi pomoću mikrovalova.



Mjeri se pomoću atomsko apsorpcijskog spektrometra direktnim određivanjem sadržaja ukupne žive u tekućim i krutim uzorcima. Izravna analiza sastoji se od integriranog slijeda termičke razgradnje, katalitičke konverzije, amalgamiranja te atomske apsorpcijske spektrofotometrije. Koristi se tehnika generiranja živinih para čime se postiže visoka osjetljivost neovisno o matriksu uzorka. Uzorak se uvodi u katalitičku cijev gdje se suši i spaljuje na temperaturi 750°C ili 850°C i dolazi do oslobađanja žive.

Produkti razgradnje dolaze do katalizatora gdje završava oksidacija na 600°C i uklanjaju se spojevi poput oksida dušika, sumpora i halogeni spojevi koji mogu stvarati interferencije pri određivanju žive.

Preostali spojevi žive putuju u struji kisika do zlatnog amalgamatora koji selektivno hvata živu. Amalgamator se naglo zagrije da bi se oslobodila sva živa koja u stanju atomizirane pare prolazi kroz dvije mjerne kivete.

Prva mjerna kiveta detektira niže koncentracije, a druga mjerna kiveta namijenjena je detektiranju viših koncentracija.

Izvor svjetla je živina lampa koja emitira svjetlo valne duljine 253,65 nm, a detektor je UV dioda.

Oprema koja se koristi je atomski apsorpcijski spektrometar, plinska boca O<sub>2</sub>.

Postupak se odvija direktnim mjerenjem sadržaja žive u uzorku pomoću instrumenta. Prije početka mjerenja u instrumentu se trebaju postići odgovarajući uvjeti za mjerenje (zagrijavanje i stabilizacija instrumenta, čišćenje instrumenta i sustava za unošenje uzoraka u katalitičku cijev).

### 3.1.5. Određivanje udjela amonijaka

Amonijak se određivao prema metodi HRN EN ISO 14911:2001 pomoću uređaja Spektrofotometar DR 3900 Hach Lange (Slika 3-5). Pažljivo se ukloni zaštitna folija sa čepa kivete, odvrne čep i u kivetu odpipetira 0,2 ml uzorka. Odmah se vrati čep te kiveta lagano protrese. Ostavi se stajati 15 minuta i nakon toga se kiveta umetne u spektrofotometar i na ekranu očita koncentracija mg/l NH<sub>4</sub>- N pri 690 nm. Uzorak je potrebno izmjeriti u periodu 15- 30 minuta od početka reakcije jer se potpuno obojenje postiže nakon 15 minuta reakcije i ono je postojano idućih 15 minuta.



Slika 3-5 Uređaj Spektrofotometar DR 3900

### 3.2. ANALIZA UZORKA FILTRATA IZ ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA MRACLINSKA DUBRAVA

Tablica 3-1 Rezultati analize filtrata odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava (CIL, 2018)

Značajke	Jedinice	Rezultat
Izgled	-	Mutan
Boja	-	Smeđa
Miris	-	Bez
pH vrijednost	1	8,4
Temperatura uzorka	°C	21,6
Električna vodljivost/električni otpor	25°C, mS/m	524
Alkalitet vode	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1711
Suspendirane čestice	mg/L	145
Za analizu korišten celulozni nitratni filter papir veličine pora 0,45 µm, promjera Ø 47 mm; proizvođača Ahlstrom		
Karbonat	mg/L	972
Hidrogenkarbonat	mg/L	2009

<b>Gustoća</b>	kg/dm <sup>3</sup>	1,0029
<b>Arsen</b>	mg/L	0,010
<b>Barij</b>	mg/L	0,227
<b>Kadmij</b>	mg/L	<0,001
<b>Krom (ukupni)</b>	mg/L	0,143
<b>Bakar</b>	mg/L	<0,003
<b>Molibden</b>	mg/L	0,042
<b>Nikal</b>	mg/L	0,052
<b>Olovo</b>	mg/L	<0,020
<b>Antimon</b>	mg/L	0,002
<b>Selen</b>	mg/L	<0,001
<b>Cink</b>	mg/L	0,045
<b>Suhi ostatak (105°C)</b>	mg/L	4006
<b>Ukupna otopljena tvar (180°C)</b>	mg/L	2864
<b>Ukupni organski ugljik (TOC)</b>	mg/L	245
<b>Otopljeni organski ugljik (DOC)</b>	mg/L	223
<b>Ukupna ulja i masnoće</b>	mg/L	10,8
<b>Živa</b>	mg/L	<0,0005
<b>Fluorid (F<sup>-</sup>)</b>	mg/L	0,18
<b>Klorid (Cl<sup>-</sup>)</b>	mg/L	569
<b>Nitrit (kao N)</b>	mg/L	372
<b>Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/L	11
<b>Sulfat (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>)</b>	mg/L	28
<b>Bromid (Br<sup>-</sup>)</b>	mg/L	4,3
<b>Natrij (Na<sup>+</sup>)</b>	mg/L	484
<b>Amonij ion (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b>	mg/L	309
<b>Kalij (K<sup>+</sup>)</b>	mg/L	450
<b>Magnezij (Mg<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	52
<b>Kalcij (Ca<sup>2+</sup>)</b>	mg/L	135

U tablici 3-2 uspoređene su prosječne vrijednosti procjednih voda s odlagališta otpada, kućanske otpadne vode te standardno ograničenje ispusta.

Tablica 3-2 Karakteristike procjednih voda s odlagališta otpada i kućanskih otpadnih voda (Petković, 2017)

<b>Parametar</b>	<b>Mjerna jedinica</b>	<b>Prosječna vrijednost procjednih voda</b>	<b>Prosječna vrijednost otpadnih voda</b>	<b>Standardno ograničenje ispusta</b>
<b>Temperatura</b>	°C	28,70	28,60	40
<b>pH</b>	1	8,25	6,87	6-9
<b>Električna vodljivost</b>	mS/cm	3,94	1,00	-
<b>Salinitet</b>	g/L	2,10	0,02	-
<b>Ukupne krute tvari</b>	mg/L	5723	-	-
<b>Suspendirane tvari</b>	mg/L	710	-	50
<b>Ukupna tvrdoća</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	1912	-	-
<b>Boja</b>	Pt. Co	1690	6,00	100
<b>BPK<sub>5</sub></b>	mg/L	269,00	64,20	100
<b>KPK</b>	mg/L	1301	156	400
<b>TDS</b>	%	5,72	1,03	-
<b>ORP</b>	mV	11,60	-	-
<b>MLVSS/MLSS</b>	-	-	-	-
<b>Ukupno željezo</b>	mg/L	6,03	1,21	5,00
<b>Ukupni mangan</b>	mg/L	1,98	0,67	0,20
<b>Ukupni nikal</b>	mg/L	4,94	0,51	0,20
<b>Ukupni kadmij</b>	mg/L	2,71	0,39	0,01

TDS – Total Dissolved Solids, ORP – Oxidation-Reduction Potential, MLVSS/MLSS – Mixed Liquor Volatile Suspended Solids(Mixed Liquor Suspended Solids.

U tablici 3-3 uspoređena su odlagališta otpada Bikarac kod Šibenika, odlagalište otpada Totovec u blizini Čakovca, te odlagalište otpada Mraclinska Dubrava u blizini Velike Gorice. Usporedbom triju odlagališta ustanovljeno je određena razlika u određenim parametrima. Razlika između parametara može se prepisati geografskom položaju, sastavu otpada, tipu odlagališta te načinima pročišćavanja filtrata i sličnim faktorima.

Tablica 3-3 Usporedba određenih parametara odlagališta otpada Bikarac, odlagališta otpada Totovec i odlagališta otpada Mraclinska Dubrava (CIL, 2018; Petković, 2017; Sakal, 2017)

<b>Parametar</b>	Mjerna jedinica	Odlagalište otpada Bikarac	Odlagalište otpada Mraclinska Dubrava	Odlagalište otpada Totovec
<b>pH</b>	1	8,5	8,4	8,07
<b>Temperatura</b>	°C	19,2	21,6	21,1
<b>Ukupne otopljene tvari</b>	mg/L	9294	2864	-
<b>Klorid</b>	mg/L	866	569	
<b>Arsen</b>	mg/L	0,08504	0,010	0,069
<b>Ukupni krom</b>	mg/L	0,28360	0,143	0,195
<b>Živa</b>	mg/L	<0,00030	0,0005	<0,000007
<b>Nikal</b>	mg/L	0,09960	0,052	0,027
<b>Bakar</b>	mg/L	0,10876	<0,003	0,011
<b>Cink</b>	mg/L	0,04600	0,045	0,997
<b>Olovo</b>	mg/L	0,00482	<0,020	0,020

Usporedbom rezultata analize filtrata s odlagališta s dopuštenim koncentracijama tvari i vrijednosti fizikalno kemijskih veličina u eluatu za odlagalište I i II kategorije iz tablice 3-4, ustanovljeno je da su gotovi svi parametri zadovoljili zahtjeve, osim ukupnog organskog ugljika te amonijaka.

Tablica 3-4 Dopuštene masene koncentracije tvari i vrijednosti fizikalno kemijskih veličina u eluatu za odlagalište I i II kategorije ( Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom, 1997)

<b>Kontrolirane tvari i fizikalno-kemijske veličine</b>	<b>Odlagalište I kategorije</b>	<b>Odlagalište II kategorije</b>
<b>Ukupni organski ugljik (TOC)</b>	do 200 mg/l	do 20 mg/l
<b>Arsen</b>	do 0,5 mg/l	do 0,2 mg/l
<b>Olovo</b>	do 1,0 mg/l	do 0,2 mg/l
<b>Kadmij</b>	do 0,1 mg/l	do 0,05 mg/l
<b>Krom6+</b>	do 0,1 mg/l	do 0,05 mg/l
<b>Nikal</b>	do 1,0 mg/l	do 0,2 mg/l
<b>Cink</b>	do 5,0 mg/l	do 2,0 mg/l
<b>Bakar</b>	do 5,0 mg/l	do 1,0 mg/l
<b>Živa</b>	do 0,02 mg/l	do 0,005 mg/l
<b>Fenoli</b>	do 50 mg/l	do 0,2 mg/l
<b>Amonij</b>	do 250 mg/l	do 4,0 mg/l
<b>Cijanid (lako oslobodivi)</b>	do 0,5 mg/l	do 0,1 mg/l
<b>Nitriti</b>	od 3 do 6 mg/l	do 3 mg/l
<b>Organski halogeni spojevi koji se daju ekstrahirati (AOX)</b>	do 1,5 mg/l	do 0,3 mg/l
<b>Isparni ostatak</b>	do 6% masenih	do 3% masenih
<b>Vodljivost</b>	do 50000 ms/cm	do 10000 ms/cm
<b>pH vrijednost</b>	od 5,5 do 13	od 5,5 do 13

Pomoću tablice 3-5 gdje su prikazane granične vrijednosti onečišćujućih tvari vidljivo je da su analizirani parametri većinom zadovoljili propisane granice, no neki parametri nisu zadovoljili propise te je potrebna daljnja obrada filtrata.

Tablica 3-5 Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 2013)

<b>Pokazatelji</b>	<b>Izraženi kao</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Površinske vode</b>	<b>Sustav javne odvodnje</b>
<b>FIZIKALNO-KEMIJSKI POKAZATELJI</b>				
<b>Temperatura</b>		°c	30	40
<b>pH-vrijednost</b>			6,0-9,0	6,5-9,5
<b>Suspendirane tvari</b>		mg/l	25	(a)***
<b>EKOTOKSIKOLOŠKI POKAZATELJI</b>				
<b>Toksičnost na dafnije**</b>	LID <sub>D</sub> *	faktor razrjeđenja	3	-
<b>Toksičnost na svjetleće bakterije</b>	LID <sub>L</sub> *	faktor razrjeđenja	4	-
<b>ORGANSKI POKAZATELJI</b>				
<b>BPK<sub>5</sub></b>	O <sub>2</sub>	mg/l	20	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika
<b>KPK</b>	O <sub>2</sub>	mg/l	100	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika
<b>Ukupni organski ugljik (TOC)</b>	C	mg/l	30	-

<b>Teško hlapljive lipofilne tvari (ukupna ulja i masti)</b>		mg/l	20	100
<b>Ukupni ugljikovodici</b>		mg/l	10	30
<b>Adsorbilni organski halogeni (AOX)</b>		mg/l	0,5	0,5
<b>Lakohlapljivi aromatski ugljikovodici (BTX)</b>		mg/l	0,1	1,0
<b>Fenoli</b>		mg/l	0,1	10,0
<b>ANORGANSKI POKAZATELJI</b>				
<b>Amonij</b>	N	mg/l	5	-
<b>Nitrati</b>	N	mg/l	2	-
<b>Nitriti</b>	N	mg/l	1	10
<b>Ukupni dušik</b>	N	mg/l	15	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika
<b>Ukupni fosfor</b>	P	mg/l	2(1 jezera)	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika
<b>Arsen</b>	As	mg/l	0,1	0,1
<b>Bakar</b>	Cu	mg/l	0,5	0,5
<b>Barij</b>	A	mg/l	5	5
<b>Cink</b>	Zn	mg/l	2	2
<b>Kadmij</b>	Cd	mg/l	0,1	0,1
<b>Ukupni krom</b>	Cr	mg/l	0,5	0,5
<b>Krom (VI)</b>	Cr	mg/l	0,1	0,1
<b>Mangan</b>	Mn	mg/l	2	4
<b>Nikal</b>	Ni	mg/l	0,5	0,5
<b>Olovo</b>	Pb	mg/l	0,5	0,5



<b>Selen</b>	Se	mg/l	0,02	0,1
<b>Željezo</b>	Fe	mg/l	2	10
<b>Živa</b>	Hg	mg/l	0,01	0,01

\*LID<sub>D</sub>, LID<sub>L</sub> – najmanje razrjeđenje otpadne vode koje nema učinka na test organizme; određuje se najmanje četiri puta godišnje

\*\*Toksičnost na dafnije određuje se u slučaju kada se otpadne vode ispuštaju u kopnene vode, a toksičnost na svjetleće bakterije u priobalne vode.

\*\*\*a) Granična vrijednost emisije određuje se u otpadnoj vodi u slučaju ako suspendirane tvari štetno djeluju na sustav javne odvodnje i/ili na proces pročišćavanja uređaja, a određuje ju pravna osoba koja upravlja objektima sustava javne odvodnje i/ili uređajem za pročišćavanje

Tablica 3-6 Usporedba graničnih vrijednosti emisija onečišćujućih tvari i vrijednosti s odlagališta otpada Mraclinska Dubrava (CIL, 2018; Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda, 2013)

Pokazatelji	Izražen i kao	Jedinica	Površinske vode	Sustav javne odvodnje	Odlagalište otpada Mraclinska Dubrava
<b>FIZIKALNO-KEMIJSKI POKAZATELJI</b>					
Temperatura		°C	30	40	21,6
pH-vrijednost			6,0-9,0	6,5-9,5	8,4
Suspendirane tvari		mg/l	25	(a)	145
<b>EKOTOKSIKOLOŠKI POKAZATELJI</b>					
Toksičnost na dafnije	LID <sub>D</sub> *	faktor razrjeđenj a	3	-	-
Toksičnost na svjetleće bakterije	LID <sub>L</sub> *	faktor razrjeđenj a	4	-	-
<b>ORGANSKI POKAZATELJI</b>					
BPK <sub>5</sub>	O <sub>2</sub>	mg/l	20	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika	-
KPK	O <sub>2</sub>	mg/l	100	sukladno članku 5. ovoga Pravilnika	-

<b>Pokazatelji</b>	<b>Izražen i kao</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Površinsk e vode</b>	<b>Sustav javne odvodnje</b>	<b>Odlagališt e otpada Mraclinsk a Dubrava</b>
<b>Ukupni organski ugljik (TOC)</b>	C	mg/l	30	-	245
<b>Teško hlapljive lipofilne tvari (ukupna ulja i masti)</b>		mg/l	20	100	10,8
<b>Ukupni ugljikovodici</b>		mg/l	10	30	-
<b>Adsorbilni organski halogeni (AOX)</b>		mg/l	0,5	0,5	-
<b>Lakohlapljivi aromatski ugljikovodici (BTX)</b>		mg/l	0,1	1,0	-
<b>Fenoli</b>		mg/l	0,1	10,0	-
<b>ANORGANSKI POKAZATELJI</b>					
<b>Amonij</b>	N	mg/l	5	-	309
<b>Nitrati</b>	N	mg/l	2	-	11
<b>Nitriti</b>	N	mg/l	1	10	372
<b>Ukupni dušik</b>	N	mg/l	15	sukladno članku 5. ovoga Pravilnik a	-
<b>Ukupni fosfor</b>	P	mg/l	2(1 jezera)	sukladno članku 5. ovoga Pravilnik a	-
<b>Arsen</b>	As	mg/l	0,1	0,1	0,010
<b>Bakar</b>	Cu	mg/l	0,5	0,5	< 0,003
<b>Barij</b>	A	mg/l	5	5	0,227

<b>Pokazatelji</b>	<b>Izražen i kao</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Površinsk e vode</b>	<b>Sustav javne odvodnje</b>	<b>Odlagališt e otpada Mraclinsk a Dubrava</b>
<b>Cink</b>	Zn	mg/l	2	2	0,045
<b>Kadmij</b>	Cd	mg/l	0,1	0,1	< 0,001
<b>Ukupni krom</b>	Cr	mg/l	0,5	0,5	0,143
<b>Krom (VI)</b>	Cr	mg/l	0,1	0,1	-
<b>Mangan</b>	Mn	mg/l	2	4	-
<b>Nikal</b>	Ni	mg/l	0,5	0,5	0,052
<b>Olovo</b>	Pb	mg/l	0,5	0,5	< 0,020
<b>Selen</b>	Se	mg/l	0,02	0,1	< 0,001
<b>Željezo</b>	Fe	mg/l	2	10	-
<b>Živa</b>	Hg	mg/l	0,01	0,01	< 0,0005

#### 4. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Temeljem analize filtrata odlagališta komunalnog otpada Mraclinska Dubrava utvrđeno je da su parametri zadovoljili zadane granice za zadržavanje procjedne vode u tijelu odlagališta. Anorganski pokazatelji poput amonija, arsena, bakra, barija, cinka, kadmija, ukupnog kroma, nikla, olova, selen i žive unutar su dopuštenih granica za puštanje u sustave javne odvodnje prema Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013).

Odlagalište komunalnog otpada Mraclinska Dubrava moglo bi poslužiti kao primjer za druga odlagališta komunalnog otpada što se tiče vizualnog doživljaja, odnosno prenamjene nakon zatvaranja, vidljivo na slici 4-1, te brige o procjenim vodama, odnosno o sakupljanju i pročišćavanju istih.

Procjedne vode, kao sastavni dio odlagališta komunalnog otpada, potrebno je pravilno prikupljati, obrađivati te analizirati u svrhu očuvanja okoliša, te zdravlja ljudi i svih živih bića. Odlagalište komunalnog otpada Mraclinska Dubrava pokazalo se kao odgovorno odlagalište koje se pridržava današnjih propisa.



Slika 4-1 Odlagalište komunalnog otpada Mraclinska Dubrava (VG čistoća, 2018)

## 5. LITERATURA

ECOLOGIX ENVIRONMENTAL SYSTEM. 2018. *Coagulants and flocculants*. URL: <https://www.ecologixsystems.com/product-specialty-chemicals-coag-floc.php> (23.9.2018.)

EUROCLEAN. 2018. *Reverzna osmoza*. URL: [https://euroclean.cz/slovník/reversni-osmoza/attachment/reverzni\\_osmoza/](https://euroclean.cz/slovník/reversni-osmoza/attachment/reverzni_osmoza/) (23.9.2018.)

GEOFABRICS. 2017. *Understanding the membrane protection efficiency of cushion geotextiles in landfill*. URL: <https://www.geofabrics.co/news/understanding-the-membrane-protection-efficiency-of-cushion-geotextiles-in-landfill> (5.10.2018.)

HRNČIĆ, N., HRNČIĆ, M. 2011. *Prilog izgradnji brtvenih sustava na odlagalištu otpada*. Prilog. Varaždin: At consult d.o.o.

HRVATSKA AGENCIJA ZA OKOLIŠ I PRIRODU. 2015. URL: <http://www.haop.hr/hr/> (20.9.2018.)

MINISTARSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA I ENERGETIKE. 2018. URL: <https://www.mzoip.hr/> (25.9.2018.)

NARODNE NOVINE br. 114/15. *Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada*. Zagreb: Narodne novine d.d.

NARODNE NOVINE br. 123/97. *Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom*. Zagreb: Narodne novine d.d.

NARODNE NOVINE br. 3/17. *Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. do 2022. godine*. Zagreb: Narodne novine d.d.

NARODNE NOVINE br. 80/13. *Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*. Zagreb: Narodne novine d.d.

NARODNE NOVINE br. 94/13. *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*. Zagreb: Narodne novine d.d.

OREŠČANIN, V. 2014. *Procjedne vode odlagališta otpada – kemijski sastav, toksični učinci i metode pročišćavanja*. Hrvatske vode, str. 1-12.

PETKOVIĆ, M. 2017. *Hibridni proces obrade procjedne vode s odlagališta otpada korištenjem zeolita*. Diplomski rad. Split: Sveučilište u Splitu

PRELEC, Z. 2009. *Postupci obrade i zbrinjavanja otpada*

SABOL, K. 2012. *Analiza izmjerenih vrijednosti parametara u procjedinim vodama u okolici odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac*. Završni rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu

SAKAL, P. 2017. *Praćenje podzemnih i procjedinih voda na odlagalištu Totovec u razdoblju od 2011. do 2016. godine*. Završni rad. Čakovec: Međimursko veleučilište u Čakovcu

SEAWATER RO PLANT. 2018. *Dissolved air flotation daf water treatment for chemical petrochemical*. URL: <http://www.seawaterroplant.com/sale-8695673-dissolved-air-flotation-daf-water-treatment-for-chemical-petrochemical.html> (23.9.2018.)

US FABRICS. 2018. *Geomembranes*. URL: <https://www.usfabricsinc.com/products/geomembranes> (25.9.2018.)

VG ČISTOĆA d.o.o. 2018. *Odlagalište neopasnog otpada Mraclin*. URL: <http://www.vgcistoca.hr/odlagaliste-neopasnog-otpada-mraclin/> (20.10.2018.)