Utjecaj uspostave sustava gospodarenja posebnim kategorijama otpada na sastav procjednih voda odlagališta

Maršić, Eugen Milan

Undergraduate thesis / Završni rad

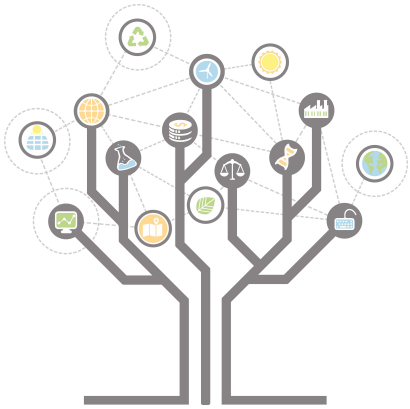
2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:427877

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

EUGEN MILAN MARŠIĆ

UTJECAJ USPOSTAVE SUSTAVA GOSPODARENJA POSEBNIM KATEGORIJAMA OTPADA NA SASTAV PROCJEDNIH VODA ODLAGALIŠTA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJ USPOSTAVE SUSTAVA GOSPODARENJA POSEBNIM KATEGORIJAMA OTPADA NA SASTAV PROCJEDNIH VODA ODLAGALIŠTA

KANDIDAT: **MENTOR:**

EUGEN MILAN MARŠIĆ **izv. prof. dr. sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ**



VARAŽDIN, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: EUGEN MILAN MARŠIĆ

Matični broj: 2576 - 2015./2016.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

UTJECAJ USPOSTAVE SUSTAVA GOSPODARENJA POSEBNIM KATEGORIJAMA OTPADA NA SASTAV PROCJEDNIH VODA ODLAGALIŠTA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Teoretski dio
3. Eksperimentalni dio
4. Zaključak

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 15.06.2019. Rok predaje: 05.09.2019.

Mentor: Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET VARAŽDIN SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Utjecaj uspostave sustava gospodarenja posebnim kategorijama otpada na sastav procjednih voda

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 2019.

Eugen Milan Maršić

(Ime i prezime)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Naslov rada: Utjecaj uspostave sustava gospodarenja posebnim kategorijama otpada na sastav procjednih voda. (*eng.The impact of establishing a management system for special categories of waste on the composition of landfill leachate)*

Ime i prezime: Eugen Milan Maršić

Odlaganje otpada je, kako danas tako i u povijesti bila uvriježena praksa gospodarenja različitim vrstama otpada. Posljedično, stvaraju se procjedne vode koje nastaju kao posljedica atmosferskih utjecaja (posebice kiše) na otpad koji je odložen i zbog razgradnje samog otpada unutar tijela odlagališta. Odlaganje različitih vrsta otpada na odlagalište određuje i sastav procjedne vode. U ovom radu obrađeni su rezultati analize sastava procjedne vode za period od 2000-2011 godine koje se stvaraju na zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševec Prudinec koje je uređeno odlagalište nepasnog otpada koje ima sve zakonom propisane dozvole, odnosno izgrađeno je prema zahtjevima EU direktiva. Za potrebe ovog rada razmatrani su parametari: kroma, bakra, žive, olova, cinka, kadmija, nikla, arsena, mangana, fluorida, nitrata, nitrita, sulfata, sulfida, cijanida i željeza. Te su dobivene vrijednosti tijekom razmatranog perioda uspoređene s dinamikom promjena zakonske regulative.

Nakon provedene analize može se zaključiti da je implementacija prve EU direktive o otpadu u Zakon o otpadu u 2003. godini rezultirala značajnim smanjenjem svih teških metala u procjednoj vodi. Dodatno uspostavljanje sustava posebnih kategorija posebno za baterije i akumulatore, te električni i elektronički otpad dodatno je smanjilo sadržaj teških metala u procjednoj vodi.

Ključne riječi: procjedne vode, posebne kategorije otpada, zakonska regulativa.

Sadržaj

1 **Uvod** 1

2 Teoretski dio 2

2.1 Otpad 2

2.1.1 Vrste otpada 2

2.1.2 Hijerarhija gospodarenja otpadom 3

2.2 Odlagališta otpada 5

2.2.1 Temeljeni brtveni sloj 6

2.2.2 Temeljni pokrovni sloj 7

2.2.3 Sustav otplinjavanja 7

2.2.4 Sustav odvodnje procjednih voda 8

2.2.5 Procjedne vode 10

2.2.6 Odlagalište otpada Jakuševec - Prudinec 13

2.3 Sastav otpada 16

2.4 Povijest zakonodavstva u području gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj .. 26

3 Eksperimentalni dio 28

3.1 Metodologija istraživanja 28

3.1.1 Podaci za obradu 28

3.2 Rezultati i rasprava 30

4 Zaključak 37

5 Popis slika 38

6 Popis tablica 40

7 Popis literature 41

1 Uvod

Odlaganje otpada je, kako danas tako i u povijesti bila uvriježena praksa gospodarenja različitim vrstama otpada. Posljedično, stvaraju se procjedne vode koje nastaju kao posljedica atmosferskih utjecaja (posebice kiše) na otpad koji je odložen i zbog razgradnje samog otpada unutar tijela odlagališta. Odlaganje različitih vrsta otpada na odlagalište određuje i sastav procjedne vode. U pravilu takve procjedne vode visoko su opterećene posebno teškim metalima.

U povijesti (prije stvaranja Republike Hrvatske), postojali su propisi iz područja gospodarenja otpada, ali u pravilu su se odnosili na sustav sakupljanja, skladištenja otapda, dok je odlaganje bilo slabo zastupljeno u zakonodavstvu. Formiranjem Republike Hrvatske, te odlukom da će se pokrenuti postupak pristupanja u Europsku uniju započela je promjena zakonodavstva u području gospodarenja otpadom. Tako su se implementirali propisi koji su definirali na koji se način gradi tijelo odlagališta da bi se spriječilo širenje štetnih emisija u okoliš, doneseni su propisi koji su razlikovali opasan, neopasan i inertni otpad te su definirani uvjeti pod kojima se pojedini otpad smije odložiti. Uveden je sustav posebnih kategorija otpada koje je bilo potrebno odvojeno prikupljati, kako bi se reciklirali i iskoristila vrijedna svojstva otpada ili kako bi se spriječilo onečišćenje okoliša. Također se uvodi i odvojeno prikupljanje otpada. Sve ove aktivnosti u posljednjih dvadeset godina utjecale su na sastav otpada koji se odlaže na odlagalište, a posljedično i promjenom sastava procjednih voda.

Cilj ovog rada bio je potvrditi sa konkretnom analizom sastava procjedne vode uređenog odlagališta Jakuševec – Prudinec postojanje utjecaja promjena zakonskih regulativa na sastav procjednih voda.

2 Teoretski dio

2.1 Otpad

Otpad je prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17, 14/19)[1] je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Otpad nastaje kao posljedica svih ljudskih aktivnosti i u svim gospodarskim djelatnostima, a predstavlja gubitak materijala i energije. Komunalni otpad je otpad iz kućanstva te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti, ako je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava. Otpadom je potrebno gospodariti s ciljem da se iskoriste vrijedna svojstva, te da se smanje štetni utjecaji na okoliš. Gospodarenje otpadom donosi troškove društvu koje treba osigurati njegovo sakupljanje, prijevoz i odgovarajuće zbrinjavanje kako bi se smanjili pritisci na okoliš. Otpad, tj. spojevi i tvari koje nastaju razlaganjem uzrokuju emisije u vode, zrak i tlo, koje mogu utjecati na zdravlje ljudi i okoliš. Koliki će taj utjecaj biti ovisi o količini i svojstvima otpada te o načinu postupanja s njim. Vrijedne sirovine koje su zarobljene u otpadu potrebno je odvojeno sakupiti, reciklirati i iskoristiti za stvaranje novih proizvoda.

2.1.1 Vrste otpada

Otpad se dijeli prema svojstvima i mjestu nastanka. Prema svojstvima otpad dijelimo na:

A) Opasni otpad je otpad koji posjeduje jedno ili više opasnih svojstava a to su: eksplozivnost, reaktivnost, nadražljivost, štetnost, toksičnost, kancerogenost, infektivnost, zapaljivost, korozivnost, mutogenost, teratogenost, ukoliko sadrži tvari koje ispuštaju toksične plinove u kontaktu sa vodom, zrakom i kiselinom; ukoliko sadrži ekotoksične tvari

B) Neopasni otpad – otpad koji nema neko od svojstava koje otpad čini opasnim.

C) Inertni otpad – je onaj otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim i/ili biološkim promjenama. Inertni se otpad ne otapa, nije zapaljiv, ne reagira fizički ili kemijski, ne razgrađuje se biološkim putem, niti stvara tvari opasne za okoliš i zdravlje ljudi u kontaktu

s bilo kojim spojem. Inertni otpad ima beznačajan stupanj ispuštanja zagađujućih i/ili ekotoksičnih tvari, te ne ugrožava zrak, vode i podzemne vode[1].

Dodatno, otpad se može podijeliti ovisno o mjestu nastanka na i njegovim specifičnostima. Tako razlikujemo:

- komunalni otpad je otpad iz kućanstava, te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti ako je po svojim svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava.
- industrijski otpad koji nastaje djelatnošću gospodarskog subjekta u specifičnoj industrijskoj proizvodnji.
- posebne kategorije otpada.

Posebnom kategorijom otpada smatra se: biootpad, otpadni tekstil i obuća, otpadna ambalaža, otpadne gume, otpadna ulja, otpadne baterije i akumulatori, otpadna vozila, otpad koji sadrži azbest, medicinski otpad, otpadni električni i elektronički uređaji i oprema, otpadni brodovi, morski otpad, građevni otpad, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, otpad iz proizvodnje titan dioksida, otpadni poliklorirani bifenili i poliklorirani terfenili [1].

Posebne kategorije otpada su one vrste otpada koje su zbog svog, mjesta, toka nastanka ili sastava ili mogućeg utjecaja na okoliš, vrlo karakteristične te se iz u pravilu mogu iskoristiti vrijedna svojstva (npr. automobili, elektronika, ambalaža) ili su vrlo opasna za okoliš (npr. baterije i akumulatori)

2.1.2 Hijerarhija gospodarenja otpadom

Hijerarhija gospodarenja otpadom obuhvaća opcije postupanja s otpadom poredanih prema prioritetima, a to su sprječavanje nastajanja otpada (prevencija) i smanjenje količine otpada, kao najpoželjnija opcija, priprema za ponovnu uporabu, recikliranje, oporaba/iskorištavanje i odlaganje otpada na odlagalištima, tj. zbrinjavanje kao najmanje poželjna i najčešća opcija.



Slika 1. Hijerarhija gospodarenja otpadom

Hijerarhijom gospodarenja otpadom poduzimaju se mjere, kako bi se omogućio najbolji ukupni učinak na okoliš uzimajući u obzir opća načela zaštite okoliša kao što su predosrtožnosti i održivost, tehnička provedivost i ekonomska održivost, zaštita resursa i ukupni učinci na okoliš i zdravlje ljudi.

Ponovna uporaba podrazumijeva svako djelovanje na temelju kojega se proizvodi ili komponente, koje nisu otpad, ponovno koriste u istu svrhu za koju su zamišljeni. Prema ZOGO, ponovna uporaba je svaki postupak kojim se omogućava ponovno korištenje proizvoda ili dijelova proizvoda, koji nisu otpad, u istu svrhu za koju su izvorno načinjeni.

Recikliranje materijala podrazumijeva svaki postupak recikliranja na temelju kojega se otpadni materijali ponovno obrađuju u proizvode, materijale ili tvari, za izvornu ili za neku drugu svrhu.

Recikliranje materijala uključuje ponovno prerađivanje organskog materijala, ali ne uključuje iskorištavanje energije i prerađivanje u materijale koji će se koristiti kao gorivo ili za postupke zatrpavanja. [2]

Proces recikliranja se smatra završenim kada je rezultat recikliranja: - proizvod (od isključivo recikliranog materijala) - proizvod koji sadrži reciklirani materijal, materijal ili tvar koja se može koristiti u proizvodnom procesu.

Pri dnu hijerarhije gospodarenja otpadom smještena je i energetska oporaba kao mogući oblik gospodarenja otpadom pri čemu se iskorištava energetski potencijal otpada. Otpad se

energetski iskorištava kada ne postoji opravdana mogućnost recikliranja otpada, odnosno kada su već vrijedna svojstva otpada iskorištena.

U konačnici, kao zadnji oblik postupanja s otpadom je njegovo odlaganje na odlagališta.

2.2 Odlagališta otpada

Odlagalište otpada je građevina namijenjena odlaganju otpada na površinu ili pod zemlju (podzemno odlagalište), uključujući:

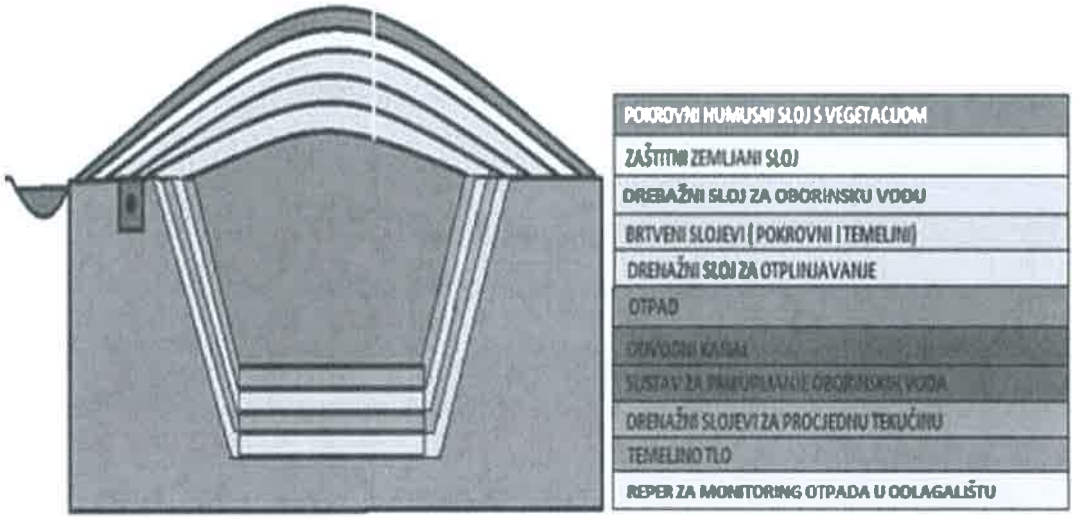
a. interno odlagalište otpada na kojem proizvođač odlaže svoj otpad na samom mjestu proizvodnje,

b. odlagalište otpada ili njegov dio koji se može koristiti za privremeno skladištenje otpada (npr. za razdoblje duže od jedne godine),

c. iskorištene površinske kopove ili njihove dijelove nastale rudarskom eksploatacijom i/ili istraživanjem pogodne za odlaganje otpada [1]

Svako uređeno odlagalište otpada sastoji se od:

- otpada kojim se gradi odlagalište
- temeljnog brtvenog sloja
- temeljnog pokrovnog sloja
- sustava za otplinjavanje
- sustava za prikupljanje i obradu procjednih voda
- sustav odvodnje oborinskih voda



Slika 2. Poprečni presjek suvremenog odlagališta[4]

2.2.1 Temeljeni brtveni sloj

Brtvljenje odlagališta proces je stvaranja nepropusne prepreke između otpadnoga materijala i okoliša. Sustav brtvljenja nužno je prilagoditi stvarnim uvjetima i potrebama neposredne lokacije, odnosno, vrsti odloženog otpada. Temeljni brtveni sustav se obično sastoji od: - zbijene glinene barijere (CCL, engl. compacted clay liner) ili geosintetičke glinene barijere (GCL, engl. geosynthetic clay liner) i - geomembrane (GM). Osnovna namjena temeljnog brtvenog sustava je da spriječi prolazak procjedne tekućine iz tijela odlagališta otpada u temeljno tlo. Prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, prosječna vodopropusnost (k) temeljnog tla i bočnih strana tijela odlagališta mora biti manja od: - $1x10^{-9}$ m/s za odlagalište opasnog otpada, a temeljno tlo treba biti debljine od barem pet metara, - $1x10^{-9}$ m/s za odlagalište neopasnog otpada, a temeljno tlo treba biti u debljini od minimalno jedan metar, - $1x10^{-7}$ m/s za odlagalište inertnog otpada, a temeljno tlo treba biti minimalno debljine jedan metar. Kada na lokaciji odlagališta ne postoji temeljno tlo koje zadovoljava navedene uvjete, moguće je izgraditi umjetne brtvene slojeve iznad temeljnog tla i bočnih strana tijela odlagališta kako bi se dobila odgovarajuća zaštita s obzirom na vodo(ne)propusnost podloge odlagališta [3]. Osim toga, potrebno je osigurati i dugotrajnu kemijsku kompatibilnost brtvenog sustava s

onečišćujućim tvarima u procjednoj tekućini, visoki kapacitet sorpcije, niski koeficijent difuzije i otpornost na desikaciju (sušenje) [4].

2.2.2 Temeljni pokrovni sloj

Pokrovni brtveni slojevi su dijelovi pokrovnog sustava koji zaustavljaju prodiranje oborinskih i drugih voda u tijelo odlagališta te sprječavaju širenje štetnih plinova iz odlagališta u atmosferu. Pod štetnim plinovima podrazumijevamo metan koji utječe na klimu i pridonosi globalnom zatopljenju. Njegova glavna svrha je da prekrije i izolira otpad od okoliša odnosno da omogući kontrolu izlaznih plinova iz tijela odlagališta. Pokrov mora sprječavati ulazak atmosferskih (oborine) i površinskih voda u tijelo odlagališta otpada . Pokrov odlagališta treba biti: - otporan na djelovanje erozije (voda, vjetar), - siguran od djelovanja glodavaca i korijenja biljaka, - otporan na povišene temperature, - sposoban podnijeti značajna diferencijalna slijeganja bez pucanja i - dovoljne posmične čvrstoće da ne dođe do klizanja[4].

2.2.3 Sustav otplinjavanja

Sustavi za otplinjavanje vrlo su bitni u odlagalištu otpada ponajprije zbog sprječavanja nekontroliranog izlaženja plinova iz tijela odlagališta u okolno tlo i atmosferu. Plinovi mogu utjecati na stabilnost odlagališta i mogu oštetiti sigurnosne zaštitne sustave. Mogu prouzročiti razne bolesti i trovanja djelatnika na odlagalištu. Nekontrolirano izlaženje plinova može dovesti i do izbijanja požara i eksplozija što je posebno opasno za odlagalište otpada kao građevinu[5].

Plinovi nastaju uglavnom zbog biokemijskih reakcija u tijelu odlagališta otpada. Takvim reakcijama nastaje bioplin koji se sastoji od više komponenata u različitim postocima. Odlagališni plin obično sadrži najviše metana (CH_4) i to 45-58%, zatim ugljikova dioksida (CO_2) u rasponu 35-45%, te ostalih plinova 1-5% (dušik, kisik, vodik, vodena para i dr.) [4].

Plinovi u odlagalištu mogu bitno utjecati na stabilnost odlagališta otpada, ako zakaže drenažni sustav za otplinjavanje. Povećavanje tlaka plina smanjuje efektivna normalna

naprezanja u odlagalištu što može dovesti do klizanja u brtvenom sustavu [4]. Da bi se to spriječilo plinovi se moraju efikasno odvoditi iz odlagališta sustavom perforiranih cijevi koje se postavljaju okomito u tijelo odlagališta.

Otplinjavanje se može izvesti aktivnim ili pasivnim načinom. Aktivnim načinom se pomoću podtlaka u drenažnom sustavu uzrokuje isisavanje plina iz odlagališta. Prikupljeni plin se može iskoristiti za proizvodnju energije ili pak spaliti na baklji. Aktivni sustav za otplinjavanje može uključivati horizontalno ili vertikalno ugrađene cijevi[5]. Pasivni sustav otplinjavanja podrazumijeva izvedbu biofiltera na vrhu tijela odlagališta iznad plinskog bunara.

Prema teoretskim postavkama, iz 1 tone otpada tijekom razgradnje se oslobodi oko 400 m^3 plina. Plin nastaje tijekom razgradnje otpada, ovisno o sastavu otpada, uvjetima na odlagalištu, a najintenzivniji procesi su odvijaju u razdoblju 3 – 20 godine [6].

Prije postavljanja završnog prekrivnog sloja u tijelo odlagališta potrebno je ugraditi sustav pasivnog otplinjavanja koji se sastoji od plinskih bunara i cjevovoda kojima se plin vodi do baklje na spaljivanje[6].

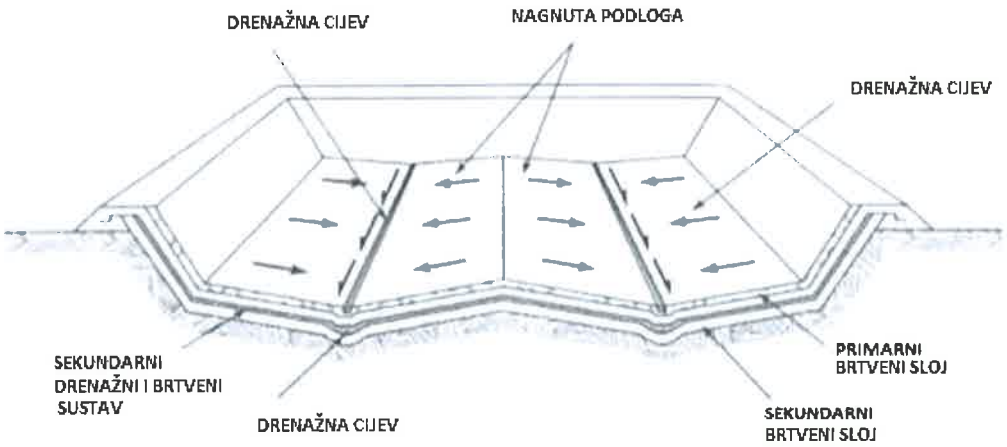
2.2.4 Sustav odvodnje procjednih voda

Temeljni drenažni sustav prikazan na Slici 3. sastoji se od drenažnih slojeva za prikupljanje procjedne tekućine koja se odvodi iz odlagališta putem drenažnih cijevi. Temeljni drenažni sustav se sastoji od tri osnovna dijela: drenažnog sloja, perforirane drenažne cijevi i filtarskog zaštitnog sloja između otpada i drenažnog sloja. Drenažni sloj mora imati minimalno debljinu od 30 cm i vodopropusnost veću od 1,0 x 10^{-4} m/s. Debljina drenažnog sloja u prostoru drenažnih cijevi treba biti veća proporcionalno promjeru cijevi. Za kretanje tekućine prema drenažnim cijevima, drenažni slojevi se moraju ugraditi na brtvene slojeve koji imaju nagib od minimalno 2% prema cijevima [5].

Razmak između susjednih drenažnih cijevi, koje se postavljaju paralelno, određen je potrebnim hidrauličkim kapacitetom drenažnog sustava koji treba uskladiti s očekivanom količinom pritoka procjedne tekućine. Povećanjem razmaka između drenažnih cijevi smanjuje se kapacitet sustava odnosno opada brzina dreniranja što može rezultirati povećanjem razine tekućine u odlagalištu. Razina procjedne tekućine iznad brtvenog sloja treba biti čim manja

(do cca 30 cm) odnosno najviše do gornje granice drenažnog sloja po sredini udaljenosti između dvije susjedne cijevi. Promjer drenažnih cijevi treba biti dovoljan odnosno veći ili jednak 150 mm [4].

Da ne dođe do začepljenja pora, drenažni sloj mora biti zaštićen filtarskim slojem. Filtarski sloj mora biti debljine od minimalno 15 cm. Granulometrijski sastav ovog sloja treba biti u skladu s tzv. "filtarskim pravilom" odnosno treba imati dovoljnu propusnost i sposobnost zadržavanja sitnih čestica otpada[4].

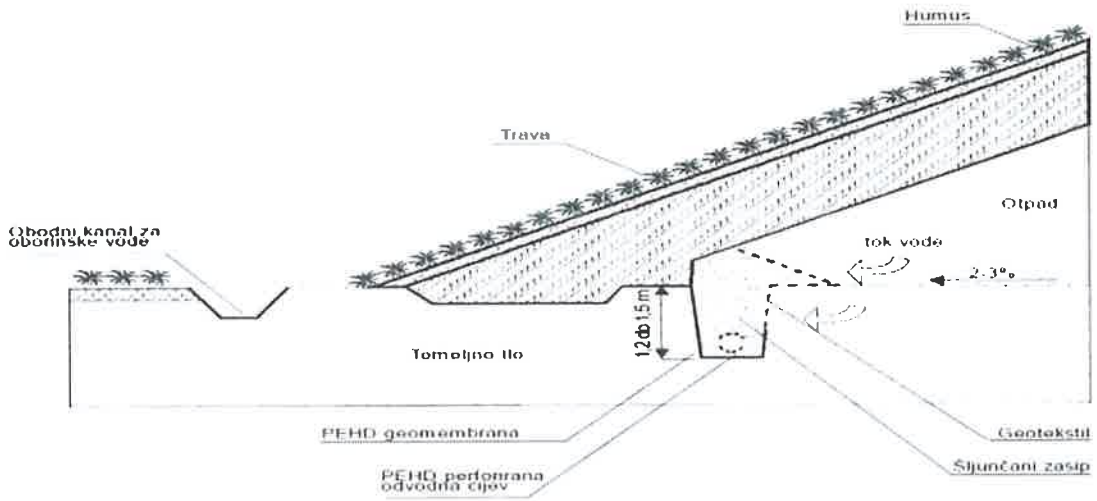


Slika 3. Drenažni sustav za prikupljanje i uklanjanje procjedne tekućine u odlagalištu otpada[5]

Pod drenažnim sustavom podrazumijevamo sloj ili više slojeva krupnozrnatog, mineralnog ili sintetičkog, poroznog materijala, te cijevi, okna i druge uređaje koji služe za kontrolirano prikupljanje i evakuaciju odgovarajućeg fluida iz odlagališta otpada. Drenažni sloj za procijeđenu oborinsku vodu se ugrađuje iznad pokrovnog brtvenog sustava. Dok se ispod njega nalazi drugi drenažni sustav koji služi za odvođenje odlagališnih plinova. I konačno, ispod odloženog otpada nalazimo treći drenažni sustav koji služi za prikupljanje i evakuaciju procjedne tekućine iz odloženog otpada[5].

Za projektiranje ovog drenažnog sustava ključni ciljevi su osigurati trajno njegovu dobru propusnost, spriječiti eventualno drobljenje mineralnih zrna kod većih opterećenja nadslojem otpada kao i degradaciju zrna zbog kemijske nekompatibilnosti s procjednom tekućinom (zrna

od karbonatne stijene nisu pogodna za drenažni sloj), te smanjiti mogućnost pojave začepljenja pora zbog nošenja sitnih čestica otpada ili nastajanja taloga uslijed kemijskih i bioloških procesa [5]. Poluzaobljena i zaobljena zrna drenažnog šljunka poželjni su materijali jer ne oštećuju mehanički brtveni sustav. Sustavi moraju imati dovoljnu propusnost i otpornost na agresivna djelovanja procjednih tekućina[4].



Slika 4. Sakupljanje procjedne tekućine [5]

2.2.5 Procjedne vode

Procjedne vode, koje prolaze kroz tijelo odlagališta, u kontaktu sa otpadom, onečiste se različitim organskim i anorganskim tvarima, te kao takve mogu znatno onečistiti okolno tlo i podzemne vode do kojih dospiju. Kako bi se spriječilo takvo onečišćavanje podzemnih i površinskih voda, nastala tekućina se treba prikupljati u betonske spremnike ili bazene na rubnim dijelovima odlagališta. Uz spremnike se grade i crpne stanice u koje će se smjestiti u crpno postrojenje za recirkulaciju procjednih tekućina u odlagalište i to količina koje su nužne u procesu razgradnje i stabilizacije otpada. Sustav za sakupljanje procjedne vode iz tijela odlagališta sakuplja i odvodi procjedne vode u periodu aktivnog funkcioniranja odlagališta i

nakon njegovog zatvaranja. On se smješta direktno iznad zaštitnog geotekstila koji štiti glineni brtveni sustav [5].

Atmosferske padaline kao što su kiša i snijeg razlog su kontroliranog procjeđivanja vode iz tijela odlagališta, a drenažni sustav je sustav koji omogućuje kontrolirano praćenje procjedne vode.

Procjedne vode su sve vode koje dođu u dodir sa odloženim komunalnim otpadom. Te vode se prikupljaju na temeljnom brtvenom sloju i sustavom cijevi odvode do bazena za procjednih voda. Procjene vode su zagađene vode i za njih je predviđen zatvoreni sustav odvodnje bez ispuštanja u okoliš. Ovisno o tehničkom rješenju moguća recirkulacija na odloženi otpad ili ispuštanje u sustav pročistača otpadnih voda. Za proračun količina procjedne vode mjerodavna je godišnja količina oborina, koja se procjenjuje kroz nepokriveni otpad.

Procjedne vode koje se skupljaju na dnu moraju biti praćene (kontrolirane), te tretirane, prema potrebi. Ove tekućine mogu biti tretirane na sličan način kao i otpadne vode, a onda se te tretirane vode mogu sigurno propuštati u okoliš [7].

Prosječan sastav procjednih voda naveden je u nastavku u tablici 1.

Tablica 1. Prosječan sastav procjednih voda [8].

SPOJEVI (mg/L)	**RASPON-(Novo odlagalište, manje od 2 god.)**	**UOBIČAJENA VRIJEDNOST--(Novo odlagalište, manje od 2 god.)**	**ZRELO ODLAGALIŠTE-STARIJE OD 10 GODINA**
BOD-5 (mg/L)	2000-30000	10000	100-200
TOC (mg/L)	1500-20000	6000	80-160
COD (mg/L)	3000-60000	18000	100-500
Suspendirane krute tvari (mg/L)	200-2000	500	100-400
Organski dušik	10-800	200	80-120
Amonijev dušik (mg/L)	10-800	200	20-40
Nitrat (mg/L)	5-40	25	5-10

Fosfor(ukupni) (mg/L)	5-100	30	5-10
Orto fosfor (mg/L)	4-80	20	4-8
Kalcijev karbonat(alkalnost) (mg/L)	1000-10000	3000	200-1000
pH	4.5-7.5	6	6.6-7.5
Kalcijev karbonat(tvrdoća) (mg/L)	300-10000	3500	200-500
Kalcij (mg/L)	200-3000	1000	100-400
Magnezij (mg/L)	50-1500	250	50-200
Kalij (mg/L)	200-1000	300	50-400
Natrij (mg/L)	200-2500	500	100-200
Kloridi (mg/L)	200-3000	500	100-400
Sulfati (mg/L)	50-1000	300	20-50
Željezo (mg/L)	50-1200	60	20-200

Procjedne vode s odlagališta opasnog otpada obično sadržavaju manje As, Pb, i Hg, ali više Cd, Fe, Ni, Cu, Cr nego odlagališta komunalnog otpada. Općenito gledano, udio slabo topljivih spojeva u odlagalištu će se povećati s vremenom zbog transformacija koje se ondje događaju [9].

Čimbenici koji utječu na stvaranje procjednih voda su klima, topografija tla, završni pokrivni materijal na odlagalištu, vegetativni pokrov, operativni postupci vremenskim upravljanjem lokacije, te vrsta otpadno materijala na odlagalištu [10].

Procjedne vode mogu se obrađivati obradom u uređajima na licu mjesta u potpunosti do ispuštanja u recipijent ili djelomičnom obradom te ispuštanjem u sustav javne odvodnje. U nekim slučajevima provodi se i recirkulacija procjedne vode na tijelo odlagališta.

Značajke procjednih voda značajno se mijenjaju tijekom životnog vijeka odlagališta otpada.

2.2.5.1 SUSTAV ODVODNJE OBORINSKIH VODA

Oborinske vode s uređenih površina (zelene površine, tijela odlagališta otpada prekrivena pokrovnim brtvenim slojem, krovne vode objekata, prometne površine) neće biti u doticaju s bilo kojom vrstom otpada. Oborinska voda se sustavom kanala vodi do bazena za oborinske vode gdje se po potrebi koristi kao tehnološka voda (voda za pranje kotača) ili se slobodno ispušta u teren. Vode s manipulativnih asfaltiranih površina i s prostora za pranje kotača propuštaju se kroz taložnik i pročišćavaju u separatoru ulja i masti te ponovno koriste za pranje kotača ili zalijevanje zelenih površina, a višak se slobodno ispušta u teren.

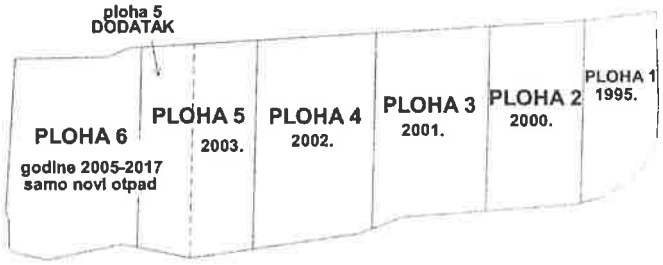
2.2.6 Odlagalište otpada Jakuševec - Prudinec

Odlagalište otpada Jakuševec – Prudinec je odlagalište neopasnog otpada Grada Zagreba smješteno u neposrednoj blizini naselja Jakuševec u Gradu Zagrebu.

Odlagalište Jakuševec - Prudinec je nastalo 1965. godine. Od tada pa do 1995. godine na površini od 80 ha nastalo je neuređeno odlagalište, koje je zapremalo oko 6 milijuna m^3 otpada. Odlagalište je smješteno na području zagrebačkog vodonosnog sustava, a zbog potrebe za zaštitom strateških zaliha podzemne vode, pristupilo se njegovoj sanaciji. Do početka sanacije na odlagalištu su se odlagale razne vrste otpada, od komunalnog, industrijskog, bolničkog do otpada nepoznatog podrijetla.

Sanacija neuređenog Odlagališta otpada Jakuševec započela je 1996. godine i uspješno je završena u rujnu 2003. godine, a odlaganje (ugradnja) otpada nastavljeno je do danas. Projekt sanacije provodio se po glavnom projektu sanacije odlagališta Jakuševec/Prudinec, izrađen od IGH, Zagreb, ožujak 2000. godine [11], građevinskim dozvolama od srpnja 2002. godine [12] za izgradnju vodoravne vodonepropusne plohe (radne plohe) za odlaganje otpada s pripadajućim elementima odvodnje, kontrolnim sustavom procjeđivanja, međuslojevima i prekrivnim slojem odloženog otpada i od siječnja 2002. godine [13] za izgradnju sustava otplinjavanja tijela deponija (zdenaca, plinovoda s pripadajućom opremom, usisnih agregata i baklje s posebnim priključcima) sa sustavom iskorištavanja deponijskog plina za proizvodnju električne i toplinske energije (plato s potrebnim priključcima, plinski motor) sve unutar prostora odlagališta Jakuševec. Te dozvoli za gospodarenje otpadom od ožujka 2014. godine [14, 15].

Odlagalište Jakuševec podijeljeno je na plohe od 1 do 6, površina od 6 do 9 ha. Površina na kojoj će se nalaziti odloženi otpad, nakon zatvaranja odlagališta iznosit će 57 ha. Tlocrtni oblik odlagališta je približno pravokutan. Maksimalna duljina projektiranog odlagališta iznosi oko 1365 m, dok je maksimalna širina oko 450 m (Slika 11) [16]. Do danas je na odlagalištu odloženo oko 13.000.000 t otpada.



Slika 5. Situacija odlagališta Jakuševec[16]

Odlagalište je opremljeno objektima i opremom:

- kontejnerima za nadzor (smještaj ljudi i opreme),
- vagama s pripadajućom informatičkom opremom,
- sustavom video nadzora,
- automatskom kontrolom radioaktivnosti,
- osmatračnicama za vizualnu kontrolu otpada,

- automatskim uređajem za pranje kotača,
- priključkom na javnu cestu,
- rampama, prometnim tablama i upozorenjima na cesti,
- uredskim prostorom, garderobom i sanitarnim čvorom,
- skladišnim prostorom za privremeno skladištenje otpada prije odlaganja.Sustavom aktivnog otplinjavanja i proizvodnje energije

Sustavom sakupljanja procjednih voda i sustavom za obradu otpadnih voda.

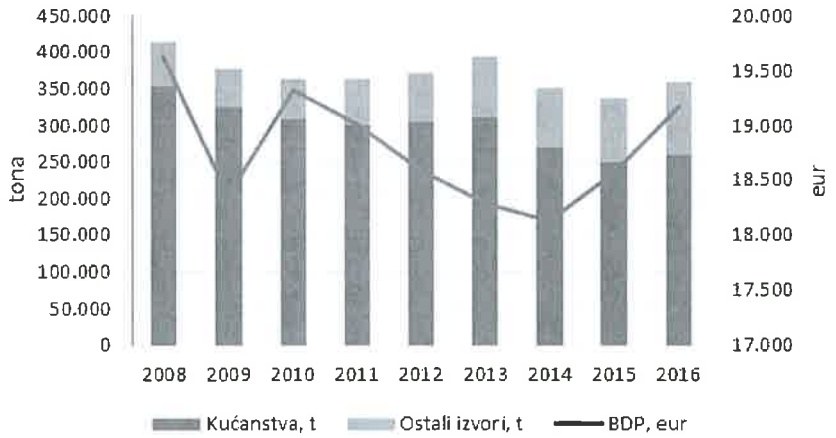
Danas odlagalište ima sve potrebne dozvole u skladu s kojima provodi svoje aktivnosti (dozvola za gospodarenje otpadom, okolišna dozvola). Na odlagalištu se vrše kontrole meteoroloških parametara, mjerenja emisije odlagališnog otpada, emisija procjedne vode i oborinske vode s površine, onečišćenja podzemne vode opasnim tvarima u skladu s propisanim monitoringom.

2.3 Sastav otpada

Obzirom na to da se u ovom radu analizira sastav procjednih voda s odlagališta otpada Jakuševac – Prudinec na kojem se odlaže otpad grada Zagreba u nastavku je dan sastav komunalnog otpada Grada Zagreba [17].

Tablica 2. Količine nastalog otpada u Gradu Zagrebu u razdoblju 2011-2016 godine prema mjestu nastanka[17]

Otpad	2011	2012	2013	2014	2015	2016
sakupljen iz kućanstava	300532,7	304899,3	310189	270426,9	250975,8	261041,4
proizveden iz drugih sličnih izvora	64733,7	66949,51	83588,06	80739,97	87402,23	98852,94
Ukupno komunalni	**365266,4**	**371848,8**	**393777,1**	**351166,9**	**338378,1**	**359894,3**
građevni	50146,87	21024,72	23721,81	35351,86	95107,08	121529,1
ostali proizvodni	101735	112892,6	197377,5	221047,5	200251,2	194722,5
Ukupno proizvodni	**151881,9**	**133917,3**	**221099,3**	**256399,3**	**295358,2**	**316251,6**
Sveukupno komunalnog i proizvodnog otpada	**566717,9**	**512858,8**	**585492,4**	**621665,7**	**667207,1**	**710028,7**

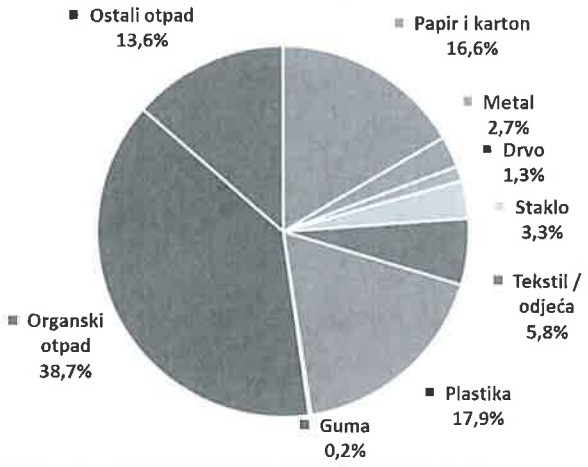


Slika 6. Stvorene količine komunalnog otpada te BDP po glavi stanovnika za Grad Zagreb [17]

Iz navedene slike vidljivo je da se količina komunalnog otpada nastalog u kućanstvu od 2008. godine smanjuje usprkos porastu BDP.

Budući da je na području Grada Zagreba provedeno istraživanje sastava komunalnog otpada u skladu s Metodologijom1[1], prikazuje se sastav miješanog komunalnog otpada. Prosječni morfološki sastav miješanog komunalnog otpada prikazan je na slici 7. Sastav je prikazan preko masenih udjela.

Kada se miješanom otpadu pribroje i odvojeno sakupljene vrste komunalnog otpada, prosječni sastav komunalnog otpada za ukupne količine komunalnog otpada, prikazan je u tablici 3.



[1] Metodologija 1 definirana je od strane hrvatske agencije za zaštitu okoliša i prirode. U dokumentu: metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada, 2015.

Slika 7. Prosječni sastav miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba prema primarnim sastavnicama – 2018. godina [17]

Tablica 3. Sastav komunalnog otpada za Grad Zagreb u 2018. godini[17]

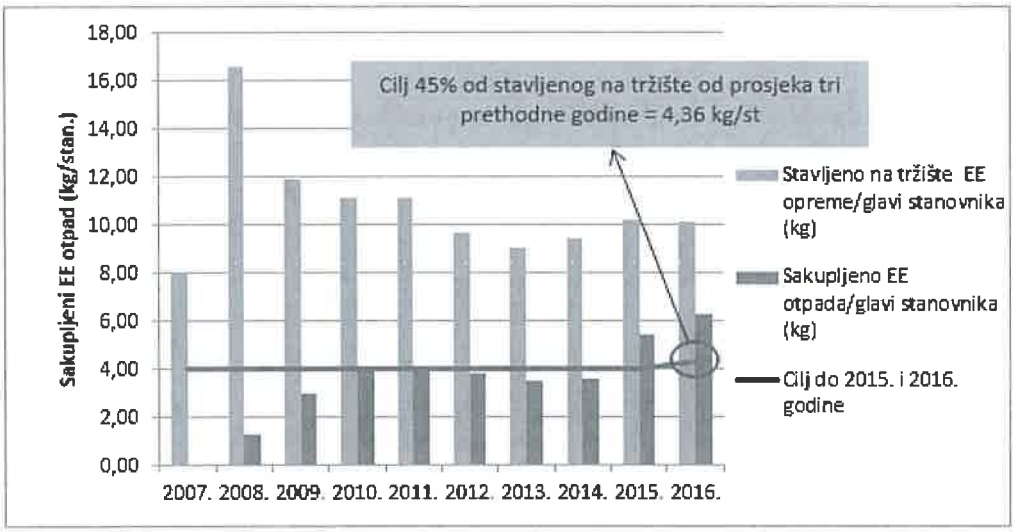
Sastavnica komunalnog otpada	**Udio, %**
Metal	1,87
Drvo	1,70
Tekstil/odjeća	4,00
Papir i karton	25,80
Staklo	4,10
Plastika	13,41
Guma	0,12
Koža/kosti	0,54
Kuhinjski otpad	21,51
Vrtni otpad	11,87
Pelene	4,10
Ostali otpad (zemlja, prašina, pijesak, nedefinirano)	1,78
Glomazni otpad	3,70
Višeslojna i miješana ambalaža	2,79
Baterije i akumulatori	0,03
Električna i elektronička oprema	1,59
Otpad nastao čišćenjem kanalizacije	0,00
Ostali opasni otpad	1,07
Ukupno:	100,00

Kako se u ovom radu analizira sastav procjednih voda koje su nastajale u tijelu odlagališta Jakuševec – Prudinec tijekom dužeg vremenskog perioda, razmatrane su količine i sastav

električnog i elektroničkog otpada koji je sakupljen na području RH (koje se mogu aproksimirati na područje Grada Zagreba). Električni i elektronički otpad je posebna kategorija otpada koja kada se odloži na tijelo odlagališta može uzrokovati procjeđivanje teških metala u procjedne vode.

Sustav posebnih kategorija, posebice električne i elektroničke opreme upostavljen je krajem 2007. godine do danas evidentira se količina EE opreme koja se stavlja na tržište i količina EE otpada koji se sakuplja. Slika 8 prikazuje EE opremu koja je stavljena na tržište, a za koju je naplaćena naknada i EE otpada koji je sakupljen. Vidljivo je kako je u 2015. i 2016. godini količina sakupljenog otpada prešla 50 % otpada koji je stavljen na tržište. Isto tako, sustavom gospodarenja EE otpada realiziran je cilj od 4 kg/stan. sakupljenog EE otpada u 2010., 2011. i 2015. godini.

U 2015.godini evidentiran je porast sakupljenog EE otpada u odnosu na prethodnu godinu od 50 %, a do 8./2016. godine 74 % u odnosu na 2014. godinu. Za period do 8/2016. godine u odnosu na 2015. godinu evidentiran je porast od 15 % u odnosu na 2015. godinu[10].



Slika 8. Količine EE otpada od 2007.-2016.

Električni i elektronički otpad sadrži više kategorija otpada koje su pobrojene u nastavku.

Veliki kućanski uređaji podrazumijevaju: velike rashladne uređaje, hladnjake, ledenice, ostali velike uređaje za hlađenje, konzerviranje i spremanje hrane, strojeve za pranje, sušilice rublja, strojeve za pranje posuđa, kuhinjske peći, električne štednjake, električne ploče za grijanje, mikrovalne uređaje, ostale velike uređaje za kuhanje i ostalu pripremu hrane, električne uređaji za grijanje, električne radijatore, ostale velike uređaje za grijanje soba, kreveta i namještaja za sjedenje, električne ventilatore, klima-uređaje, ostale uređaje za ventilaciju, odzračivanje i klimatizaciju[10].

Mali kućanski uređaji podrazumijevanju: usisavače, uređaje za čišćenje tepiha, ostale uređaje za čišćenje, uređaje za šivanje, pletenje, tkanje i ostalu obradu tkanine, glačala i ostale uređaji za glačanje, izažimanje i drugo uređivanje odjeće, tostere, pržilice, mlince, aparate za kavu i uređaje za otvaranje i zatvaranje spremnika i pakiranje, električne noževe, uređaje za šišanje, sušenje kose, pranje zubi, brijanje, masiranje i ostale uređaji za njegu tijela, satove, ručne satove i uređaje za mjerenje, pokazivanje i zapisivanje vremena te vage[10].

Oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije podrazumijeva: Središnju obrada podataka: velika računala, miniračunala; osobnu računalnu opremu: osobna računala (CPU, miš, zaslon i tipkovnica), računala »laptop« (CPU, miš, zaslon i tipkovnica), računala »notebook«, računala »notepad«, pisače, kopirnu opremu, električne i elektroničke pisaće strojeve, džepne i stolne kalkulatore i ostale proizvode ili opremu za prikupljanje, spremanje, obradu i predstavljanje podataka ili komuniciranje podacima, korisničke terminale i sustave, faks-uređaje, teleks-uređaje, telefone, telefone s karticama i kovanicama, bežične telefone, mobilne telefone, sustave odgovora na poziv te ostale proizvode ili opremu za telekomunikacijski prijenos zvuka, slika ili drugih podataka.

Oprema široke potrošnje podrazumijeva: Radioaparate, televizijski aparate, videokamere, videorekordere, hi-fi-uređaje, audio pojačala, glazbene instrumente, ostale proizvodi ili opremu za snimanje ili reprodukciju zvuka ili slika, uključujući signale, ili druge tehnologije, osim telekomunikacijskih, za raspodjelu zvuka i slike[18].

Rasvjetna oprema podrazumijeva (kategorija 5): Rasvjetna tijela za fluorescentne svjetiljke, osim svjetiljaka za kućanstvo, ravne fluorescentne svjetiljke, kompaktne fluorescentne svjetiljke, svjetiljke s izbijanjem, uključujući visokotlačne svjetiljke s natrijevim parama i svjetiljke s metalnim parama, niskotlačne natrijeve svjetiljke, ostala rasvjetna oprema ili oprema za širenje ili upravljanje svjetla, osim žarulja sa žarnom niti.

Električni i elektronički alati (osim velikih nepokretnih industrijskih alata) podrazumijevanju (kategorija 6): Bušilice, pile, šivaće strojeve, opremu za okretanje, mljevenje, brušenje, poliranje, piljenje, rezanje, sječenje, bušenje, prošupljivanje, probijanje, previjanje, savijanje ili za sličnu obradu drveta, metala i drugih materijala, alati za zakivanje, spajanje čavlima, spajanje vijcima, alate za skidanje zakovica, čavala ili vijaka ili za slične namjene, alate za zavarivanje, lemljenje i sličnu uporabu, opremu za prskanje, nanošenje, raspršivanje i ostalu drukčiju obradu tekućih ili plinovitih tvari, alate za košenje ili za druge vrtne poslove. .

Igračke, oprema za razonodu i športska oprema podrazumijeva (kategorija 7): Električne komplete s tračnicama ili automobilima, ručne konzole za videoigre, videoigre, računala za biciklizam, ronjenje, trčanje, veslanje itd., športsku opremu s električnim ili elektroničkim komponentama, automate s kovanicama za igranje. .

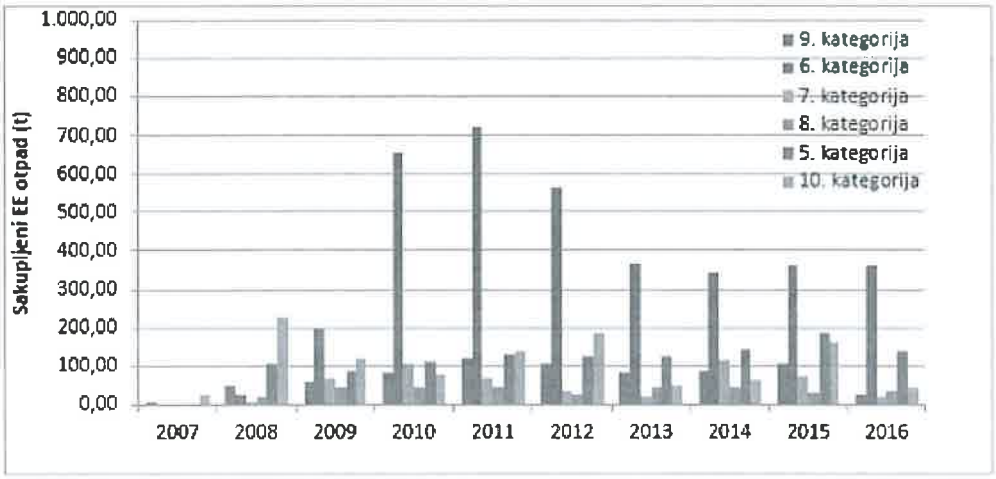
Medicinski uređaji (osim implantiranih uređaja) podrazumijevaju (kategorija 8): Radioterapijsku opremu, kardiološke uređaje, uređaje za dijalizu, plućne ventilatore, uređaje nuklearne medicine, laboratorijsku oprema za dijagnostiku in vitro, analizatore, ledenice, uređaje za ispitivanje oplodnje, ostali uređaje za otkrivanje, sprječavanje, nadgledanje, obradu, ublaživanje bolesti, povreda ili nemoći .

Instrumenti za nadzor i upravljanje podrazumijevaju (kategorija 9): Detektore dima, regulatore grijanja, termostate, uređaje za mjerenje, vaganje ili ugađanje za kućanstvo ili laboratorije, ostale instrumente za nadziranje i upravljanje koji se upotrebljavaju u industrijskim instalacijama (npr. na kontrolnim pločama).

Samoposlužni aparati podrazumijevaju (kategorija 10): Automatske uređaje za izdavanje toplih napitaka, automatske uređaje za izdavanje toplih i hladnih boca ili kutija, automatske uređaje za izdavanje čvrstih proizvoda, automatske uređaje za izdavanje novca, sve uređaje koji automatski izdaju sve vrste proizvoda. .

Međutim, bez obzira na vrlo malu zastupljenost u masenim udjelima ovih kategorija, izuzetno je važno napomenuti važnost sakupljanja 5. kategorije koja sadrži rasvjetnu opremu, posebice fluorescentne svjetiljke koje u sebi sadrže živu. Ovaj otpad, ukoliko se ne sakupi, transportira i obradi kako treba može uzrokovati znatan štetan utjecaj po okoliš i ljude. Iako podaci analiziranog razdoblja ukazuju da se količina otpadnih fluorescentnih rasvjetnih tijela kontinuirano povećava te je u 2015. godini sakupljeno 187 tona ovog otpada, udio ove

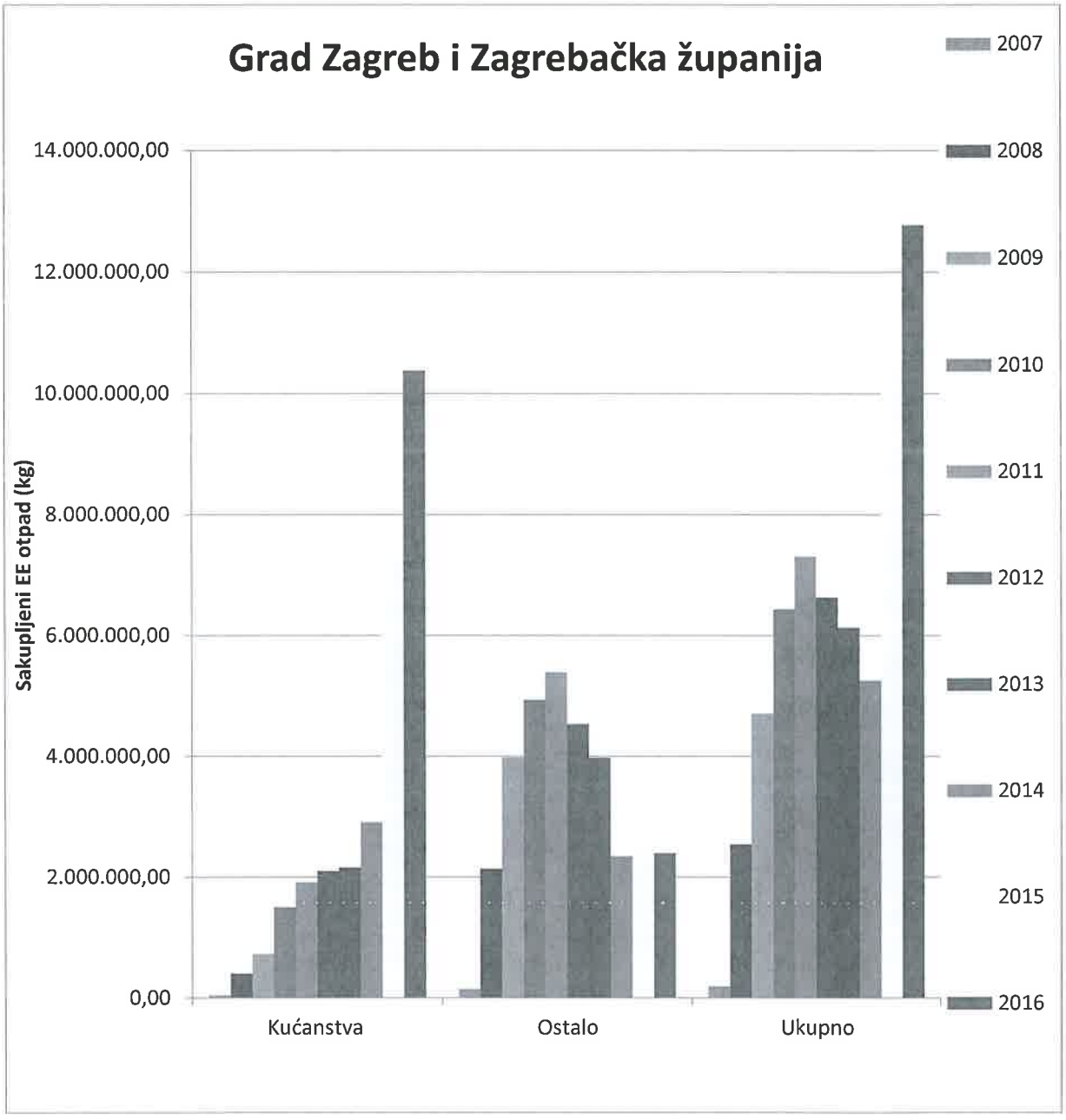
kategorije je svega 0,6% u ukupno sakupljenom EE otpadu, dok je EU prosjek više nego duplo veći i to 1,5%..[18].



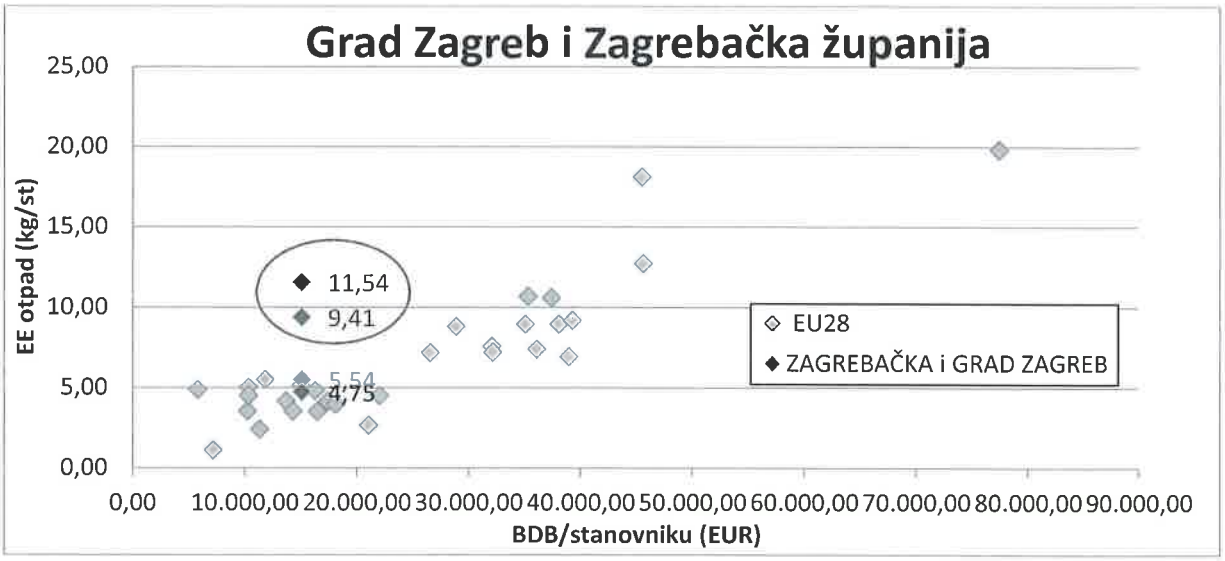
Slika 9. Udio EE otpada po kategorijama(5.-10.) u periodu od 2007 – 2016 godine[18]

Tablica 4. Podaci o području sakupljanja za Grad Zagreb i Zagrebačku županiju

Naziv županije	ZAGREBAČKA ŽUPANIJA	GRAD ZAGREB	UKUPNO
Površina (km^2)	3060	641	3701
Broj stanovnika	317 606	790 017	1.107.623
BDP po glavi stanovnika (kn)	58 930	137 321	114.842
Broj gradova	9	1	10
Broj općina	25	0	25
Broj naselja	694	70	764
Gustoća naseljenosti (st/km^2)	104	1232	300



Slika 10. Prikaz sakupljenih količina EE otpada u periodu od 2007-8/2016 za područje Grada Zagreba i Zagrebačke županije [18]



Slika 11. Odnos BDP i kg sakupljenog EE otpada za EU28 i Grad Zagreb i Zagrebačku županiju po stanovniku [18]

Uvidom u Sliku 15, može se zaključiti da je u 2015. i 2016. godini evidentirano značajno povećanje količina i to primarno otpada iz kućanstva koje je u 2015. i 2016. bilo i više od 100% u odnosu na 2014. godinu, dok je za 2014. godinu količina EE otpada koja je bila sakupljena iznosila 4,7 kg/st.

U 2015. godini sakupljeno je 9,4 kg/st EE otpada, a u 2016. godini 11,53 kg/st EE otpada, što je znatno više od prosjeka RH koji je oko 6 kg/st EE otpada. U 2016. godini u ovu bilancu ulazi i oko 1.000 tona otpada iz tvrtke M-san d.o.o. te je realno oko 10% manje otpada u ovom području. Međutim, ova činjenica ne može argumentirati navedeno povećanje sakupljene količine EE otpada. Područje obuhvata sakupljanja odlikuje se najvećom gustoćom naseljenosti (300 st/km^2) u RH. Usporedbom količina sakupljenog EE otpada s prosjecima u EU 28, vidljivo je da rezultati ostvareni u 2015. i 2016 godini značajno izlaze iz okvira prosjeka za razmatrano područje BDP po stanovniku za EU 28 [18].

Tablica 5. Opasne komponente u EE otpadu[19, 20]

Materijal/ komponenta	Opis
Plastika	Prilikom spaljivanja mogu nastati dioksini i furani, kao i organski halogenati
Cd	do 0,220 g/kg EE otpada, SMD-otpornici čipa, IR čitači, poluvodiči i stare CRT cijevi
Be	do 0,06 g/kg, u matičnim pločama i kancerogen je

Pb	do 30 g/kg
Cr^{6+}	do 4 g/kg, zaštita od korozije kod galvanizacije
Ba	do 19 g/kg u CRT cijevima
P	U unutarnjem sloju CRT TV
Sb	do 9,7 g/kg
Baterije	Teški metali, Pb, Hg, Cd
Katodne cijevi	Pb u vratu cijevi i P u unutrašnjem fluorescentnom premazu
Hg	U termostatima, senzorima, relejima, prekidačima, medicinskoj opremi, opremi za prijenos podataka, telekomunikacijskoj opremi i mobilnim telefonima
Azbest	Minerali oštećuju pluća
Toneri	Opterećuju vode otopljenim organskim ugljikom
Tiskane pločice	Sadrže veliki broj metala i spojeva od kojih su mnogi toksični
Poliklorirani bifenili	Kancerogeni spojevi
Kondenzatori	Sadrže poliklorirane bifenile
LCD monitor	-
Plastika s halogenim usporivačima gorenja	Prilikom neadekvatne termičke obrade može doći do emisije dioksina i furana
Freoni (CFC i HCFC) i tetrafluoretan (HFC)	U pjeni ili rashladnom mediju, oštećuju ozonski omotač
Lampe s električnim izbojem	Sadrže Hg

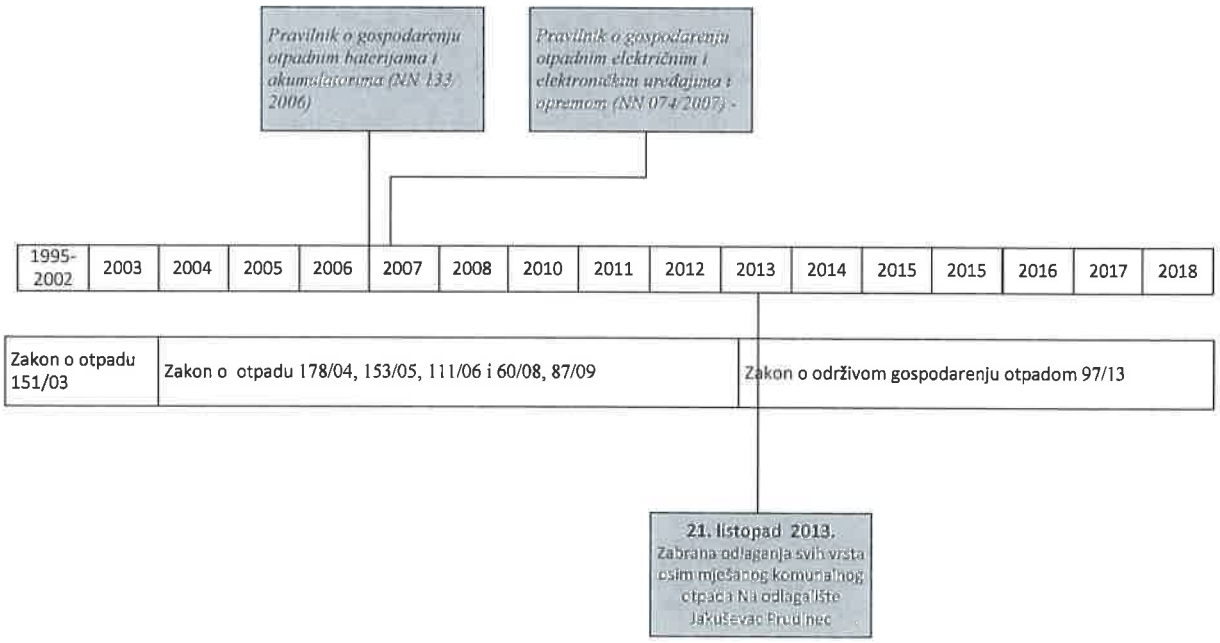
2.4 Povijest zakonodavstva u području gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj, 1995 godine donesen je prvi Zakon o otpadu koji nije bio usklađen s EU direktivama, ali je u istom propisano odvojeno prikupljanje ambalažnog materijala kao vrijednog i korisnog otpada[21].

Tek 2003. godine donesen je novi zakon koji je bio usklađen s EU direktivama, u kojem su propisani uvjeti za rad odlagališta, te se po prvi put spominje otpadna električna i elektronička oprema koju je potrebno odvojeno prikupiti, te otpadna vozila i otpadne gume[22].

Odmah iza toga donesen je novi Zakon o otpadu i to 2004. Godine iz kojeg su proizašli podzakonski akti za gospodarenje posebnim kategorijama otpada (otpadna ambalaža, otpadna vozila, električna elektronička oprema, gume, baterije i akumulatori. Već 2004. Godine propisano je odvojeno prikupljanje vrijednih sastavnica otpada, značajno veća kontrola rada odlagališta otpada [23].

Prije 6 godina, 2013. godine donesen je Zakon o održivom gospodarenju otpadom koji je danas usklađen s postulatima kružnog gospodarstva i sadrži niz podzakonskih akata [1].



Slika 12. Prikaz dinamike donošenja propisa iz područja gospodarenja otpadom

Kronološki prikaz važnijih zakona i propisa od 1995. do 2018. godine.

Od ključnih pravilnika i drugih podzakonskih propisa i događaja, važno je izdvojiti nekoliko koji mogu imati utjecaj na sastav otpada koji se odlaže na odlagališta, odnosno indirektno na sastav procjednih voda koje se stvaraju iz tijela odlagališta.

Pravilnik o gospodarenju otpadnim baterijama i akumulatorima koji je donesen potkraj 2006. godine te Pravilnik o gospodarenju električnom i elektroničkim uređajima i opremom koji je donesen u 2007. godini. Nadalje, slijedom niza različitih događaja i donošenja i implementacije propisa 2013. godine donesena je zabrana od strane inspekcije zaštite okoliša, odnosno nadležnog ministarstva koja se odnosila na odlaganje svih vrsta neopasnog otpada osim miješanog komunalnog otpada na tijelo odlagališta Jakuševec Prudinec.

3 Eksperimentalni dio

U ovom istraživanju analizirani su rezultati analize procjednih voda s odlagališta Jakuševac prije njihove obrade, te se analizirala korelacija između promjene zakonske regulative i sastava procjednih voda koja nastaje iz odlagališta prije obrade u uređaju za obradu otpadnih voda.

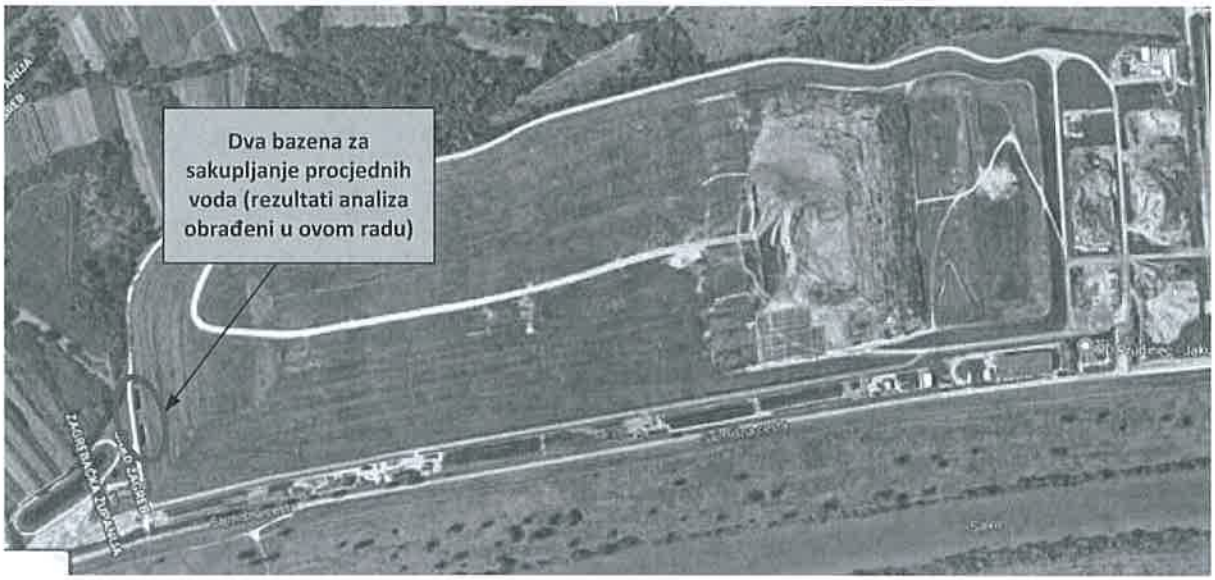
3.1 Metodologija istraživanja

3.1.1 Podaci za obradu

Odlagalište otpada Prudinec – Jakuševec sakuplja procjedne vode u dva vodonepropusna bazena koja su smještena na istočnoj strani tijela odlagališta. Procjedne vode koje se sakupe odvode se u uređaj za obradu otpadnih voda koji je smješten neposredno uz odlagalište te se vode nakon obrade ispuštaju u sustav javne odvodnje.

Sastav procjednih voda koji je obrađen u ovom radu odnosi se na **sabirne bazene procjedne vode prije postupka obrade**. Obrađeni su rezultati analize sastava procjedne vode za period od 2000. do 2011. godine. Za podatke koji su se u danom trenutku mjerili u jednom i drugom bazenu uzete su srednje vrijednosti. Ukupno je obrađeno 36 mjerenja u naznačenom periodu. U različitim periodima analizirani su različiti parametri ovisno o regulativi koja je u tom trenutku bila na snazi. Za potrebe ovog rada razmatrano je kretanje 16 parametara i to: kroma, bakra, žive, olova, cinka, kadmija, nikla, arsena, mangana, fluorida, nitrata, nitrita, sulfata, sulfida, cijanida i željeza.

Svi podaci prikazani su grafički u logaritamskoj skali obzirom na vrlo velike razlike u koncentraciji pojedinih elemenata evidentiranih u razmatranom periodu.



Slika 13. Procjedni bazeni na odlagalištu Prudinec Jakuševec

3.2 Rezultati i rasprava

Za sve teške metale koji su analizirani u promatranom periodu vidljivo je da se značajno smanjuju od 2003, odnosno 2004. godine kada je po prvi puta donesen Zakon u kojem su implementirani postulati EU direktiva. U tom periodu električni i elektronički otpad prepoznat je kao posebna kategorija koji je bilo potrebno zasebno izdvojiti. Električni i elektronički otpad sadrži niz elemenata koji mogu, ako su neadekvatno odloženi i izloženi atmosferskom utjecaju izluženi u procjedne vode. Na primjer, jedan od ključnih elemenata EE opreme su tiskane pločice (TP) koje imaju upravljačku funkciju uređaja. Heterogenog su sastava, sadrže metale, organski materijal, staklena vlakna i dr., što proces obrade čini složenim, a time i skupljim. Zbog sadržaja vrijednih metala kao što su bakar, aluminij, srebro i zlato, TP se smatraju vrijednim izvorom sekundarnih sirovina, međutim zbog prisutnosti teških metala poput Pb, Hg, Cr i Cd, ovaj se otpad svrstava u opasni otpad i nerijetko je veliki onečišćivač okoliša [24, 25].Upravo sadržaj ovih elemenata bilježi značajan pad u sastavu procjednih voda u odnosu na period do 2004. godine i to čak za nekoliko stotina puta. Pretpostavlja se da se u tom periodu započelo za odvojenim prikupljanjem ove vrste otpada, odnosno počinje smanjenje odlaganja otpada koji sadrži teške metale.

Bakar u procjednim vodama, značajnije pada nakon 2003. godine, dok se od 2007. godine uočava dodatan pad koncentracije. Dinamika kretanja koncentracije bakra poklapa se sa definiranjem otpada koji se može odlagati 2003. godine i donošenjem propisa za gospodarenje otpadnom EE opremom kojom se otpad koji sadrži značajnu koncentraciju bakra sve manje i manje odlaže jer se sakuplja u posebnim tokovima.

Zbog komponenata koje sadrži, EE oprema se uglavnom klasificira kao opasan otpad jer se sastoji od velikog broja različitih komponenata opasnih po ljudsko zdravlje i štetnih za okoliš. Procijenjeno je da se 70% od ukupne količine teških metala deponiranih na odlagalištima dolazi od EE otpada[26]. Uglavnom sadrži živu, kadmij, berilij, olovo, krom, barij, fosfor, CFC spojeve, brom, arsen, silicij itd.[27].

Temeljem analize rezultata kretanja koncentracije žive u procjednoj vodi odlagališta Jakuševac vidljivo je da se nakon donošenja Zakona o otpadu 2003. godine sadržaj žive značajno pada u odnosu na prethodni period, dok se od 2007. godine do kraja razmatranog perioda bilježi dodatni lagani pad koncentracije žive.

U EE opremu se ugrađuje čak 22% od ukupne količine proizvedene žive koja je izuzetno opasna za sve žive organizme u okolišu. Sadržana je u svjetlosnim žaruljama u ravnim ekranima, sklopkama, te svim sva ožičenjima u štampanim pločama. Kadmij se nalazi u infracrvenim čitačima, poluvodičima i starijim tipovima katodnih cijevi, sastojak je akumulatorskih baterija u računalima, a koristi se odnedavno i kao stabilizator u plastici. Berilij se nalazi u matičnim pločama i konektorima a klasificiran je kao kancerogena tvar.

Olovo nalazimo u oblogama katodnih cijevi te kao sastojak pigmenta i stabilizatora u plastici kao i u akumulatorima. Također, većina spojeva na pločama je zaštićena olovom. Olovo je teški metal koji se akumulira u okolišu, a toksičan je za sav živi svijet. Od ukupne količine olova, 17 % potječe iz EE otpada.

Od 2003. godine koncentracija olova u procjednoj vodi značajno pada, dok se donošenjem podzakonskih propisa o gospodarenju otpadnim baterijama i akumulatorima 2006. ova vrsta otpada izdvaja iz toka otpada koji se odlaže na odlagališta. Od 2006. godine vidljivo je dodatno značajno smanjenje koncentracije olova u procjednoj vodi i to za 100 puta u odnosu na 2003 godinu.

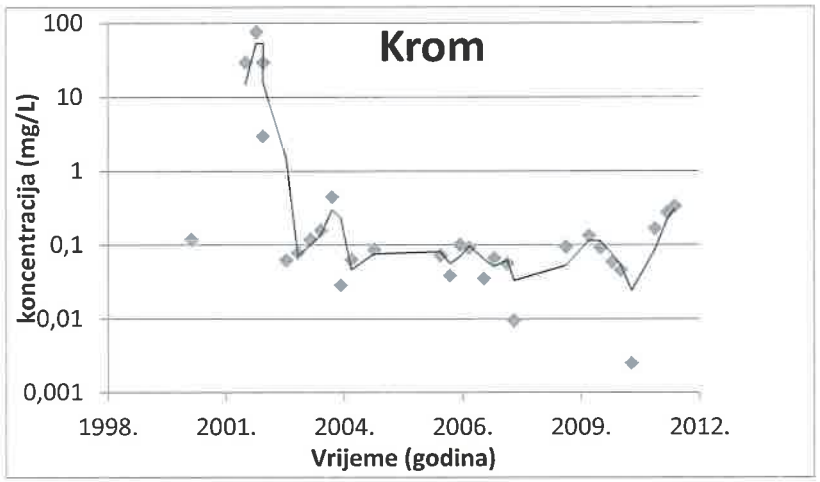
Šesterovalentni krom koji se često upotrebljava za oblaganje dijelova kućišta, te kao presvlaka za zaštitu od korozije je vrlo otrovan, kancerogen i opasan za životinje, biljke i ljude .

Sadržaj kroma u procjednoj vodi smanjio se i tisuću puta nakon implementacije Zakona o otpadu iz 2003. godine. Koncentracije sadržaja kroma koje su evidentirane nakon toga neznatno osciliraju, ali više nisu zabilježene tako visoke koncentracije.

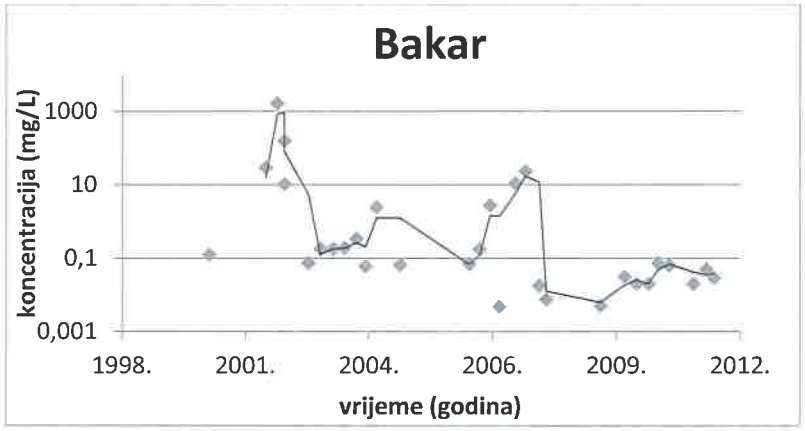
Barij se koristi kod katodnih cijevi da bi zaštitio korisnike od zračenja. Fosfor se koristi kao premaz unutarnje strane monitora. Neadekvatnim zbrinjavanjem katodnih cijevi u većini slučajeva dolazi do puknuća i emisije fosfornog premaza u okoliš. CFC i HCFC spojevi se koriste u proizvodnji rashladnih uređaja i izolacije. Obe vrste spojeva spadaju u takozvane "stakleničke plinove" koji ispuštanjem u atmosferu uzrokuju promjenu klime i oštećenja ozonskog omotača[28].

Od 2008.godine provode se zabrane korištenja pojedinih opasnih tvari u proizvodnji nove EE opreme kao što su olovo, živa, kadmij, krom i drugi te zamjena istih drugim manje opasnim tvarima. Također je smanjen prag dozvoljene koncentracije žive, kadmija i olova u baterijama i akumulatorima. Sve navedeno zasigurno će olakšati obradu i recikliranje EE otpada [27].

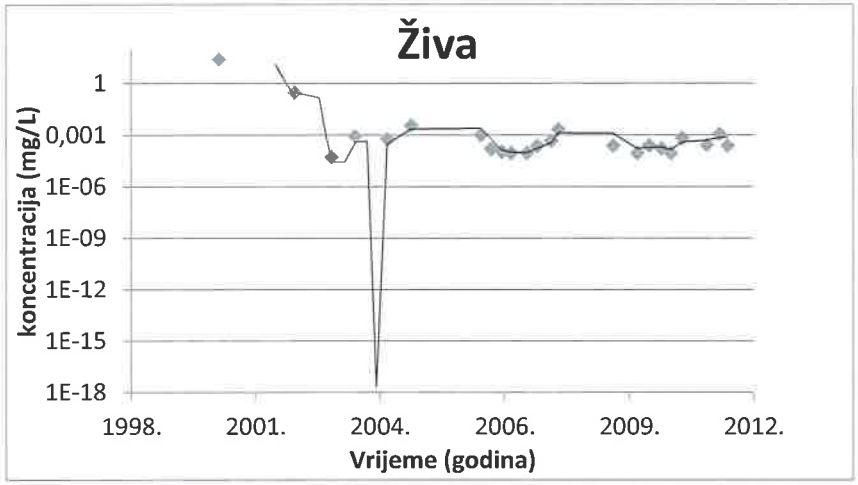
Upravo sadržaj ovih elemenata bilježi značajan pad u sastavu procjednih voda u odnosu na period do 2004. godine i to čak za nekoliko stotina puta. Pretpostavlja se da se u tom periodu započelo za odvojenim prikupljanjem ove vrste otpada, odnosno počinje smanjenje odlaganja otpada koji sadrži teške metale.



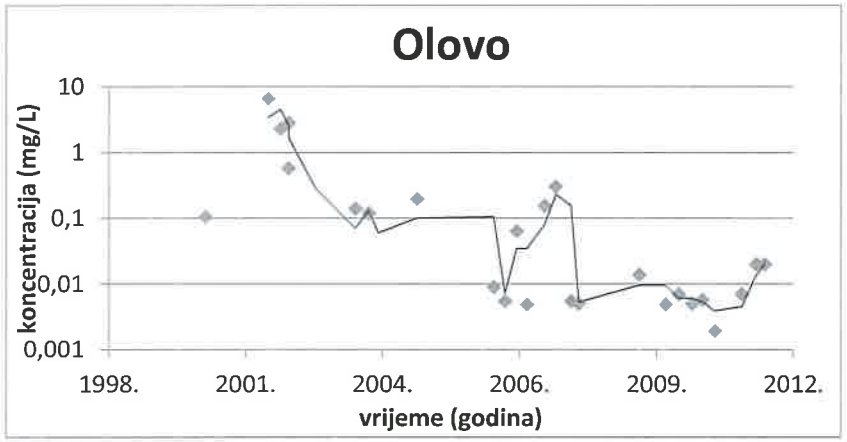
Slika 14. Sadržaj kroma u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



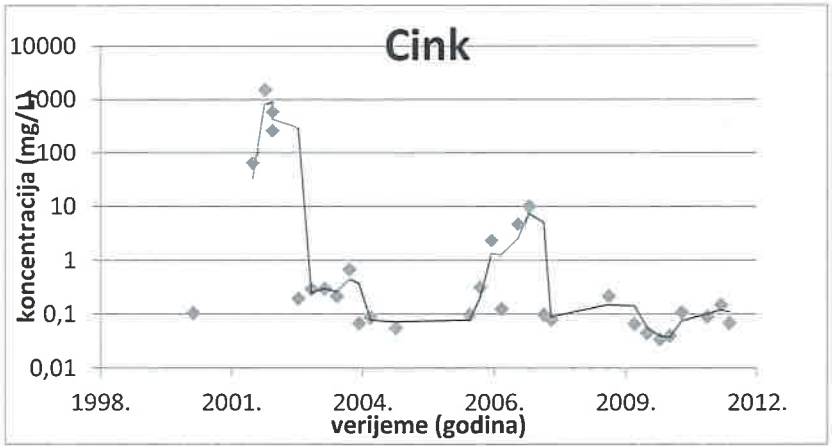
Slika 15. Sadržaj bakra u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



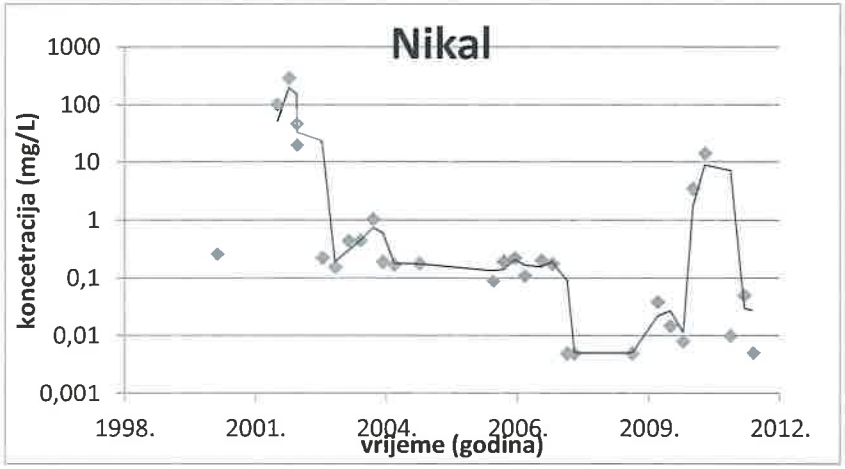
Slika 16. Sadržaj žive u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



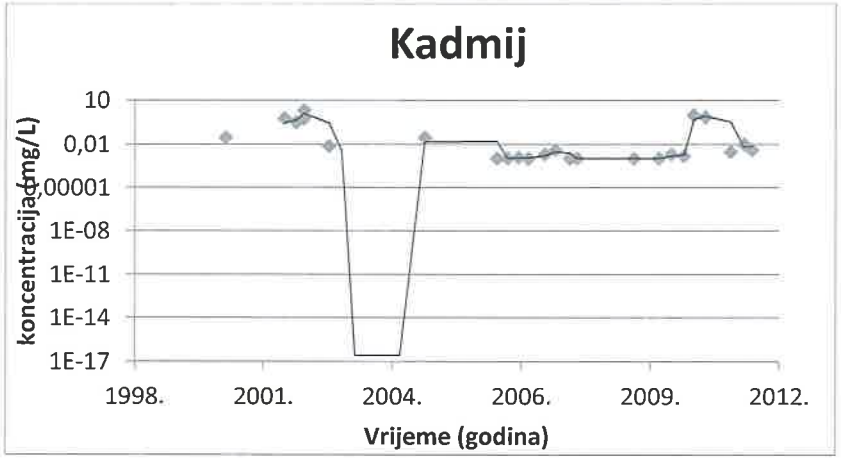
Slika 17. Sadržaj olova u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



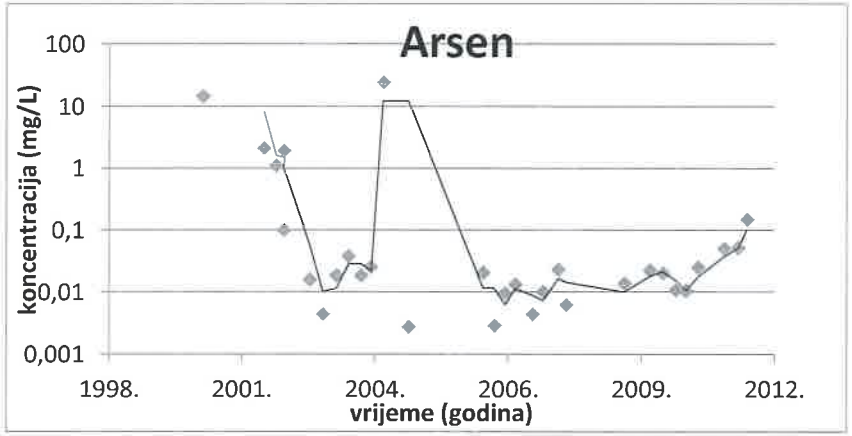
Slika 18. Sadržaj cinka u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



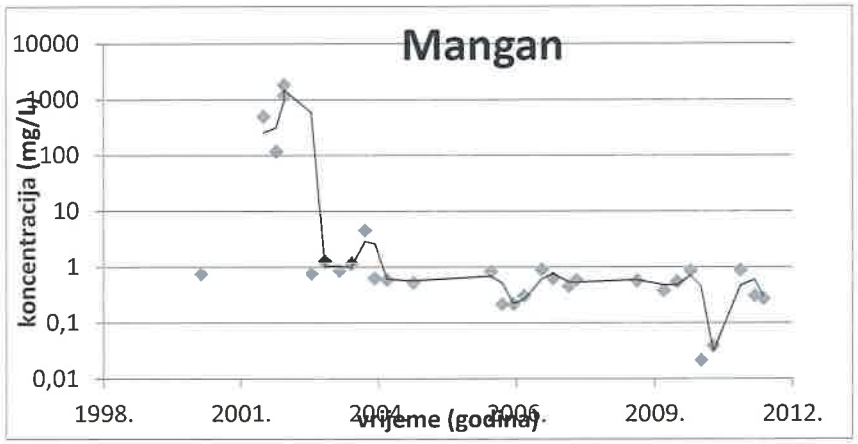
Slika 20. Sadržaj nikla u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



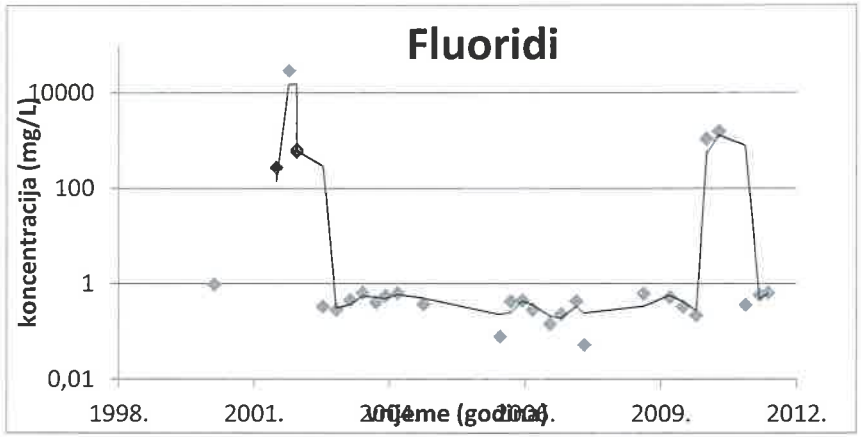
Slika 19. Sadržaj kadmija u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011.



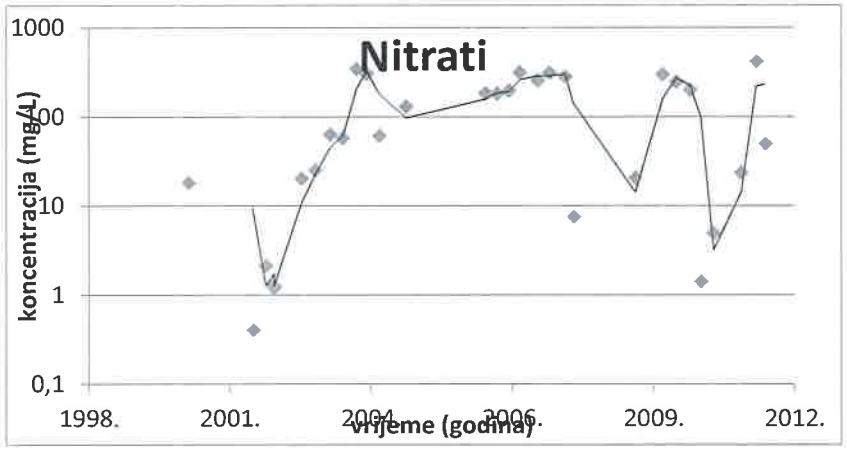
Slika 21. Sadržaj arsena u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



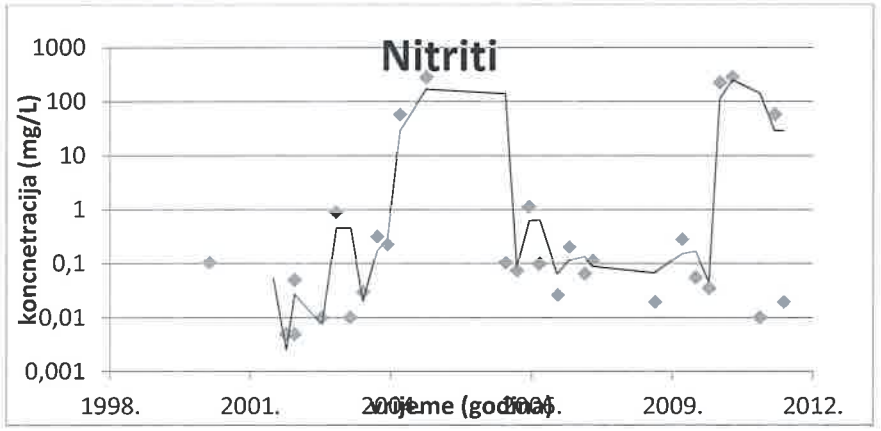
Slika 22. Sadržaj mangana u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011.



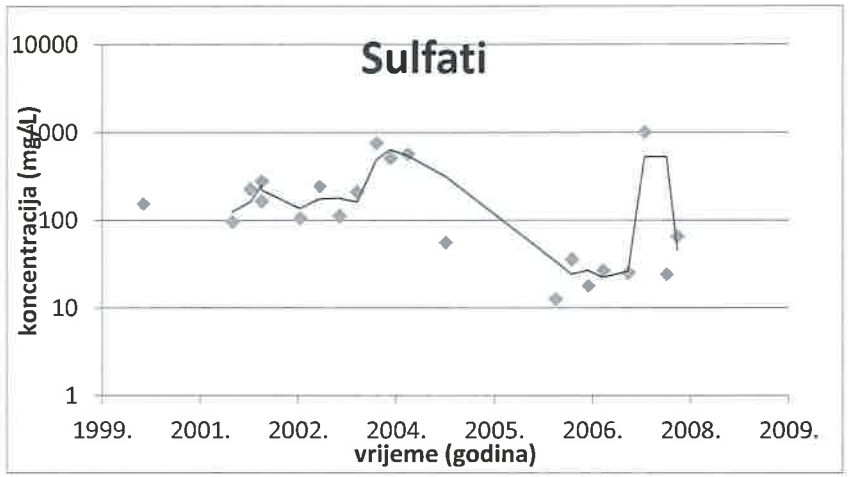
Slika 23. Sadržaj fluorida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000.- 2011.



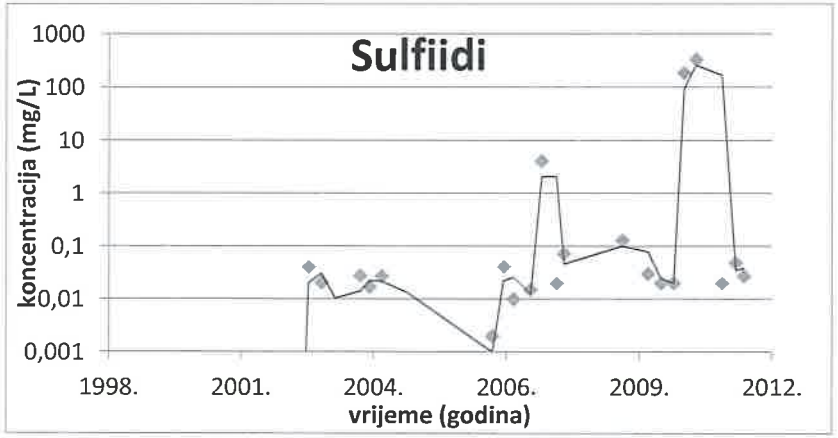
Slika 24. Sadržaj nitrata u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000.- 2011.



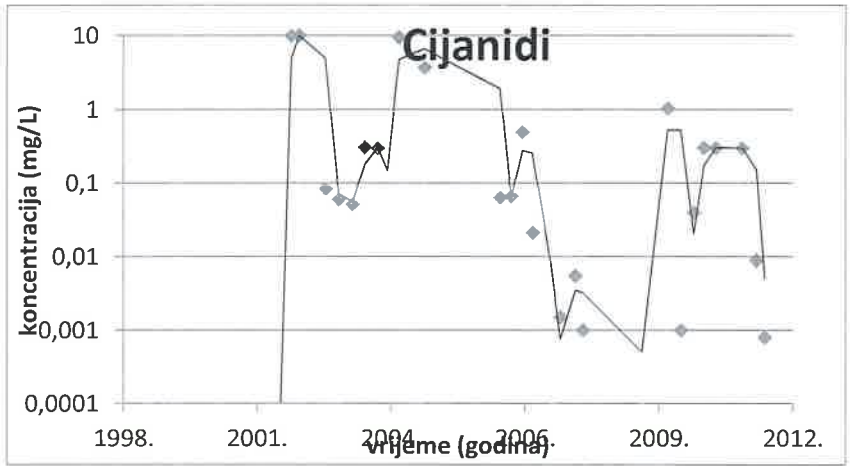
Slika 25. Sadržaj nitrita u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. -2011.



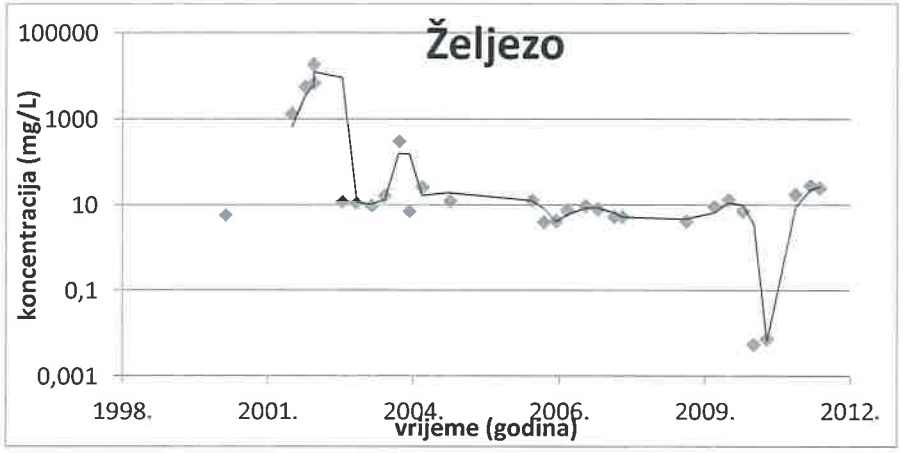
Slika 26. Sadržaj sulfata u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011.



Slika 27. Sadržaj sulfida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011.



Slika 28. Sadržaj cijanida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.



Slika 29. Sadržaj željeza u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011.

4 Zaključak

U ovom radu obrađeni su rezultati analize sastava procjedne vode za period od 2000-2011 godine koje se stvaraju na zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševac Prudinec koje je uređeno odlagalište neopasnog otpada koje ima sve zakonom propisane dozvole, odnosno izgrađeno je prema zahtjevima EU direktiva.

Za potrebe ovog rada razmatrani su parametari: kroma, bakra, žive, olova, cinka, kadmija, nikla, arsena, mangana, fluorida, nitrata, nitrita, sulfata, sulfida, cijanida i željeza. Te su dobivene vrijednosti tijekom razmatranog perioda uspoređene s dinamikom promjena zakonske regulative.

Nakon provedene analize može se zaključiti da je implementacija prve EU direktive o otpadu u Zakon o otpadu u 2003. godini rezultirala značajnim smanjenjem svih teških metala u procjednoj vodi.

Dodatno uspostavljanje sustava posebnih kategorija posebno za baterije i akumulatore, te električni i elektronički otpad dodatno je smanjilo sadržaj teških metala u procjednoj vodi jer se ova vrsta otpada počela sakupljati u zasebnim tokovima i reciklirala, odnosno smanjile su se količina ovih vrsta otpada na odlagalištu.

Zakonodavnim okvirom moguće je smanjiti opterećenost procjednih voda koje nastaju na odlagalištima.

5 Popis slika

Slika 1. Hijerarhija gospodarenja otpadom 4

Slika 2. Poprečni presjek suvremenog odlagališta[4] 6

Slika 3. Drenažni sustav za prikupljanje i uklanjanje procjedne tekućine u odlagalištu otpada[5] 9

Slika 4. Sakupljanje procjedne tekućine [5] 10

Slika 5. Situacija odlagališta Jakuševec[16] 14

Slika 6. Stvorene količine komunalnog otpada te BDP po glavi stanovnika za Grad Zagreb [17] 17

Slika 7. Prosječni sastav miješanog komunalnog otpada Grada Zagreba prema primarnim sastavnicama – 2018. godina [17] 18

Slika 8. Količine EE otpada od 2007.-2016. 19

Slika 9. Udio EE otpada po kategorijama(5.-10.) u periodu od 2007 – 2016 godine[18] .. 22

Slika 10. Prikaz sakupljenih količina EE otpada u periodu od 2007-8/2016 za područje Grada Zagreba i Zagrebačke županije [18] 23

Slika 11. Odnos BDP i kg sakupljenog EE otpada za EU28 i Grad Zagreb i Zagrebačku županiju po stanovniku [18] 24

Slika 12. Prikaz dinamike donošenja propisa iz područja gospodarenja otpadom 26

Slika 13. Procjedni bazeni na odlagalištu Prudinec Jakuševec 29

Slika 14. Sadržaj kroma u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.. 33

Slika 15. Sadržaj bakra u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011... 33

Slika 16. Sadržaj žive u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011. 33

Slika 17. Sadržaj olova u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011... 33

Slika 18. Sadržaj cinka u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011... 34

Slika 19. Sadržaj kadmija u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011. 34

Slika 20. Sadržaj nikla u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.... 34

Slika 21. Sadržaj arsena u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011.. 34

Slika 22. Sadržaj mangana u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011. 35

Slika 23. Sadržaj fluorida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000.- 2011. 35

Slika 24. Sadržaj nitrata u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000.- 2011... 35

Slika 25. Sadržaj nitrita u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. -2011. .. 35

Slika 26. Sadržaj sulfata u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011. 36

Slika 27. Sadržaj sulfida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011. 36

Slika 28. Sadržaj cijanida u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. - 2011. 36

Slika 29. Sadržaj željeza u procjednoj vodi sabirnog bazena prije obrade od 2000. – 2011. 36

6 Popis tablica

Tablica 1. Prosječan sastav procjednih voda [8]. 11

Tablica 2. Količine nastalog otpada u Gradu Zagrebu u razdoblju 2011-2016 godine prema mjestu nastanka[17] 16

Tablica 3. Sastav komunalnog otpada za Grad Zagreb u 2018. godini[17] 18

Tablica 4. Podaci o području sakupljanja za Grad Zagreb i Zagrebačku županiju 22

Tablica 5. Opasne komponente u EE otpadu[19, 20] 24

7 Popis literature

1. Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17, 14/19)
2. Mateja Abramović, Završni rad, Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu,2017 godina.
3. Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15)
4. Kavur, B. Nastavni materijali za kolegij Geotehničko-ekološki zahvati. Geotehnički fakultet u Varaždinu, ak. god. 2017/18.
5. Tomica Pintarić,Završni rad,Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu,2018 godina
6. http://www.fzoeu.hr/hr/gospodarenje_otpadom/odlagalista_otpada_i_sanacije/,preuzeto : 4.9.2019.
7. Solid Waste Analysis & Minimization, Matthew J. Franchetti-43-44str
8. Integrated solid waste management, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. A. Vigil, McGraw-Hill International editions, 1993
9. The Essential Guide to Environmental Chemistry: Georg Schwedt, Willey, 1996.
10. David H. F Liu, Bela G. Liptak .,Environmental Engineers Handbook.
11. Glavni projekt sanacije odlagališta Jakuševec/Prudinec, Glavni paket-paket A1, IGH, ožujak 2000.
12. Nastavni zavod za javno zdravstvo „Dr. Andrija Štampar", Ispitni izvještaji o mjerenju sastava odlagališnih plinova, Zagreb, listopad 2014. do rujan 2018.
13. Građevinski izvedbeni projekt, Sustav privremenog otplinjavanja odlagališta-Linija P11, PO21 i PO 13, Hidroplan, Zagreb, travanj 2013., travanj 2015. i srpanj 2016.
14. Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije, NN 88/12
15. T. Krivačić, A. Hojnik Vukojević, A. Udovičić, Privremno otplinjavanje odlagališnog plina – ekološki i ekonomski učinci na odlagalište otpada Jakuševec, ZG holding d.o.o.Podružnica ZGOS
16. Vasiljević, R., Budiša, M. (2010) : Pad koncentracije amonij iona u podzemnoj vodi nizvodno od odlagališta Jakuševec nakon provedene sanacije
17. T. Domanovac, V. Franolić, Sastav i količina komunalnog otpada kao ulazni podaci sustava gospodarenja otpadom Grada Zagreba, XV međunarodni simpozij gospodarenja otpadom, Zagreb, zbornik radova, 2018

18. Mišljenje s analizom sustava gospodarenja EE otpadom te mjere za poboljšanje sustava, Geotehnički fakultet SUZG 2016. Varaždin, prosinac 2016.

19. He, W., Li, G., Ma, X., Wang, H., Huang, J., Xu, M., Huang, C. (2006): WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China, Journal of Hazardous Materials, 136, 502–512.

20. Oguchi, M., Sakanakura, H., Terazono, A. (2013): Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes, Science of the Total Environment 463–464 1124–1132
21. Zakon o otpadu (NN 034/1995)
22. Zakon o otpadu (NN 151/2003)
23. Zakon o otpadu (178/2004)

24. Wang, X., Gaustad, G. (2012): Prioritizing material recovery for end-of-life printed circuit boards, Waste Management, 32, 1903-1913.
25. Vitomir Premur, Oporaba otpadnih tiskanih pločica metodama oplemenjivanja mineralnih sirovina, doktorski rad, 2016
26. Hai-JongKang i sur.; Estimation of future outflow sand infrastructure needed to recycle personal computer systems in California; Journal of Hazardous Materials B137 (2006) 1165-1174
27. Izvješće o električnom i elektroničkom otpadu za 2011.godinu (25-12-2575/36); Agencija za zaštitu okoliša
28. Flat Panel Displays: End of Life Management Report, Final Report; King County Solid Waste Division, Seattle, 2008.