

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

STRUČNI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

DIJANA MIROSLAV

SADRŽAJ METALA U PODZEMNIM VODAMA NA
ODLAGALIŠTIMA NEOPASNOG OTPADA

ZAVRŠNI RAD

ČAKOVEC, 2016.

MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

ODRŽIVI RAZVOJ

DIJANA MIROSLAV

SADRŽAJ METALA U PODZEMNIM VODAMA NA
ODLAGALIŠTIMA NEOPASNOG OTPADA

METAL CONTENT IN UNDERGROUND WATER ON
NONHAZARDOUS WASTE DISPOSALS

ZAVRŠNI RAD

Mentor:
dr.sc. Silvija Zeman, pred.

ČAKOVEC, 2016.

Zahvaljujem se svojoj mentorici dr.sc. Silviji Zeman, koja mi je svojom stručnošću pomogla u izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem se djelatnicama Bioinstituta d.o.o. na ustupljenim podacima korištenim u ovom završnom radu.

Također se zahvaljujem svim svojim prijateljicama i prijateljima koji su uvijek bili uz mene i pomogli kada je to bilo najpotrebnije.

Posebno zahvaljujem svojoj obitelji. Veliko hvala suprugu Mirku i sinu Svenu na potpori i nesebičnoj pomoći. Hvala unuku Janu koji me je uveseljavao kada je sve izgledalo kao "nemoguća misija".

Hvala Damiri koja me nagovorila na ovo prekrasno "putovanje" i svima koji su bili dio ove lijepe priče.

Sažetak: U ovom radu će se istraživati teški metali u podzemnim vodama na odlagalištima neopasnog otpada. Biti će opisani: živa, olovo, kadmij, krom i cink, te načini njihovog ulaska u okoliš i njihovo djelovanje na čovjeka i ekosustav. Pravu prijetnju za čovjeka i sve sastavnice okoliša danas predstavljaju neuređena odlagališta otpada. Na neuređenim odlagalištima otpada postoji stalna opasnost od prodiranja procjedne vode u dublje slojeve i mogućnosti onečišćenja podzemnih voda teškim metalima. Teški metali predstavljaju stalnu opasnost za ljude, imaju sposobnost bioakumulacije kroz hranidbeni lanac i štetno djeluju na ekosustav. Zbog prevencije i pravovremenog djelovanja potrebno je stalno praćenje istih, kako ne bi došlo do prekoračenja maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK), te se na taj način ugrozilo zdravlje ljudi i okoliša. Odlagališta otpada trebaju postati objekti za sigurno i kontrolirano odlaganje otpada, a to se može postići jedino njihovom pravilnom izgradnjom. Zbog navedenoga će u radu biti kratko prikazani najvažniji elementi uređenih odlagališta otpada. Na konkretnom primjeru odlagališta neopasnog otpada Totovec biti će provedeno istraživanje na trenutnim uzorcima podzemne vode. Analizu podzemne vode izradio je akreditirani laboratorij Bioinstitut d.o.o. iz Čakovca.

Ključne riječi: bioakumulacija, odlagalište otpada, piezometar, podzemne vode, teški metali

SADRŽAJ	
1. UVOD	7
2. OPĆENITO O OTPADU I ODLAGALIŠTIMA OTPADA	8
2.1. Otpad.....	8
2.2. Gospodarenje otpadom.....	9
2.3. Odlagalište otpada.....	10
2.3.1. Brtveni sustavi.....	13
2.3.2. Sustavi za prikupljanje i odvođenje procjedne vode	15
2.3.3. Podzemne vode	16
3. CILJ RADA	17
4. MATERIJALI I METODE.....	19
4.1. Živa (Hg)	21
4.2. Olovo (Pb)	22
4.3. Kadmij (Cd).....	23
4.4. Krom (Cr)	24
4.5. Cink (Zn)	24
5. REZULTATI.....	25
5.1. Specifična onečišćujuća tvar – živa ($\mu\text{g Zn/l}$)	26
5.1.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58	27
5.1.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62	28
5.1.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63	29
5.1.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64	30
5.2. Specifična onečišćujuća tvar – olovo ($\mu\text{g Pb/l}$)	31
5.2.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58	31
5.2.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62	32

5.2.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63	33
5.2.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64	34
5.3. Specifična onečišćujuća tvar – kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$)	35
5.3.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58	35
5.3.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62	36
5.3.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63	37
5.3.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64	38
5.4. Specifična onečišćujuća tvar – Krom ($\mu\text{g Cr/l}$)	39
5.4.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58	39
5.4.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62	40
5.4.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63	41
5.4.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64	42
5.5. Specifična onečišćujuća tvar – cink (mg Zn/l)	43
5.5.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58	43
5.5.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62	44
5.5.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63	45
5.5.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64	46
6. RASPRAVA	47
6.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58.....	47
6.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62.....	47
6.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63.....	48
6.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64.....	49
7. ZAKLJUČCI	51
8. LITERATURA.....	
PRILOZI	

1. UVOD

U ovom radu će biti obrađena odlagališta neopasnog otpada i njihov utjecaj na podzemne vode, tj. sadržaj teških metala u podzemnim vodama.

Kako bismo što bolje shvatili problematiku vezanu za otpad, gospodarenje otpadom i odlagališta otpada te njihovu uzročnu – posljedičnu povezanost s podzemnim vodama, u radu će biti iznesene njihove osnovne značajke, kao i važnost pravilne sanacije i monitoringa na neuređenim odlagalištima neopasnog otpada. Samo pravilnim gospodarenjem otpadom moguće je rizike od onečišćenja / zagađenja podzemnih voda svesti na najmanju moguću mjeru, te na taj način zaštititi podzemne vode koje su najznačajniji izvor pitke vode i od strateške su važnosti za Republiku Hrvatsku.

U radu će biti prezentirano istraživanje teških metala kao specifičnih onečišćujućih tvari u podzemnim vodama. Praćeni su rezultati analize podzemne vode na četiri točke uzorkovanja. Odabrane specifične onečišćujuće tvari koje su praćene su: živa, olovo, kadmij, krom i cink. Opisane su njihove karakteristike, najčešći načini njihovog dospijevanja u okoliš i na odlagališta neopasnog otpada te njihovi štetni utjecaji na čovjeka i ekosustav.

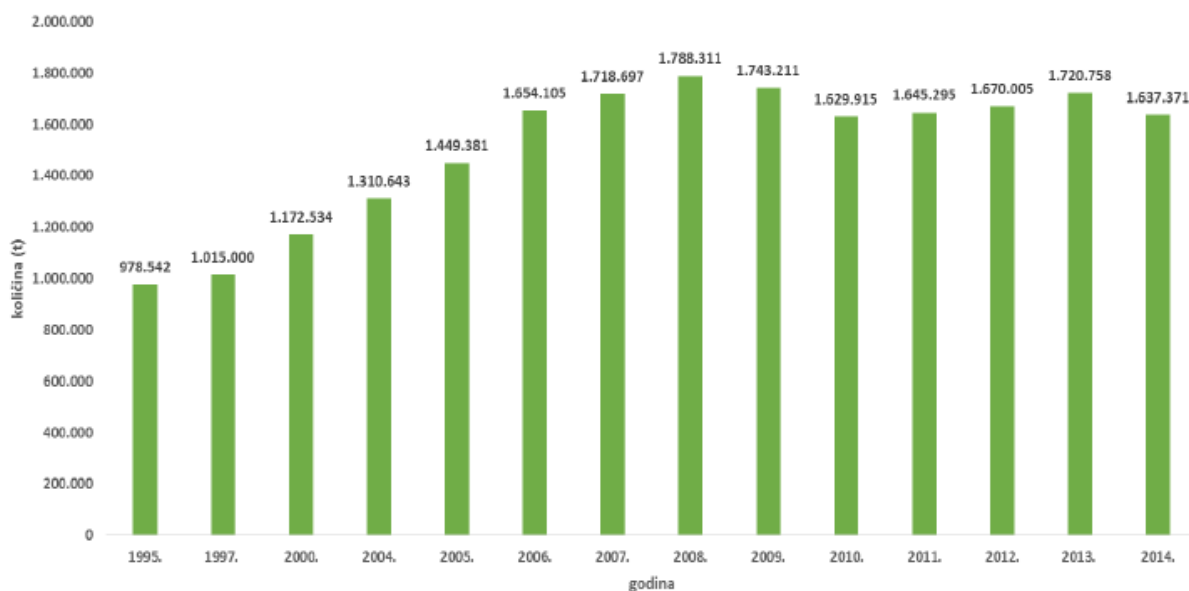
Istraživanje je provedeno na konkretnom primjeru odlagališta neopasnog otpada Totovec koje se nalazi u blizini grada Čakovca u Međimurskoj županiji, a period istraživanja pokriva razdoblje od 2011. godine do 2014. godine.

2. OPĆENITO O OTPADU I ODLAGALIŠTIMA OTPADA

Povećanjem broja stanovnika, razvojem industrije i rastom standarda življenja neizbježno je došlo i do povećanja konzumerizma, te se svakim danom u svijetu povećava i ukupna količina otpada. Prema Zakonu o otpadu Republike Hrvatske (NN 151/03) *otpadom se smatraju sve tvari ili predmeti koje čovjek odbacuje, namjerava ili mora odbaciti* [1]. Takav trend stalnog povećanja otpada doveo je do negativnih utjecaja na okoliš te uzrokuje onečišćenje / zagađenje vode, tla i zraka i predstavlja stalnu opasnost za ljudsko zdravlje i sveukupni ekološki sustav. Kako bismo sačuvali sve sastavnice okoliša potrebno je otpad pravilno odložiti na uređena odlagališta otpada.

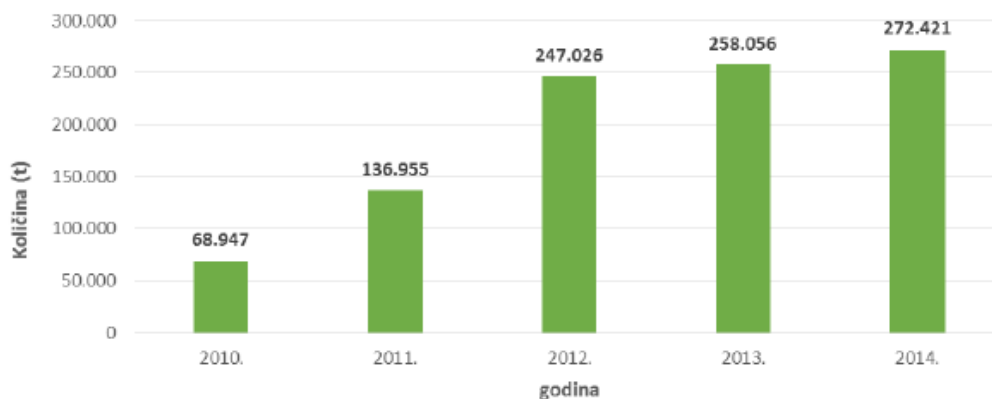
2.1. Otpad

Prema Izvješću o komunalnom otpadu za 2014. godinu u Republici Hrvatskoj ukupno je proizvedeno 1.637.371 t komunalnog otpada. Godišnja količina komunalnog otpada po stanovniku iznosila je 382 kg, tj. dnevna količina proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku iznosila je 1,04 kg. U odnosu na 2013. godinu zabilježen je pad količina od 4,8%, što je vidljivo na slici 1. [2].



Slika 1. Količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada u RH [2]

Stopa uporabe komunalnog otpada u 2014. godini iznosila je 17%, što je vidljivo na slici 2. [2].



Slika 2. Količine komunalnog otpada upućenog na uporabu u razdoblju od 2010. do 2014., RH [2]

Najveće stope uporabe komunalnog otpada sakupljenog u organizaciji jedinice lokalne samouprave (JLS) zabilježene su u Međimurskoj županiji (36%), a najmanje u Splitsko-dalmatinskoj županiji (1,8%) [2].

Iz navedenog je vidljivo kako je i dalje u Republici Hrvatskoj najviše zastupljeno zbrinjavanje komunalnog otpada odlaganjem (slike 1. i 2.). Pretpostavka je da će se postupnim oživljavanjem gospodarstva te količine povećati.

2.2. Gospodarenje otpadom

Sukladno Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13), gospodarenje otpadom potrebno je provoditi na način koji ne dovodi u opasnost ljudsko zdravlje i koji ne dovodi do štetnih utjecaja na okoliš, a osobito je naglasak stavljen na rizik od onečišćenja mora, voda, tla i zraka te ugrožavanja biološke raznolikosti [3].

Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) utvrđen je sustav gospodarenja otpadom uključujući red prvenstva gospodarenja otpadom i to ovim redoslijedom:

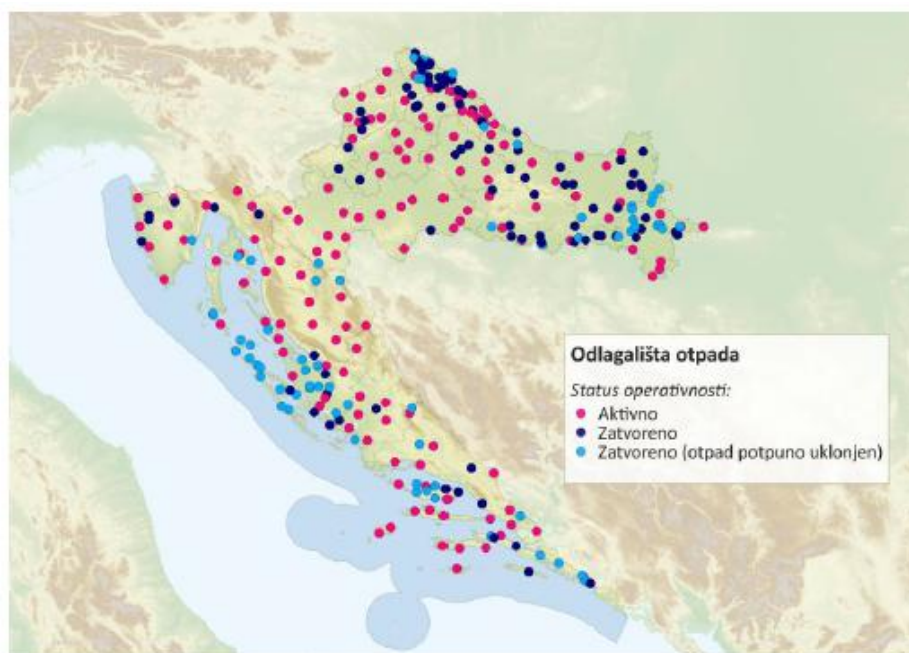
- sprječavanje nastanka otpada
- priprema za ponovnu uporabu
- recikliranje

- drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba i
- zadnji postupak je zbrinjavanje, koji uključuje i odlaganje otpada što je ujedno i najmanje poželjan postupak gospodarenja otpadom [3].

2.3. Odlagalište otpada

Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) *odlagalište otpada je građevina namijenjena odlaganju otpada, na površinu ili pod zemlju* [3].

U Hrvatskoj je evidentirano ukupno 310 lokacija odlagališta otpada. Prema službenim podacima Agencije za zaštitu okoliša (AZO), početkom 2015. godine aktivno je bilo 141 odlagalište. Na 132 odlagališta se odlagao komunalni otpad, od čega se na 74 lokacije uz komunalni odlagao i proizvodni otpad, dok se na 9 lokacija isključivo odlagao proizvodni otpad. Do kraja 2014. godine zatvoreno je 169 odlagališta, dok na 71 lokaciji više nema otpada. Do kraja iste (2014.) godine sanirano je 126 odlagališta, a u tijeku ili pripremi je sanacija na 113 lokacija što je vidljivo na slici 3. [4].

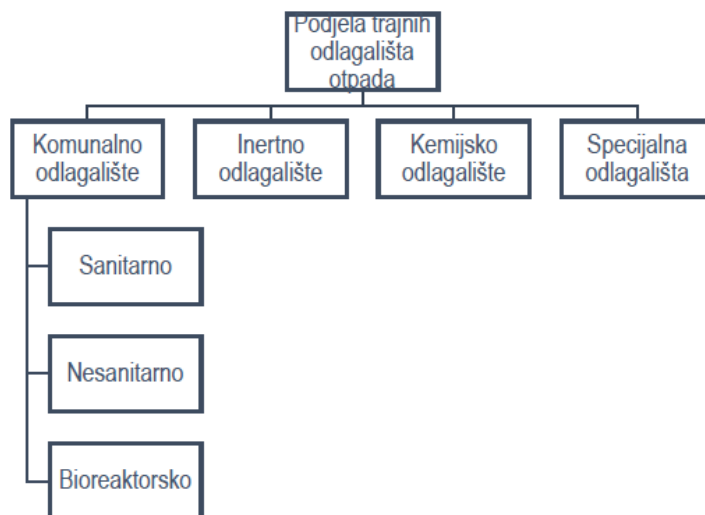


Slika 3. Prikaz odlagališta otpada u RH prema statusu operativnosti u 2015. godini [4]

U današnjoj terminologiji susrećemo izraze interno i trajno odlagalište. Na interno odlagalište proizvođač odlaže otpad na samom mjestu nastanka, dok se na trajno

odlagalište otpada otpad odlaže na duže vrijeme. Shematski prikaz trajnih odlagališta otpada vidljiv je na slici 4.

U ovom radu veća pažnja će biti posvećena odlagalištima komunalnog neopasnog otpada. Takva odlagališta dijelimo na uređena (sanitarna) i neuređena (nesanitarna) odlagališta. Razlika između sanitarnog i nesanitarnog odlagališta je u kvaliteti njihove izgradnje [5].



Slika 4. Shematski prikaz trajnih odlagališta otpada [6]

Sanitarna odlagališta su građevine koje su izgrađene u skladu s važećim propisima i posjeduju sve potrebne dozvole za rad. Za razliku od njih, nesanitarna odlagališta ne posjeduju propisane dozvole i nisu izvedena prema važećim propisima. Nesanitarna odlagališta predstavljaju prijetnju za čovjeka i njegov okoliš, te je na njima prisutna stalna opasnost od prodiranja procjedne vode u podzemne dijelove što direktno ugrožava podzemne vode koje su glavni vodonosnici i predstavljaju glavne zalihe pitke vode. Takva je odlagališta potrebno sanirati, kako bi se minimalizirali svi negativni utjecaji koje odlagalište stvara na okoliš.

Prije izvođenja sanacije neuređenih odlagališta potrebno je izvesti istražne radove te je potrebno odrediti: sastav i volumen otpadnog materijala, obim zagađenja okolnog tla, vrstu i karakteristike zagađivala koje je penetriralo u tlo, karakteristike okolnog tla, itd. Kod sanacije odlagališta razlikuju se dvije metode: sanacija in situ i sanacija ex situ [5].

Kod in situ metode sanacije odlagališta nema fizičkog premještanja otpadnog materijala kao ni materijala okolnog tla, već sav sadržaj biva dobro izoliran i odijeljen od okoline kako ne bi došlo do infiltracije oborinskih voda u tijelo odlagališta i u temeljno tlo, što direktno smanjuje rizik od eventualnog onečišćenja okoliša. Prednosti takve sanacije su: sprečavanje onečišćenja okolnog okoliša otpadom, nema troškova iskopa i transporta materijala, lokacija ostaje ista te se na nju i dalje može odlagati otpad do njegove potpune sanacije. Sve navedeno znatno pojeftinjuje takvu sanaciju. Glavni nedostatak takve sanacije je što je izvedba temeljnog brtvenog sustava uvijek upitne kvalitete [5].

Kod ex situ sanacije se potpuno premješta otpad i onečišćeno tlo na novu i uređenu lokaciju. Prednosti takve sanacije su: mogućnost iskorištenja sekundarnih sirovina otpadnog materijala, poznati su sastav i količina odloženog materijala, lokacija može biti gotovo potpuno očišćena, temeljni brtveni sustav je siguran i kvalitetan. Kao nedostatak se može istaknuti da je ovo vrlo skup način sanacije [5].

Za odlagalište otpada se općenito može reći da su to nasute građevine na kojima se događaju procesi intenzivne razgradnje što dovodi do stvaranja procjedne vode opterećene tvarima iz procesa razgradnje (eluat/filtrat). Odlagališta otpada trebaju biti objekti koji su izgrađeni i opremljeni za trajno, kontrolirano, organizirano i sigurno odlaganje otpada, a to se postiže odgovarajućom izgradnjom. Najvažniji elementi uređenog odlagališta su: temeljni i pokrovni brtveni sustav, sustav za prikupljanje i odvođenje procjedne vode, sustav za otplinjavanje, te je bitno da imaju najvažniju ulogu pri zaštiti podzemnih voda [5]. Na slici 5. je prikazan presjek uređenog odlagališta otpada.



Slika 5. Presjek uređenog odlagališta otpada [7]

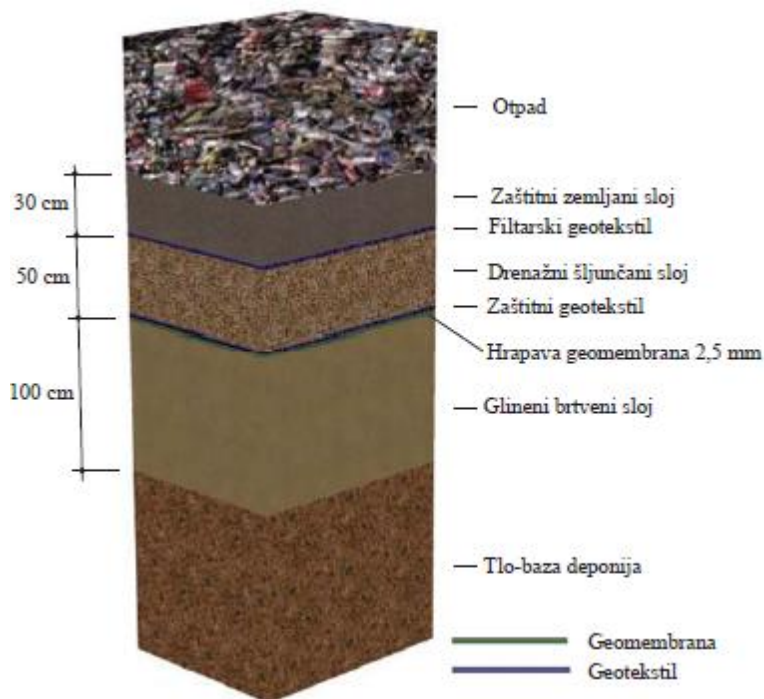
Legenda:

- 1 – otpad
- 2 – temeljni brtveni sustav
- 3 – pokrovni brtveni sustav
- 4 – međuetazni sloj
- 5 – bočni (temeljni) brtveni sustav
- 6 – cijev za evakuaciju plina
- 7 – odvodni jarak

2.3.1. Brtveni sustavi

Za brtvene sustave možemo reći da predstavljaju specijalne izolacijske pregrade. Osnovna zadaća im je onemogućiti kontakt tijela odlagališta s površinskim i podzemnim vodama, spriječiti nekontrolirano otjecanje procjednih voda u okoliš i prikupljanje površinskih voda koje nisu kontaminirane otpadom. Voda koja dospije u tijelo odlagališta postaje kontaminirana tvarima eluiranim iz otpada, stoga je važno zaustaviti procjeđivanje vode s površine u tijelo odlagališta i na taj način smanjiti rizik od zagađenja podzemnih voda [7].

Kod brtvenih sustava razlikujemo temeljni i pokrovni brtveni sustav. Temeljni brtveni sustav onemogućuje kontakt između odlagališta otpada i prirodnog tla. Ako se temeljni brtveni sloj gradi od gline, mora biti najmanje metar debljine i isto toliko iznad najviše razine podzemne vode. Slojevi temeljnog brtvenog sustava vidljivi su na slici 6.



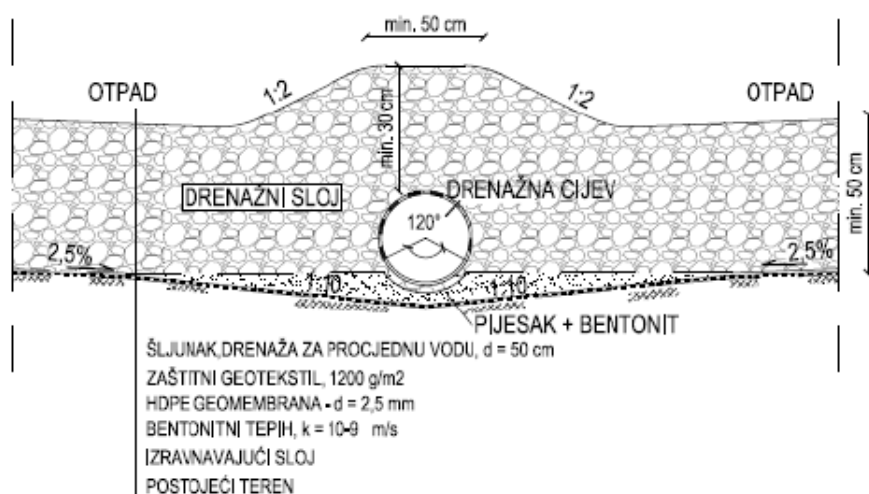
Slika 6. Temeljni brtveni sustav [7]

Pokrovni brtveni sustavi pokrivaju otpad i onemogućuju prodiranje oborinskih voda u tijelo odlagališta [7,8].

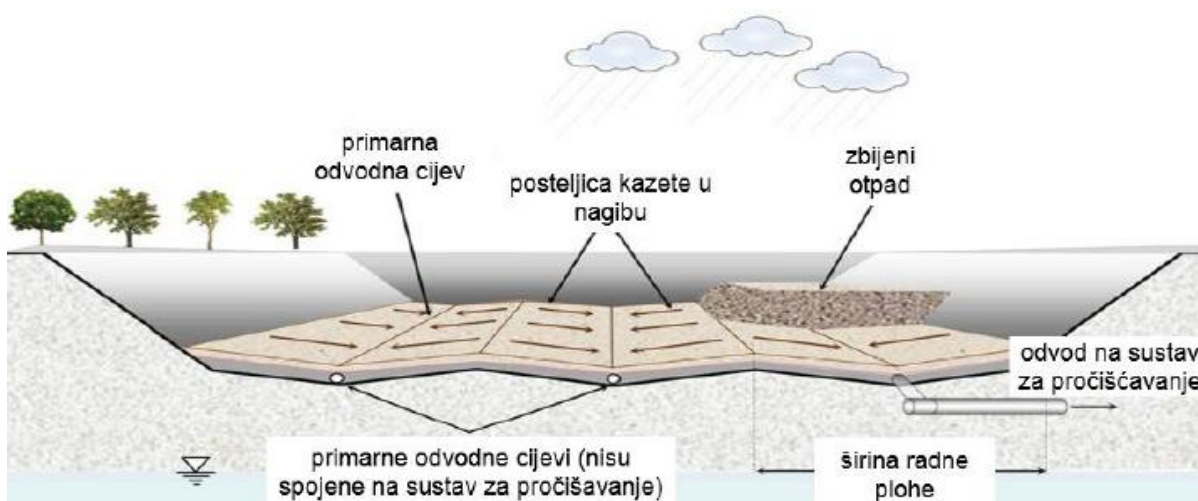
Temeljni i pokrovni brtveni sustavi se sastoje od nepropusnih i propusnih brtvenih slojeva. Nepropusni brtveni slojevi moraju onemogućiti prodiranje oborinskih i drugih voda u tijelo odlagališta i spriječiti širenje filtrata u okoliš, dok propusni brtveni slojevi moraju omogućiti odvodnju filtrata (temeljni brtveni sustav) i odvodnju procjedne vode i plinova (pokrovni brtveni sustav). Za izradu brtvenih slojeva najčešće se koriste: nepropusni prirodni materijali (glina), propusni prirodni materijali (šljunak, pijesak), geosintetici (geomembrana, geomreže, geotekstil, i dr.) [7,8].

2.3.2. Sustav za prikupljanje i odvođenje procjedne vode

Na uređenom odlagalištu otpada mora biti osigurano odvođenje filtrata i procjednih voda. Kako bi se to postiglo potrebno je na temeljnom brtvenom sustavu napraviti drenažu od šljunka te na dno postaviti mrežu perforiranih plastičnih cijevi koje će skupljati procjednu tekućinu. Cijevi se na podlozi postavljaju bočno i u padu te vode do glavne cijevi koja filtrat i procjedne tekućine izvodi van u sabirne jame ili bazene [8]. Detalj drenaže i presjek kroz sustav za prikupljanje procjednih voda vidljivi su na slici 7 i 8.



Slika 7. Detalj drenaže [6]



Slika 8. Poprečni presjek kroz sustav za prikupljanje procjednih voda [6]

2.3.3. Podzemne vode

Podzemne vode su najznačajniji izvori pitke vode i od strateške su važnosti za Republiku Hrvatsku. Kako bismo osigurali kakvoću i ispravnost podzemne vode potrebno je kontinuirano provoditi monitoring na odlagalištima otpada koji mora uključiti uzorkovanje vode i analitičke metode koje će pouzdano mjeriti određene sastojke. Jedna od analitičkih metoda kojom se utvrđuje koncentracija metala u vodi je atomska apsorpcijska spektrometrija, a vrijednosti se izražavaju u mg/l ili µg/l.

Ispitivanje je potrebno provesti na samom odlagalištu otpada, ali i u gornjem i donjem toku podzemne vode. U tu svrhu potrebno je locirati i kontrolne točke – piezometre. Potrebno je postaviti najmanje jedan piezometar uzvodno i dva nizvodno od odlagališta otpada. U slučaju kada podzemna voda u dolaznom toku nije onečišćena, a u silaznom je, razlog onečišćenja, gotovo sigurno je odlagalište otpada [5, 9].

3. CILJ RADA

Cilj ovog rada je istraživanje metala u podzemnim vodama na odlagalištima neopasnog otpada. U radu će biti prikazana svojstva određenih teških metala koji će biti praćeni i analizirani, te njihov utjecaj na podzemne vode i njihovu štetnost na ljude i ekosustav.

Istraživanje će biti provedeno na konkretnom primjeru odlagališta neopasnog otpada Totovec, na lokaciji Gložđe, Čakovec. Za analizu i statističku obradu poslužit će rezultati analize podzemne vode koju je izradio akreditirani laboratorij Bioinstitut d.o.o. iz Čakovca [10], sukladno Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 62/13) [11].

Odlagalište otpada Totovec nalazi se 5 km južno od grada Čakovca u Međimurskoj županiji te posjeduje potrebnu dokumentaciju za odlaganje neopasnog otpada. Ukupni kapacitet odlagališta otpada Totovec je 350.000,00 m³ otpada, tj. oko 175.000 t neopasnog otpada [12].

Na odlagalište se otpad počeo odlagati 1994. godine u napušteno eksploatacijsko polje šljunka na koti terena od 157.00 m.n.m., dok je maksimalni nivo podzemne vode na koti 157.50 m.n.m. To je područje Dravske nizine s vrlo dobrom izdašnošću podzemne vode ($Q > 10$ l/s). Vodonosnik je vrlo propustan zbog šljunkovitih naslaga, tako da se podzemne vode prihranjuju iz rijeke Drave te procjeđivanjem oborina i površinskih voda kroz tanku polupropusnu krovinu. Na širem području odlagališta nalaze se i dva vodocrpilišta (Nedelišće i Prelog). Zbog karaktera područja potrebno je sustavno provoditi monitoring. Monitoring podzemnih voda provodi se piezometrima s lokacije odlagališta otpada [12].

Tijekom 2002. g. proveden je postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš i izrađena Studija o utjecaju na okoliš sa sadržajem sanacije i konačnog zatvaranja odlagališta otpada Totovec s rokom korištenja od 8 godina. U tijeku je postupak sanacije odlagališta koja je započela 2005. godine. Radovi sanacije obuhvaćaju izgradnju temeljnog i prekrivnog brtvenog sustava, odvojenih sustava za skupljanje oborinskih i procjednih voda, sustava za otplinjavanje i reciklažnih dvorišta za građevni i ostali otpad. Nakon zatvaranja odlagališta, u upotrebi će ostati reciklažna dvorišta komunalnog i građevinskog otpada. Na mjestu reciklažnog dvorišta planira se izgraditi

kompostana. Plan s prikazom predviđenog sadržaja na odlagalištu Totovec vidi se na slici 9.



Slika 9. Plan s prikazom predviđenog sadržaja na odlagalištu Totovec [12]

4. MATERIJALI I METODE

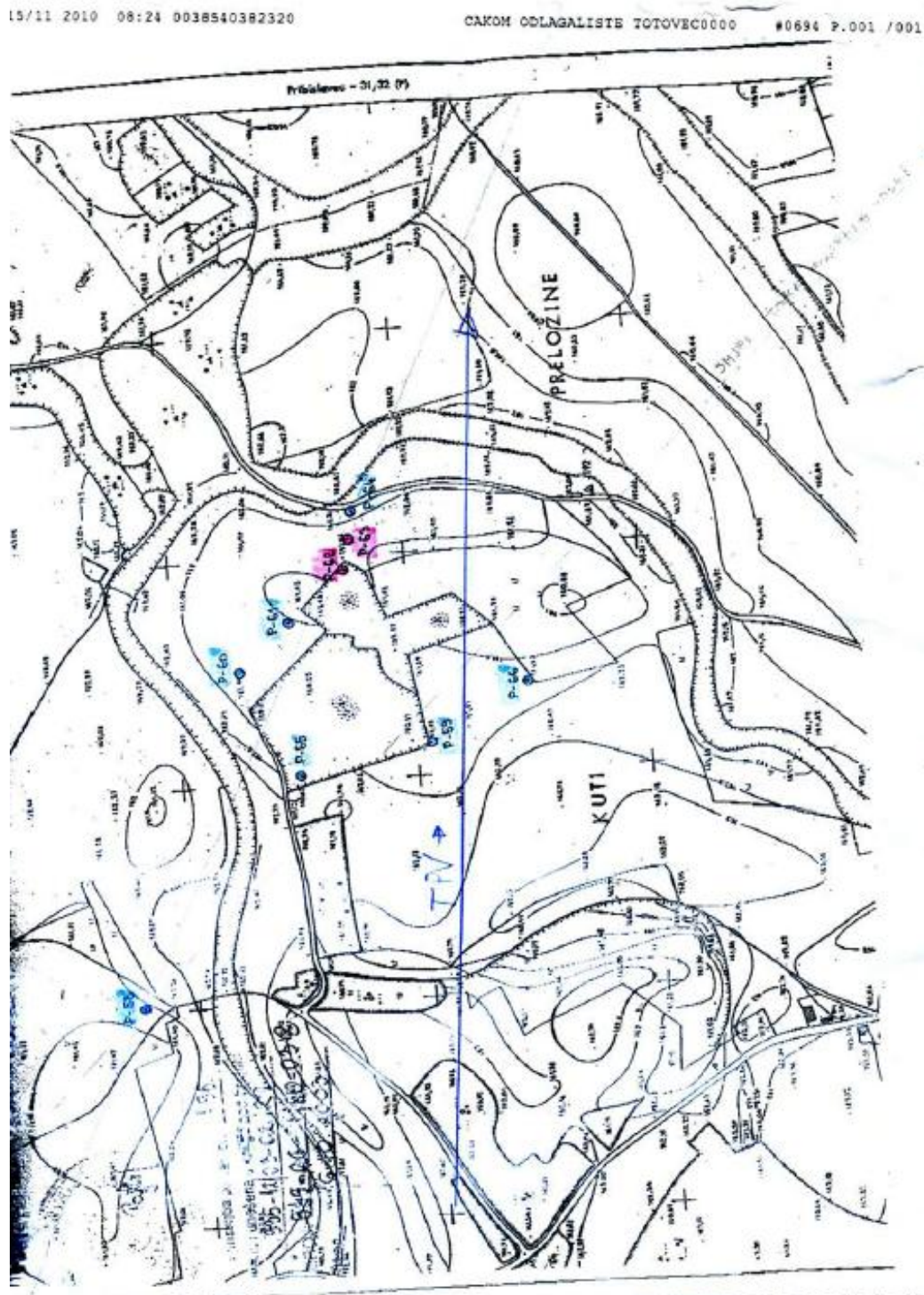
Na odlagalištu neopasnog otpada Totovec ovlaštenu laboratoriju Bioinstitut d.o.o. iz Čakovca vrši ispitivanja podzemnih voda na trenutnim uzorcima. Rezultati analize podzemnih voda sastoje se od analitičkog broja, točke uzorkovanja (piezometar) i nivoa vode u piezometru, a pratit će se kemijski pokazatelji kakvoće podzemne vode.

Ispitivanje se provodi na četiri piezometra (uzvodno P-58 i nizvodno P-62, P-63, P-64), dva puta godišnje i to u vrijeme sušnog i kišnog razdoblja. Situacijski plan položaja piezometara prikazan je na slici 10.

Odabrani kemijski pokazatelji za četiri točke promatranja su:

- živa ($\mu\text{g Hg/l}$),
- olovo ($\mu\text{g Pb/l}$),
- kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$),
- krom ($\mu\text{g Cr/l}$),
- cink (mg Zn/l).

Odabrani kemijski pokazatelji bit će promatrani u vremenskom razdoblju od 2011. godine do 2014. godine.



Slika 10. Situacijski plan položaja piezometara [13]

Metali spadaju u skupinu anorganskih tvari koje mogu onečistiti okoliš, a tu se prvenstveno misli na teške metale (živa, olovo, kadmij, krom, cink, nikal i dr.). U okoliš mogu dospjeti prirodnim putem, ali danas sve češće dopijevaju u okoliš kao onečišćujuće tvari emisijama iz antropogenih izvora (metalska industrija, odlagališta otpada i dr.).

Jedna od značajnih karakteristika teških metala je mogućnost akumuliranja u biološkim sustavima (bioakumulacija). Na taj način ulaze u hranidbeni lanac i štetno djeluju na cijeli ekosustav te su vrlo toksični. Metali uneseni u okoliš putuju vodom i zrakom te se transportiraju u dublje slojeve tla i podzemne vode. Njih nalazimo i u prirodi kao sastavni dio naše planete i kao takvi nisu opasni za okoliš i ljudsko zdravlje [14].

4.1. Živa (Hg)

Živa spada u skupinu teških metala. Elementarna živa kao i njezini spojevi su vrlo toksični za životinje i čovjeka. U vodi se može pretvoriti u najtoksičniji oblik, metilživu. To je osnovni oblik žive u okolišu te se nakuplja u životinjskom i ljudskom organizmu. Ulazi u hranidbeni lanac i kruži biosferom. Prvi podatak o trovanju živom potječe još iz 1. stoljeća prije Krista (Plinijev zapis o bolesti u rudnicima žive). [15]

U okoliš dopijeva prirodnim putem i antropogeno, a najčešće su emisije u okoliš iz antropogenih izvora. Jedan od najznačajnijih je proizvodnja cementa, kemijska industrija i izgaranje fosilnih goriva. Kad se jednom unese u okoliš zbog sposobnosti bioakumulacije u ekosustavima ima negativne učinke na ljudsko zdravlje i cjelokupni okoliš kroz vrlo dugo vremensko razdoblje. Jedna od najvećih ekoloških katastrofa zabilježena je u zaljevu Minamata u Japanu ("Minamata sindrom"), gdje su iz tvornice za proizvodnju polivinilklorida (PVC) u more ispuštene neobrađene industrijske otpadne vode. Kroz tridesetak godina u more je ispušteno oko 27 tona žive. Spojevi metilžive akumulirali su se u ribi, te su konzumacijom ribe dospjeli u ljudski organizam. Tvornica je zatvorena 1969. godine, a zabilježeno je 2300 žrtava od kojih je 1400 umrlo [14]. Tek je prije dvadesetak godina more u zaljevu proglašeno čistim. Sličan primjer dogodio se u Hrvatskoj u Kaštel Sućurcu, također pri proizvodnji polivinilklorida u tvornici "Jugovinil", gdje se živa taložila u Kaštelanskom zaljevu. Tvornica je zatvorena sredinom devedesetih godina.

Živa na čovjeka djeluje neurotoksično (oštećuje središnji živčani sustav), kancerogena je, mutagena, teratogena [15].

Živa kao onečišćivač u okoliš najčešće dolazi zbog nepravilno odloženog materijala koji u sebi sadri živu. To su najčešće stari termometri, tlakomjeri, barometri, živini strujni prekidači, fluorescentne žarulje, amalgamske plombe u zubima i dr. [16].

Drugo najveće područje primjene žive u EU su amalgamske plombe u zubima, koje predstavljaju procijenjeni potencijal onečišćenja od cca 75 t žive godišnje [16].

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK) žive u vodi su do 1 µg/l [17]. Bioinstitut d.o.o. u svom ispitivanju žive koristi normu HRN EN 1483:2008, atomsku apsorpcijsku spektrometriju [10].

4.2. Olovo (Pb)

Olovo je jedan od najraširenijih teških metala u okolišu, te se dobro imobilizira u tlu i u vodi. U primjeni je već preko 8500 godina (Anadolija, Turska), a neka od prvih trovanja zabilježena su još u rimsko doba. Toksični utjecaj olova se nastavio kroz povijest, te se smatra da je Beethoven umro od olova iz premaza glinenih čaša kojima se služio [18].

Danas se olovo primjenjuje u proizvodnji baterija i akumulatora, u proizvodnji konzervi za hranu, u izradi električnih krugova i spojeva (brzo i lako se tali), zatim u bojama (ima vrlo dobru pokrivnu moć), u pogonskom gorivu za poboljšanje učinkovitosti, u zaštiti od radijacije, ima ga i u monitorima [19], služi kao antikorozivno sredstvo.

Njegova emisija u okoliš potječe uglavnom iz antropogenih izvora. Čestice olova se mogu prenositi i vjetrom, pa ga možemo naći i u ruralnim sredinama gdje nije razvijena industrija i promet.

Olovo pripada kategoriji ekotoksičnih metala, postojan je te se tijekom godina akumulira u organizmu. Opasan je za ljude, a isto tako za biljni i životinjski svijet. Dugotrajna izloženost niskim koncentracijama olova kod ljudi izaziva tipično kronično trovanje, a do prvih simptoma može doći poslije nekoliko mjeseci ili godina. Olovo kod ljudi može izazvati oštećenje jetra, pluća, živčanog sustava, krvožilnog sustava, bubrega i reproduktivnih organa [14].

Na odlagalištima otpada se može naći kao otpad iz građevinarstva (instalacijske olovne cijevi koje su se nekad koristile), a isto tako kao i odbačeni predmeti (monitori, akumulatori, konzerve i dr.).

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK olova u vodi su do 10 µg/l [17]. Bioinstitut d.o.o. u svom ispitivanju olova koristi normu HRN EN ISO 15586:2008, grafitnu atomsku spektrometriju, odnosno grafitnu metodu [10].

Atomska spektrometrija se primjenjuje za kvalitativnu, kvantitativnu ili strukturnu analizu metala i metaloida od glavnog sastojka do razine tragova. Najčešće se upotrebljava u analitičke svrhe [20].

4.3. Kadmij (Cd)

Kadmij isto kao i olovo pripada grupi teških metala, te je ekotoksičan. Veliku primjenu je imao u industriji, ali zbog njegove toksičnosti pokušavaju se pronaći druga alternativna rješenja koja bi ga zamijenila. Još su ga prije 150 godina koristili slikari u slikarstvu kao pigment za žutu boju, tako je kadmijevo žutilo poslužilo Van Goghu da naslika svoju svjetski poznatu sliku "Suncokreti" te se smatra da je trovanje kadmijem utjecalo na njegovo mentalno zdravlje. Od 1992. godine u EU je zabranjen u brojnim plastičnim proizvodima. Kadmij je i u vrlo malim količinama toksičan, te se zbog toga upotreba kadmija pokušava svesti na najmanju moguću razinu [21].

Njegova emisija u okoliš potječe iz prirodnih i antropogenih izvora. Prirodni su izvori crni škriljavci s morskog dna, a kao antropogene možemo izdvojiti spalionice otpada. U velikoj mjeri opasnost predstavljaju i područja gdje su nekada postojali rudnici olova i cinka te talionice cinka gdje kadmij nastaje kao nusprodukt. Na taj način dospijeva u tlo, a iz tla ga neke biljke upotrebljavaju za svoj rast (uglavnom krmno bilje) [21].

Danas se kadmij upotrebljava u galvanizaciji metala, proizvodnji boja, kemijskoj industriji, metalurgiji, proizvodnji akumulatora, Ni – Cd baterija, služi kao stabilizator plastike te u fosfatnim gnojivima i dr. [21].

Na ljudsko zdravlje djeluje toksično, kancerogeno. Kada uđe u organizam tamo se taloži i štetno djeluje na sve procese u tijelu. Akumulira se u svim dijelovima tijela, a najviše u bubrezima. Štetno djeluje na pluća i urinarne organe [21].

Onečišćenja kadmijem na odlagalištima otpada danas su najčešće povezana s nepravilnim odlaganjem akumulatora, baterija, plastičnim proizvodima i dr.

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK kadmija u vodi su do 5 $\mu\text{g/l}$ [17]. Bioinstitut d.o.o. u svom ispitivanju kadmija koristi istu metodu kao i za olovo, odnosno grafitnu metodu [10].

4.4. Krom (Cr)

Krom je esencijalni mikroelement koji razgrađuje glukozu u krvi sisavaca. Pojavljuje se u spojevima uglavnom kao dvovalentan, trovalentan i šesterovalentan. Od trovalentnog kroma se uglavnom izrađuje posuđe i nije štetan za ljudsko zdravlje. Nije topiv u vodi [15, 22].

Šesterovalentni spojevi kroma topivi su u vodi te su vrlo toksični i kancerogeni. Koriste se u metalurškoj industriji (proizvodnja legura), u industriji kože, kod prerade krzna i vune, u drvenoj industriji (impregnacija drva), avioindustriji, kao pigment za boje, u galvanizaciji (kromiranje). Kod ljudi se pohranjuju u masnom tkivu, a izlučuje se uglavnom bubrezima (mokraća). Dovodi do kožnih, plućnih i bubrežnih bolesti [15].

Onečišćenja kromom na odlagalištima otpada danas su najčešće povezana s pepelom koji se odlaže na odlagališta, koji je nastao kao industrijski otpad.

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za krom u vodi je do 50 $\mu\text{g/l}$ [17]. Bioinstitut d.o.o. u svom ispitivanju kroma koristi se metodom iz norme HRN EN ISO 11885:2010 [10].

4.5. Cink (Zn)

Cink je teški metal, spada u skupinu esencijalnih biogenih elemenata za sve organizme, dok u visokim koncentracijama postaje toksičan [18].

U prošlosti su prva trovanja udisanjem cinkovog oksida (ZnO) zabilježena još 1822. godine trovanjem ljevača cinka u metalurškoj industriji, a bolest je nazvana "ljevačka ili metalna groznica" [15].

Njegove emisije u okoliš danas najčešće potječu iz antropogenih izvora: metalurška industrija, netretirane komunalne vode, pocinčane cijevi i žljebovi, automobilska

industrija, elektronička industrija. Velika primjena cinka je i u proizvodnji baterija [15, 18].

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za cink u vodi je do 3 mg/l [17]. Bioinstitut d.o.o. u svom ispitivanju cinka koristi se istom metodom kao i za krom [10].

5. REZULTATI

Na odlagalištu neopasnog otpada Totovec provodi se praćenje podzemnih voda. Praćenje se provodi na kontrolnim točkama – piezometrima, koji su postavljeni uzvodno (P-58) i nizvodno (P-62, P-63, P-64) od odlagališta. Ispitivanje vrši ovlaštenu laboratoriju Bioinstitut d.o.o. na trenutnim uzorcima podzemne vode, te se mjere vrijednosti teških metala kao specifičnih onečišćujućih tvari. Statistička obrada podataka će pokriti period od 2011. godine do 2014. godine, a ispitivat će se: živa, olovo, kadmij, krom i cink.

Praćene su minimalne, maksimalne i srednje vrijednosti sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) [17].

Dubina uzorkovanja, na piezometru P-58, 2011. godine iznosila je pri 1. mjerenju 3.98 m, a pri 2. mjerenju 4.96 m; 2012. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 4.97 m, a pri 2. mjerenju 5.17 m; 2013. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 3.07 m, a pri 2. mjerenju 4.22 m. 2014. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 3.93 m, a pri 2. mjerenju 3.23 m [10].

Dubina uzorkovanja, na piezometru P-62, 2011. godine iznosila je pri 1. mjerenju 4.64 m, a pri 2. mjerenju 5.76 m; 2012. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 5.46 m, a pri 2. mjerenju 5.52 m; 2013. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 3.56 m, a pri 2. mjerenju 4.70 m; 2014. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 4.22 m, a pri 2. mjerenju 3.66 m [10].

Dubina uzorkovanja, na piezometru P-63, 2011. godine iznosila je pri 1. mjerenju 5.14 m, a pri 2. mjerenju 6.06 m; 2012. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 6.03 m, a pri 2. mjerenju 6.33 m; 2013. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 7.38 m, a pri 2.

mjerenju 5.38 m; 2014. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 4.92 m, a pri 2. mjerenju 4.47 m [10].

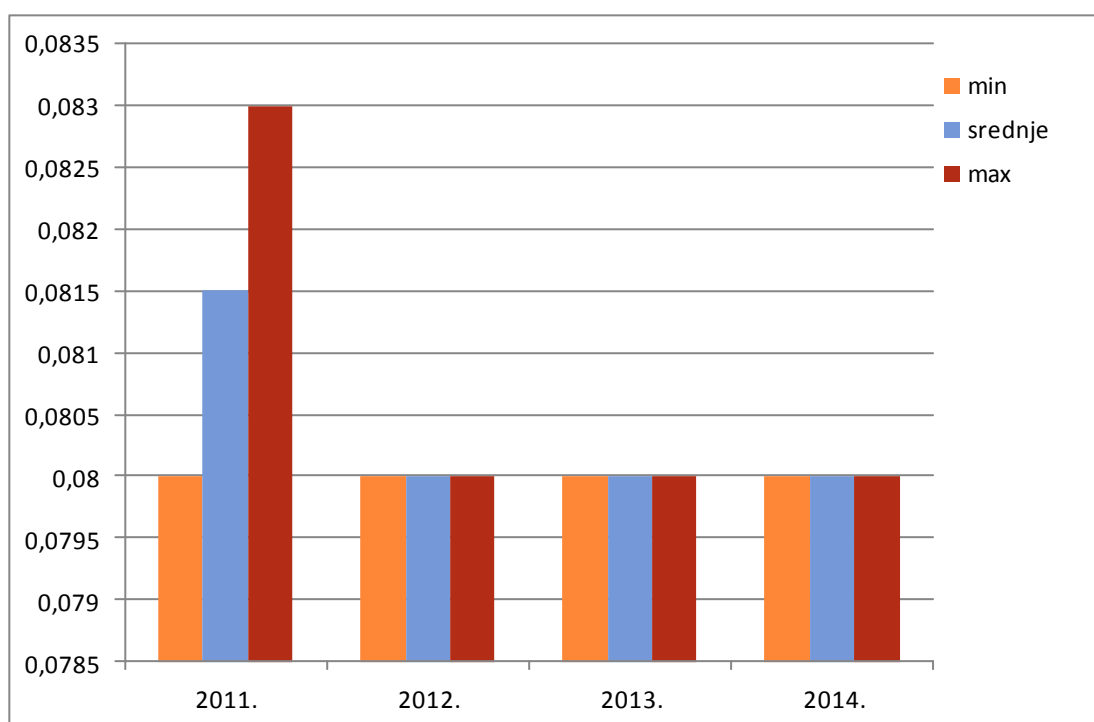
Dubina uzorkovanja, na piezometru P-64, 2011. godine iznosila je pri 1. mjerenju 5.04 m, a pri 2. mjerenju 5.38 m; 2012. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 5.97 m, a pri 2. mjerenju 6.24 m; 2013. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 4.17 m, a pri 2. mjerenju 5.28 m; 2014. godine dubina pri 1. mjerenju iznosila je 3.81 m, a pri 2. mjerenju 4.40 m [10].

5.1. Specifična onečišćujuća tvar – živa ($\mu\text{g Hg/l}$)

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK) za živu u vodi su do 1 $\mu\text{g/l}$ [17].

5.1.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

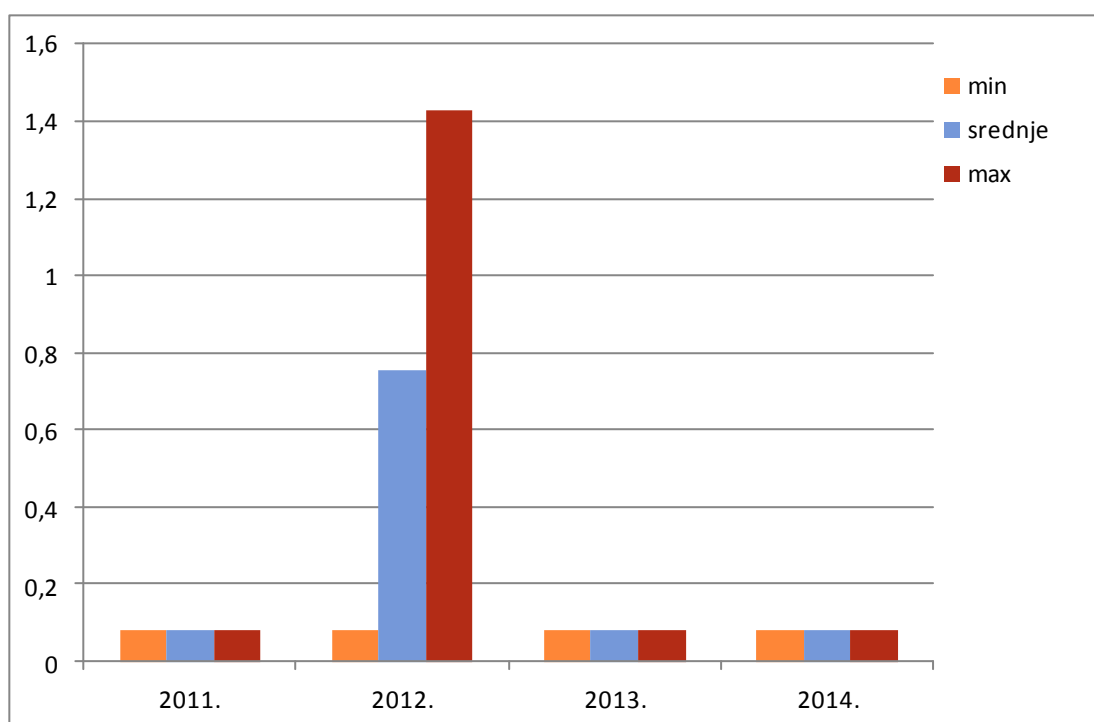
Najmanje koncentracije žive na piezometru P-58 zabilježene su od 2012. godine do 2014. godine i iznosile su 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća koncentracija od 0,083 ($\mu\text{g Hg/l}$) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je u periodu od 2012. godine do 2014. godine i iznosila je 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 0,0815 ($\mu\text{g Hg/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 1.



Graf 1. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.1.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

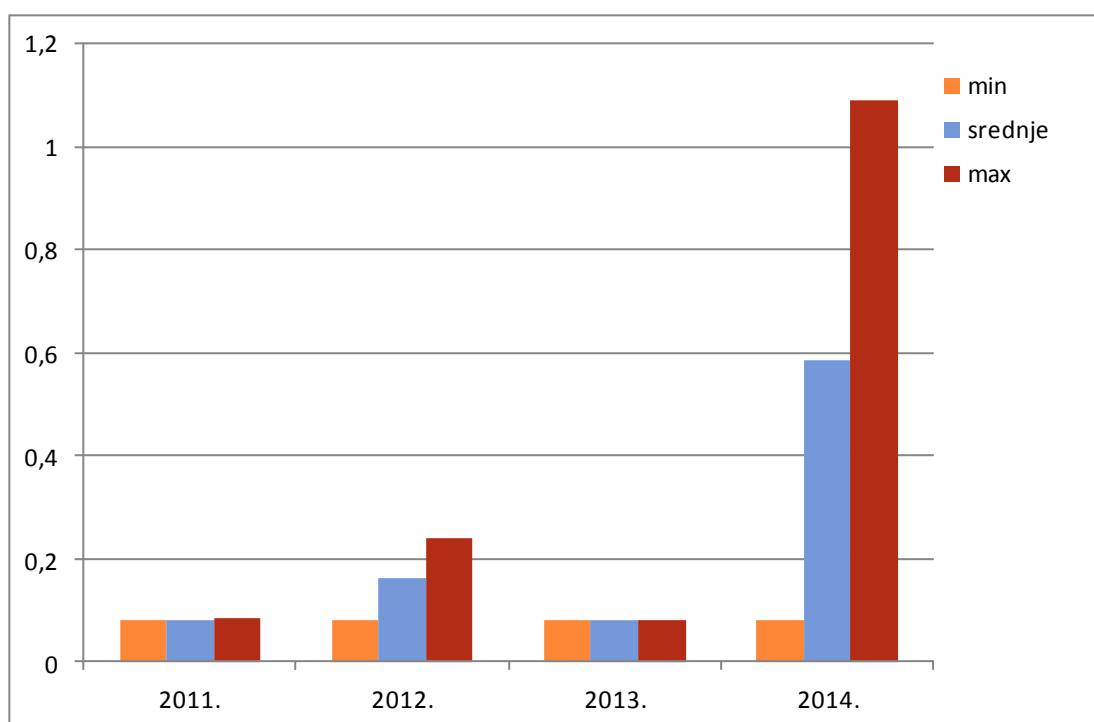
Najmanje koncentracije žive na piezometru P-62 zabilježene su od 2011. godine do 2014. godine i iznosile su 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća koncentracija od 1,43 ($\mu\text{g Hg/l}$) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je u periodu od 2013. godine do 2014. godine i iznosila je 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 0,755 ($\mu\text{g Hg/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 2.



Graf 2. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.1.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

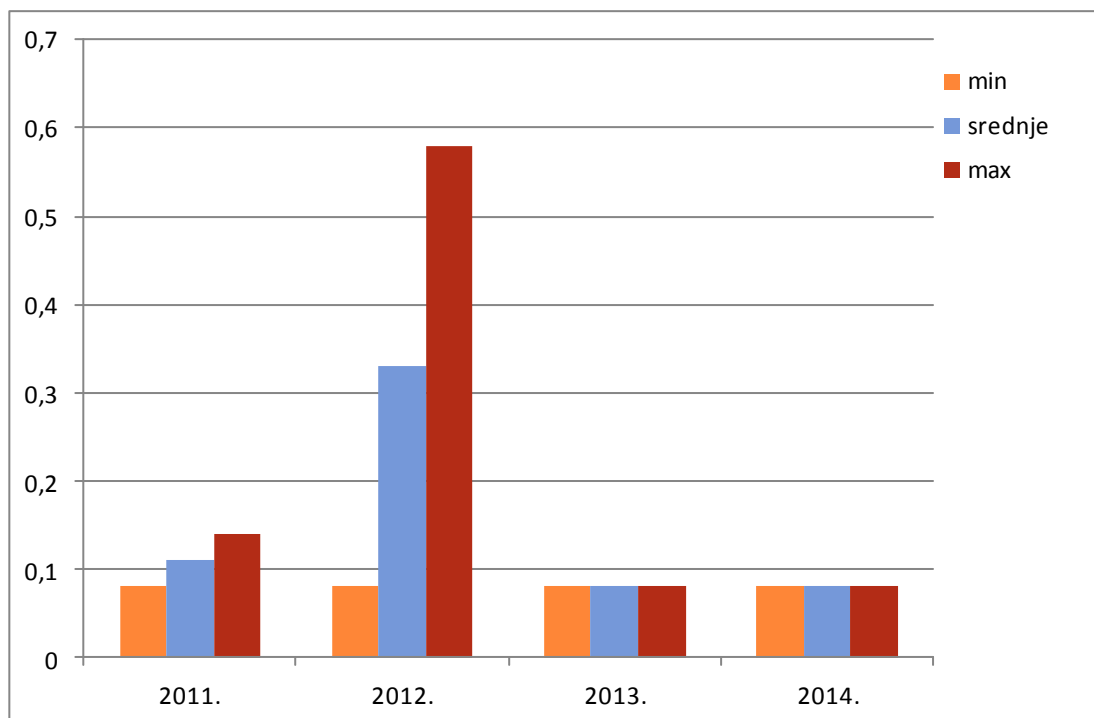
Najmanje koncentracije žive na piezometru P-63 zabilježene su od 2011. godine do 2014. godine te su iznosile 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća koncentracija od 1,09 ($\mu\text{g Hg/l}$) zabilježena 2014. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je u periodu od 2013. godine i iznosila je 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2014. godine i iznosila je 0,585 ($\mu\text{g Hg/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 3.



Graf 3. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.1.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Najmanje koncentracije žive na piezometru P-64 zabilježene su od 2011. godine do 2014. godine te su iznosile 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća koncentracija od 0,58 ($\mu\text{g Hg/l}$) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je u periodu od 2013. godine do 2014. godine i iznosila je 0,08 ($\mu\text{g Hg/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 0,33 ($\mu\text{g Hg/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 4.



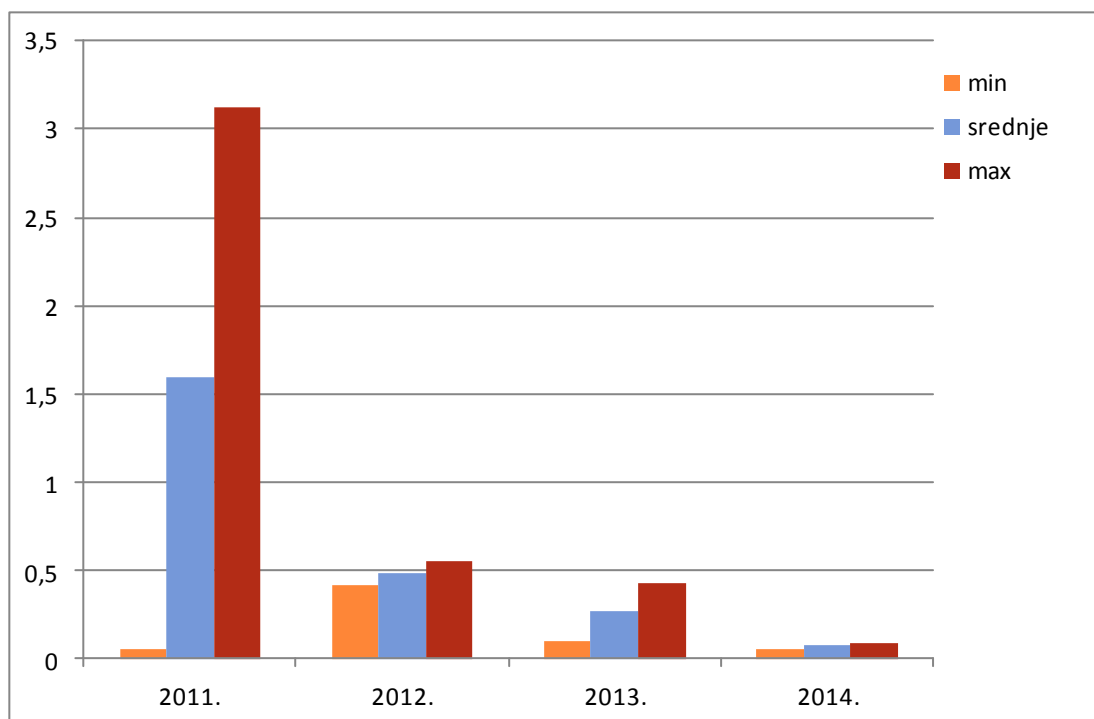
Graf 4. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.2. Specifična onečišćujuća tvar – olovo ($\mu\text{g Pb/l}$)

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za olovo u vodi su do $10 \mu\text{g/l}$ [17].

5.2.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

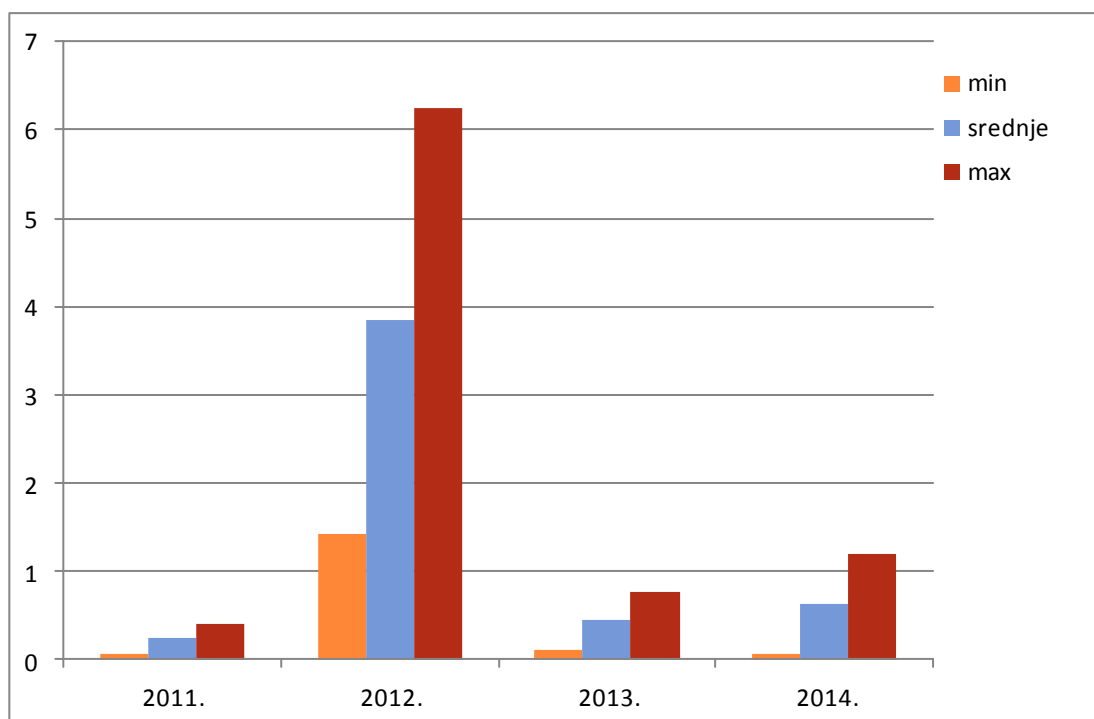
Najmanje koncentracije olova na piezometru P-58 zabilježene su od 2011. i 2014. godine te su iznosile su $0,05 \mu\text{g Pb/l}$, dok je najveća koncentracija od $3,129 \mu\text{g Pb/l}$ zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2014. godine i iznosila je $0,07 \mu\text{g Pb/l}$, dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je $1,58 \mu\text{g Pb/l}$. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 5.



Graf 5. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.2.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

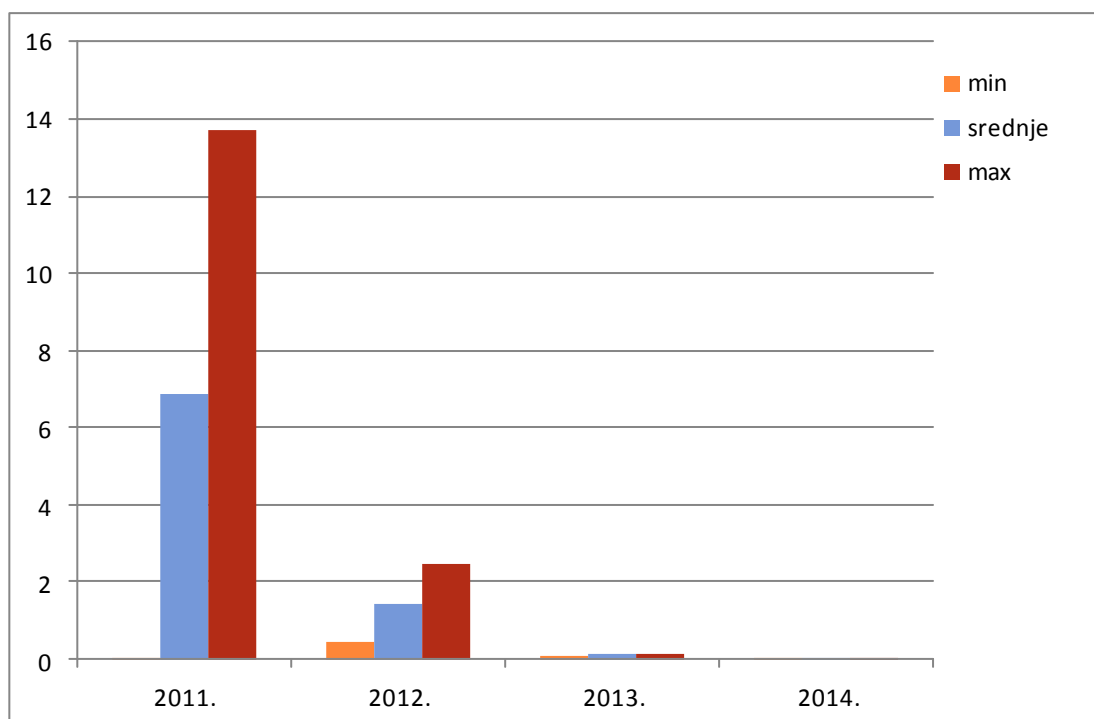
Najmanje koncentracije olova na piezometru P-62 zabilježene su 2011. i 2014. godine, te su iznosile 0,05 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća koncentracija od 6,25 ($\mu\text{g Pb/l}$) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2011. godine i iznosila je 0,22 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 3,83 ($\mu\text{g Pb/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 6.



Graf 6. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.2.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

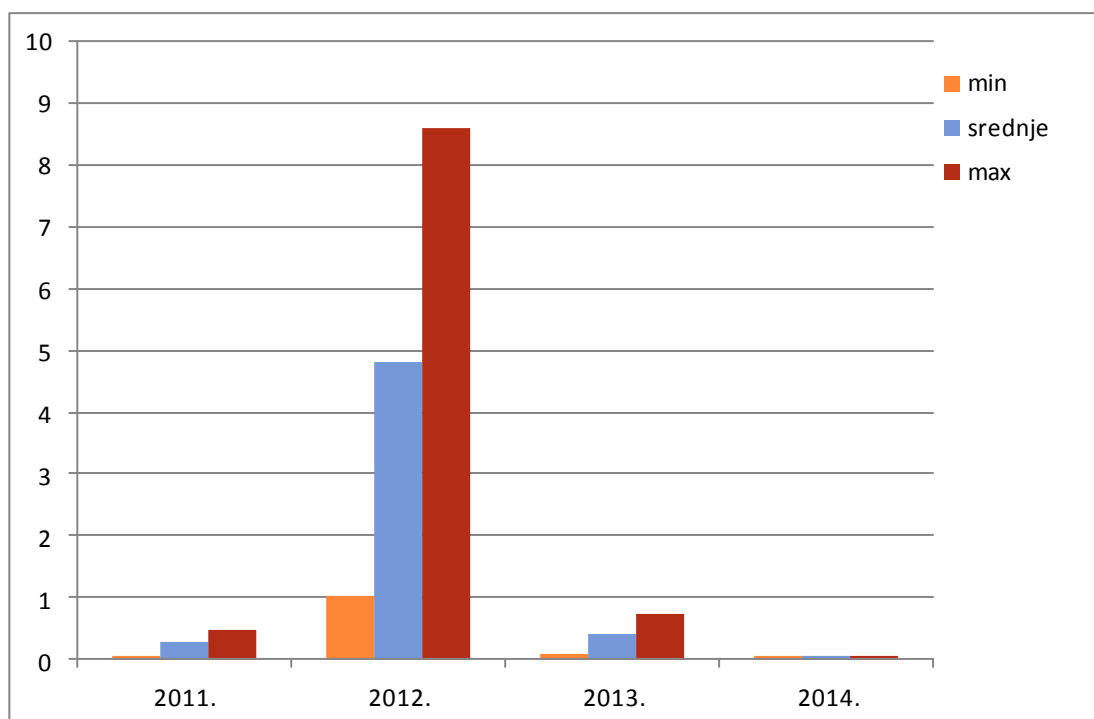
Najmanje koncentracije olova na piezometru P-63 zabilježene su 2011. i 2014. godine te su iznosile 0,05 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća koncentracija od 13,7 ($\mu\text{g Pb/l}$) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2014. godine i iznosila je 0,05 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 6,87 ($\mu\text{g Pb/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 7.



Graf 7. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.2.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Najmanje koncentracije olova na piezometru P-64 zabilježene su 2011. i 2014. godine te su iznosile 0,05 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća koncentracija od 8,61 ($\mu\text{g Pb/l}$) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2014. godine i iznosila je 0,05 ($\mu\text{g Pb/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 4,81 ($\mu\text{g Pb/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 8.



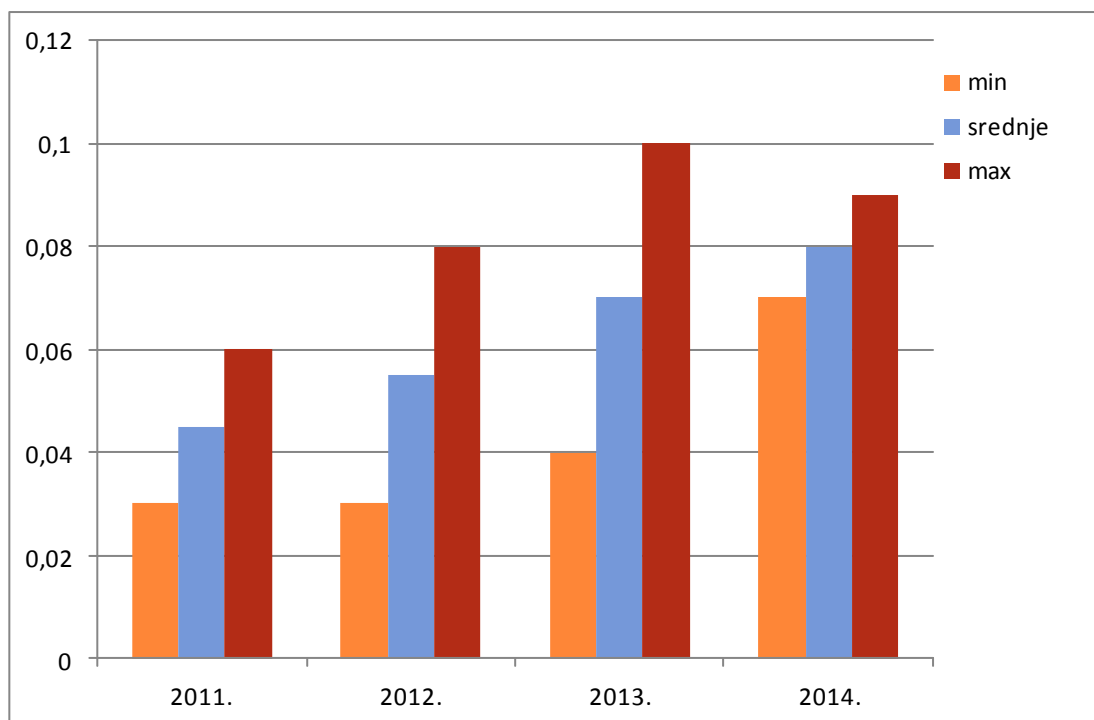
Graf 8. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.3. Specifična onečišćujuća tvar – kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$)

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za kadmij u vodi su do $5 \mu\text{g/l}$ [17].

5.3.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

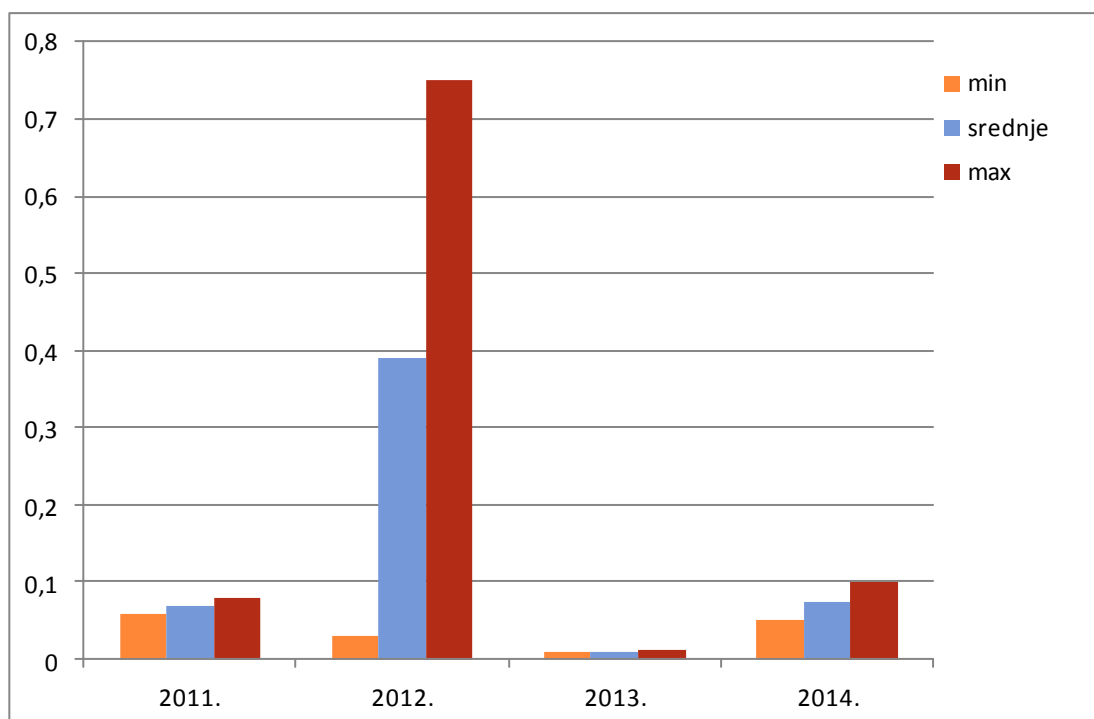
Najmanje koncentracije kadmija na piezometru P-58 zabilježene su 2011. i 2012. godine te su iznosile $0,03 \mu\text{g Cd/l}$, dok je najveća koncentracija od $0,1 \mu\text{g Cd/l}$ zabilježena 2013. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2011. godine i iznosila je $0,045 \mu\text{g Cd/l}$, dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2014. godine i iznosila je $0,08 \mu\text{g Cd/l}$. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 9.



Graf 9. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.3.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

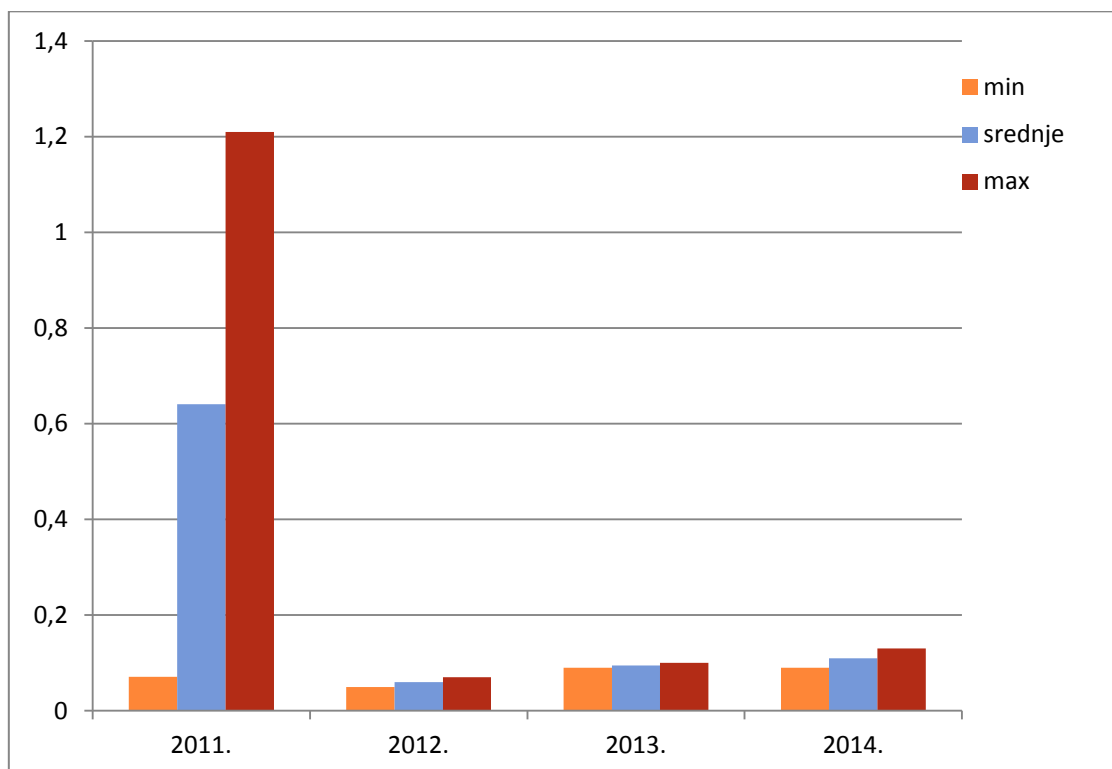
Najmanja koncentracija kadmija na piezometru P-62 zabilježena je 2013. godine te je iznosila 0,01 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća koncentracija od 0,1749 ($\mu\text{g Cd/l}$) zabilježena 2012. godini. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2013. godine i iznosila je 0,010 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 0,389 ($\mu\text{g Cd/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 10.



Graf 10. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.3.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

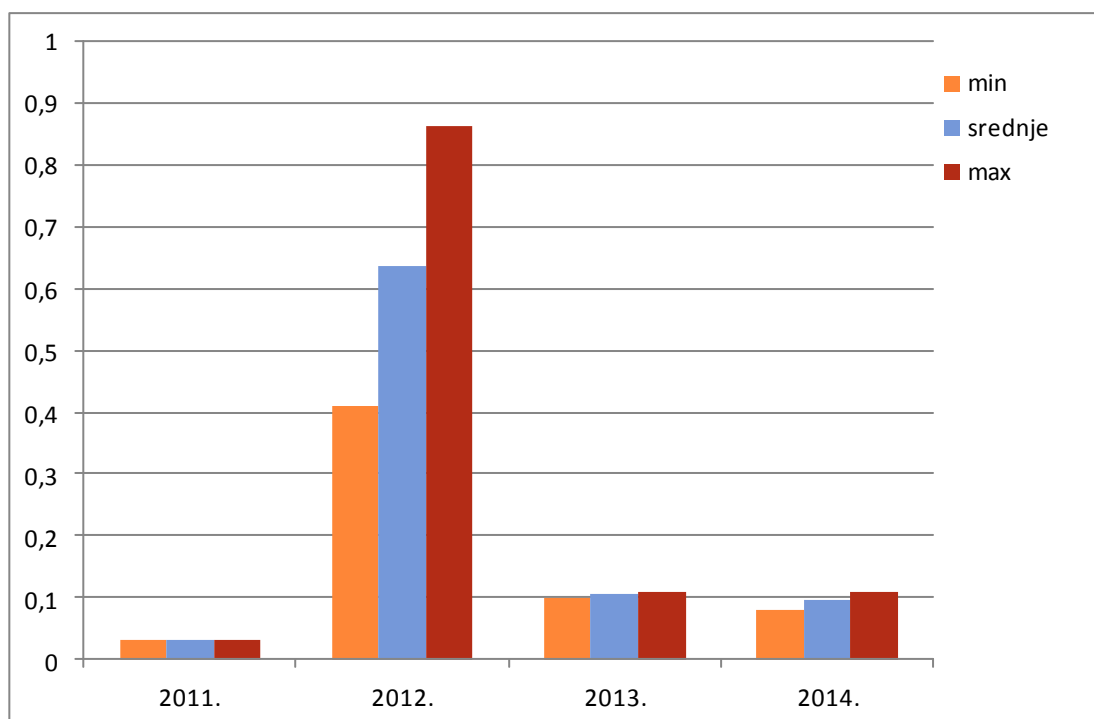
Najmanja koncentracija kadmija na piezometru P-63 zabilježena je 2012. godine te je iznosila 0,05 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća koncentracija od 1,21 ($\mu\text{g Cd/l}$) zabilježena u 2011. godini. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2012. godine i iznosila je 0,06 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 0,640 ($\mu\text{g Cd/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 11.



Graf 11. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.3.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Najmanja koncentracija kadmija na piezometru P-64 zabilježena je 2011. godine te je iznosila 0,03 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća koncentracija od 0,862 ($\mu\text{g Cd/l}$) zabilježena u 2012. godini. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2011. godine i iznosila je 0,03 ($\mu\text{g Cd/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 0,636 ($\mu\text{g Cd/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 12.



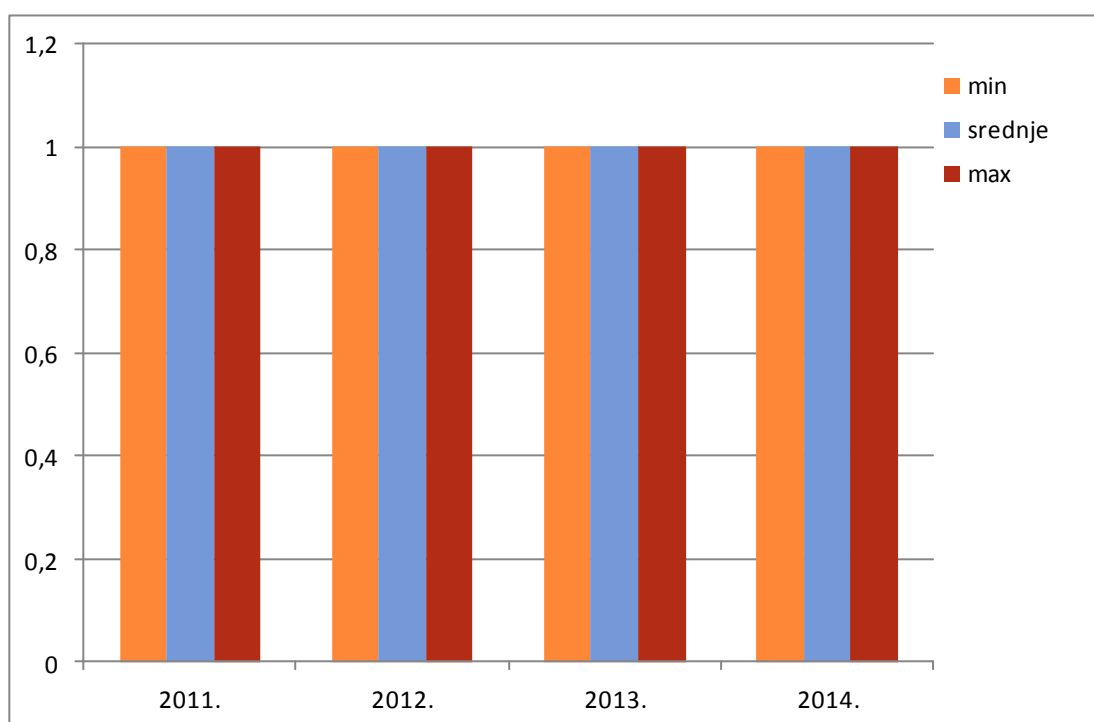
Graf 12. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.4. Specifična onečišćujuća tvar – krom ($\mu\text{g Cr/l}$)

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za krom u vodi su do $50 \mu\text{g/l}$ [17].

5.4.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

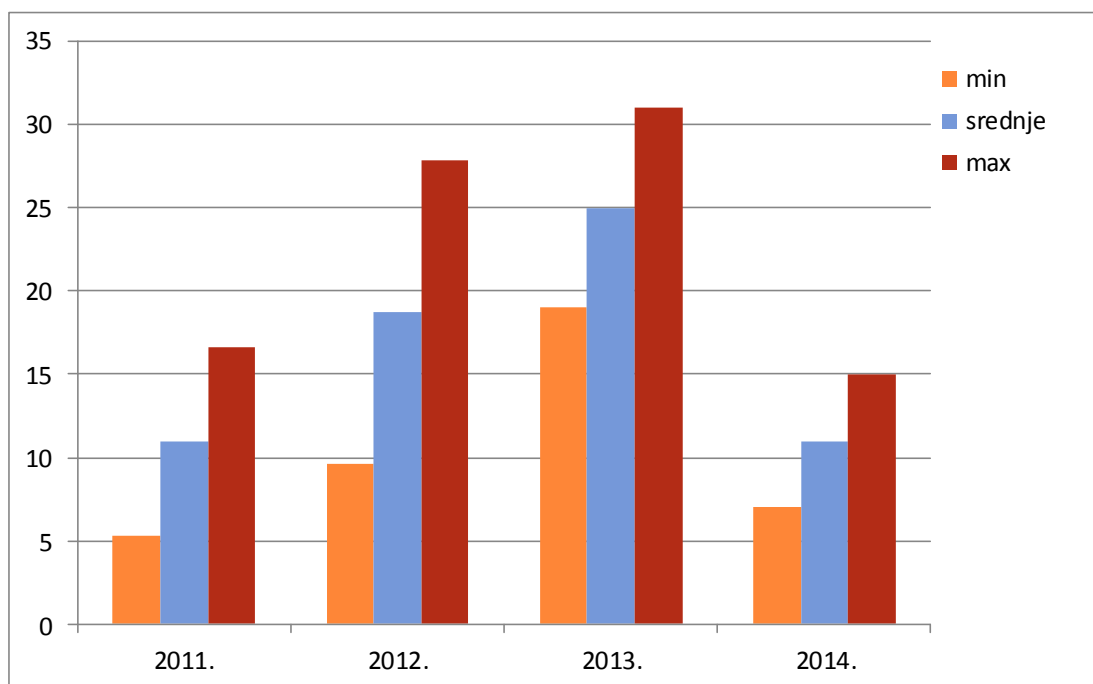
Sve izmjerene vrijednosti (minimalne, maksimalne i srednje) u piezometru P-58, u vremenskom periodu od 2011. do 2014. godine, jednake su i iznose $1,00 \mu\text{g Cr/l}$. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 13.



Graf 13. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.4.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

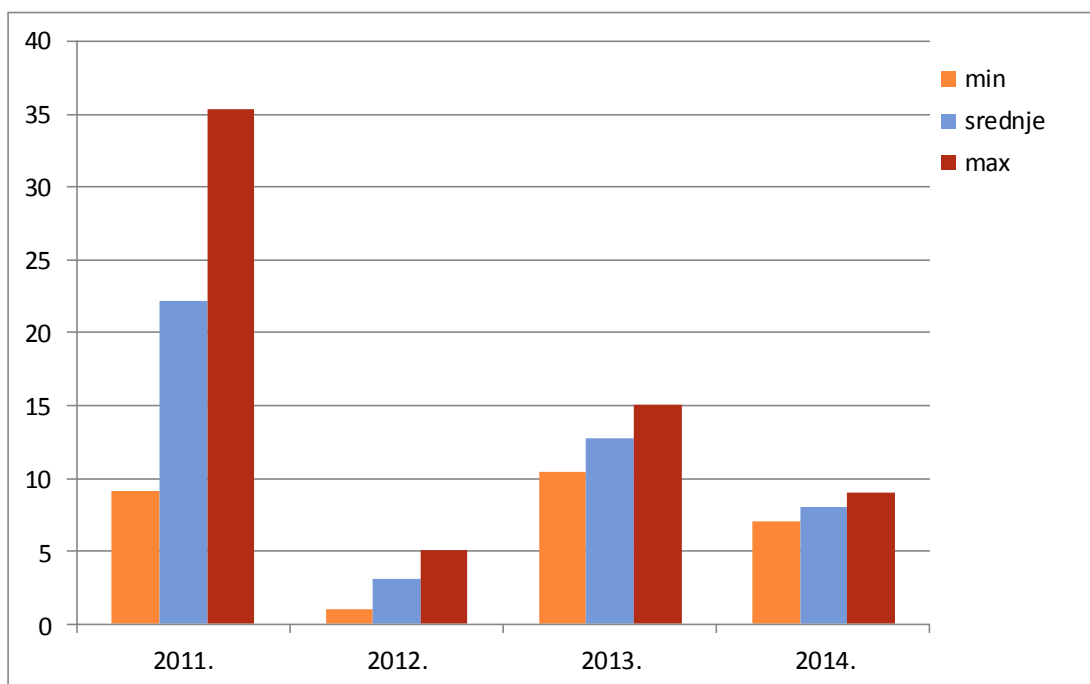
Najmanja koncentracija kroma na piezometru P-62 zabilježena je 2011. godine te je iznosila 5,29 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća koncentracija od 27,5 ($\mu\text{g Cr/l}$) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2011. godine i iznosila je 10,945 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2013. godine i iznosila je 24,85 ($\mu\text{g Cr/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 14.



Graf 14. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.4.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

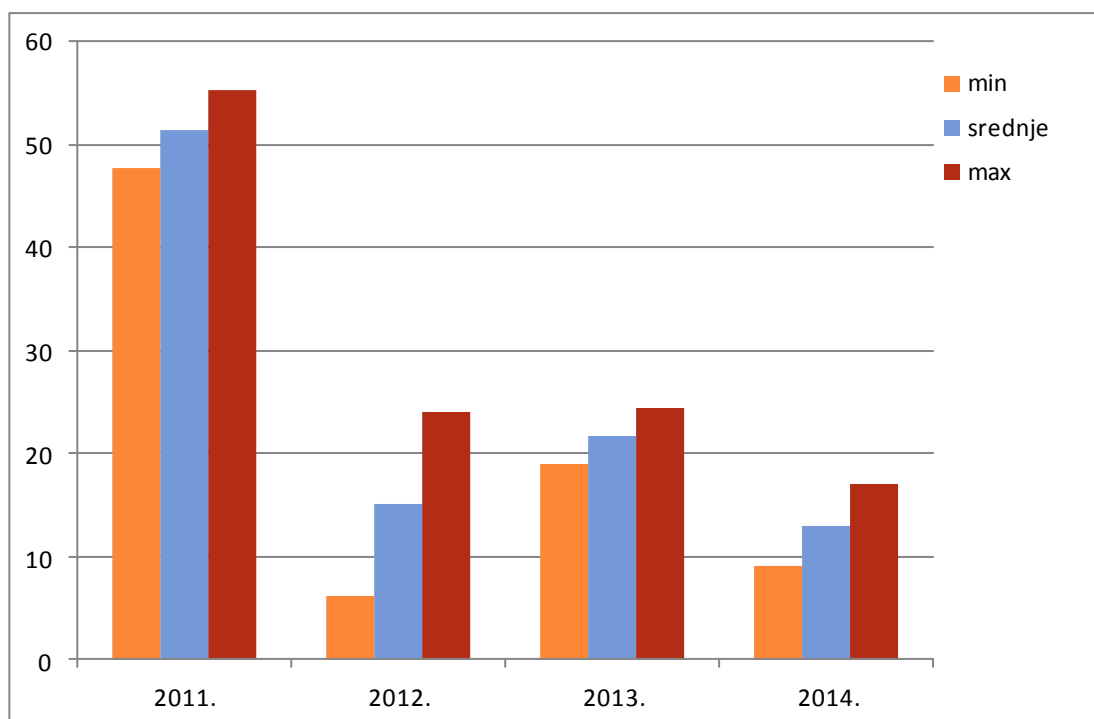
Najmanja koncentracija kroma na piezometru P-63 zabilježena je 2012. godine te je iznosila 1,00 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća koncentracija od 35,3 ($\mu\text{g Cr/l}$) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2012. godine i iznosila je 3,045 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 22,195 ($\mu\text{g Cr/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 15.



Graf 15. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.4.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Najmanja koncentracija kroma na piezometru P-64 zabilježena je 2012. godine te je iznosila 6,10 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća koncentracija od 55,30 ($\mu\text{g Cr/l}$) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2014. godine i iznosila je 13,00 ($\mu\text{g Cr/l}$), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 51,50 ($\mu\text{g Cr/l}$). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 16.



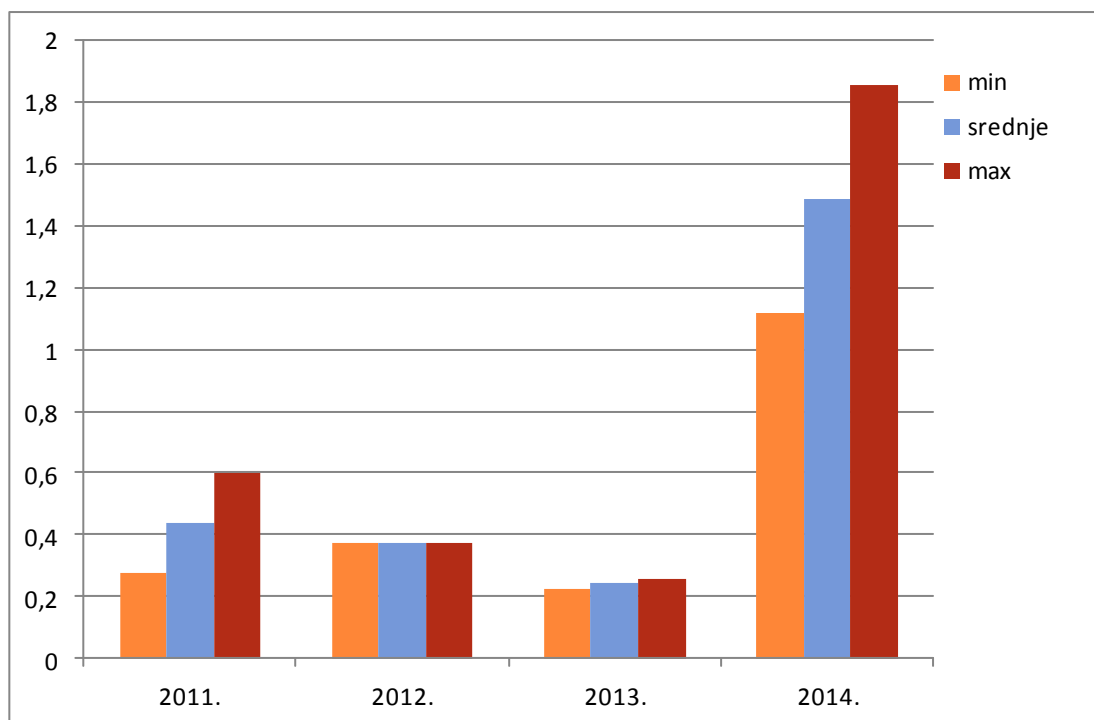
Graf 16. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.5. Specifična onečišćujuća tvar – cink ($\mu\text{g Zn/l}$)

Prema Pravilniku o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće (NN 47/08), MDK za cink u vodi su do 3 mg/l [17]

5.5.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

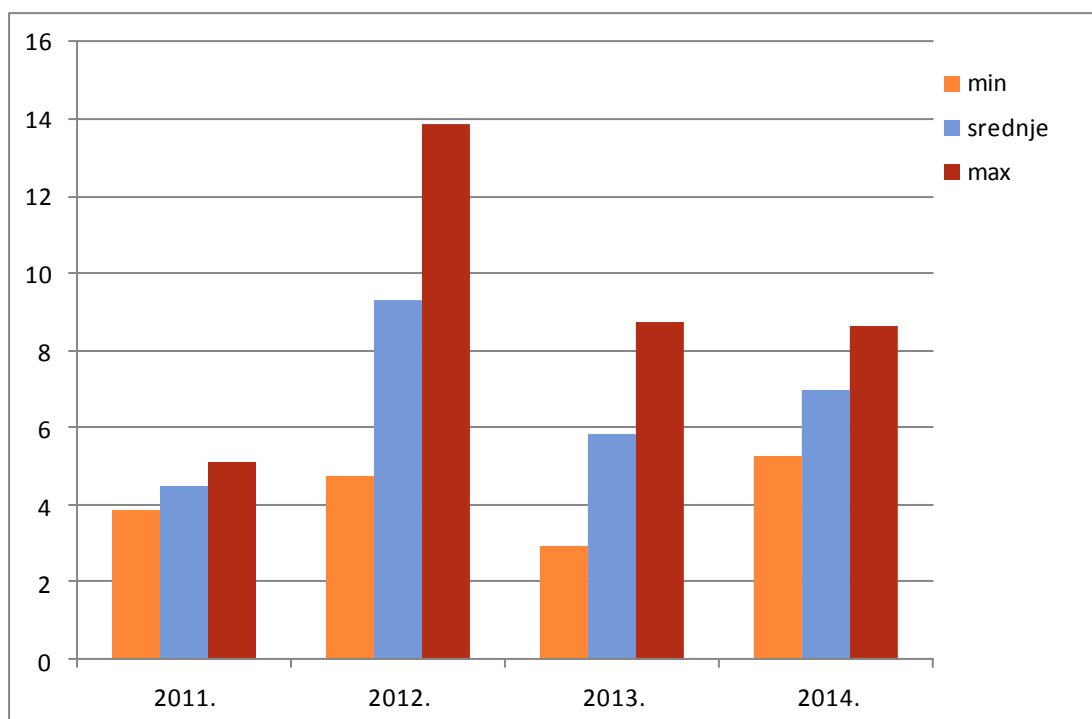
Najmanja koncentracija cinka na piezometru P-58 zabilježena je 2013. godine te je iznosila 0,22 (mg Zn/l), dok je najveća koncentracija od 1,85 (mg Zn/l) zabilježena 2014. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2013. godine i iznosila je 0,24 (mg Zn/l), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2014. godine i iznosila je 1,48 (mg Zn/l). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 17.



Graf 17. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.5.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

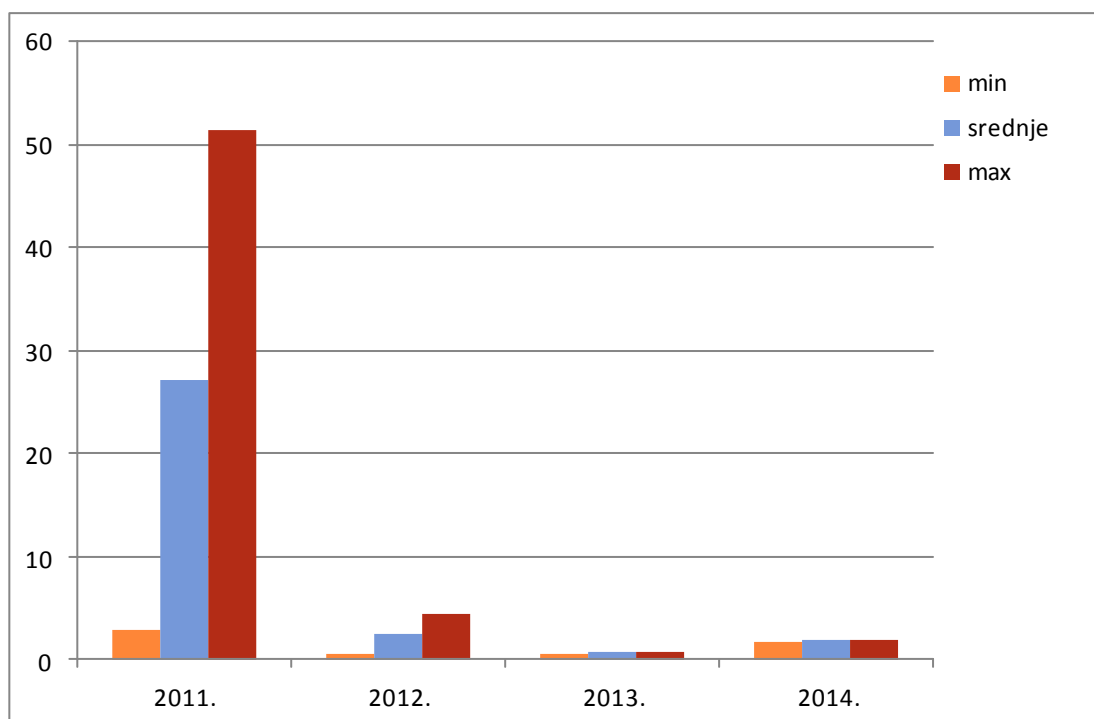
Najmanja koncentracija cinka na piezometru P-62 zabilježena je 2013. godine te je iznosila 2,91 (mg Zn/l), dok je najveća koncentracija od 13,86 (mg Zn/l) zabilježena 2012. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2011. godine i iznosila je 4,47 (mg Zn/l), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 9,30 (mg Zn/l). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 18.



Graf 18. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.5.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

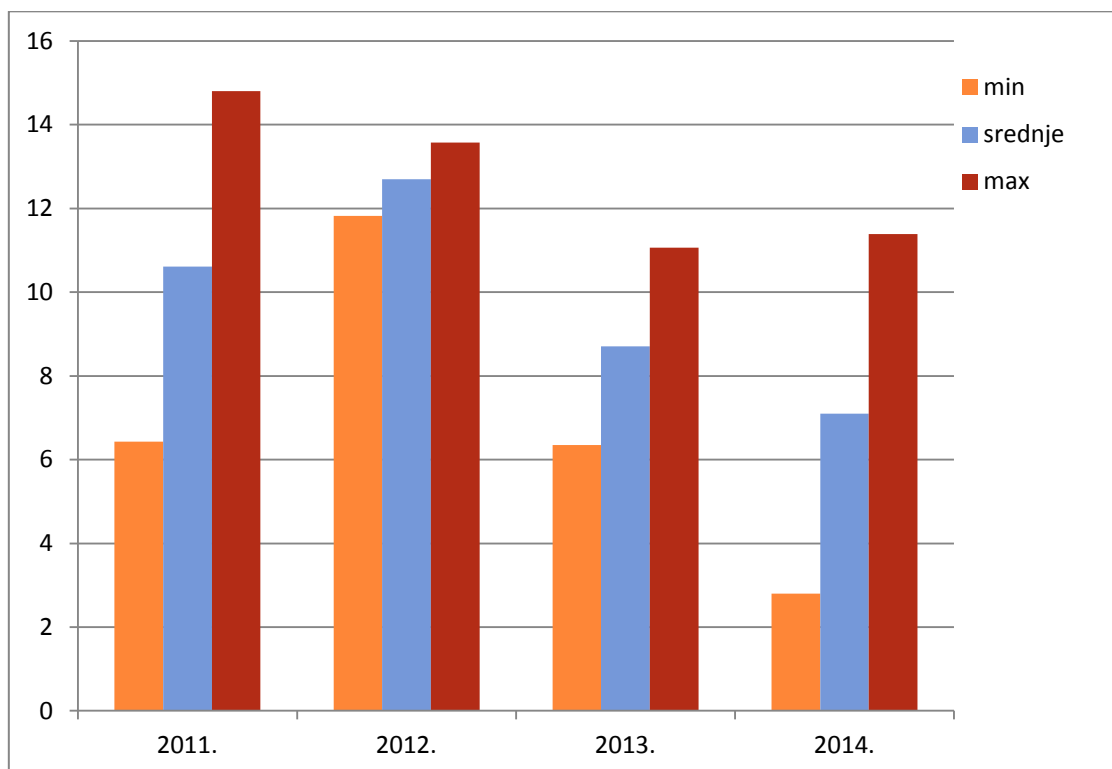
Najmanja koncentracija cinka na piezometru P-63 zabilježena je 2013. godine te je iznosila 0,51 (mg Zn/l), dok je najveća koncentracija od 51,50 (mg Zn/l) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2013. godine i iznosila je 0,64 (mg Zn/l), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2011. godine i iznosila je 27,12 (mg Zn/l). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 19.



Graf 19. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

5.5.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Najmanja koncentracija cinka na piezometru P-64 zabilježena je 2014. godine te je iznosila 2,80 (mg Zn/l), dok je najveća koncentracija od 14,80 (mg Zn/l) zabilježena 2011. godine. Najmanja srednja koncentracija zabilježena je 2014. godine i iznosila je 7,09 (mg Zn/l), dok je najveća srednja koncentracija zabilježena 2012. godine i iznosila je 12,69 (mg Zn/l). Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 20.



Graf 20. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

6. RASPRAVA

6.1. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-58

Koncentracija žive u piezometru P-58 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 1 ($\mu\text{g Hg/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 1., (str. 27).

Koncentracija olova u piezometru P-58 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 10 ($\mu\text{g Hg/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 5., (str. 31).

Koncentracija kadmija u piezometru P-58 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 5 ($\mu\text{g Cd/l}$) [24]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 9., (str. 35).

Koncentracija kroma u piezometru P-58 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 50 ($\mu\text{g Cr/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 13., (str. 39).

Koncentracija cinka u piezometru P-58 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 3 (mg Zn/l) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 17., (str. 43).

6.2. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-62

Koncentracija žive u piezometru P-62 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u 2012. godini prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 1 ($\mu\text{g Hg/l}$), međutim, sve srednje vrijednosti se nalaze unutar dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 2., (str. 28).

Koncentracija olova u piezometru P-62 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 10 ($\mu\text{g Hg/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 6., (str. 32).

Koncentracija kadmija u piezometru P-62 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 5 ($\mu\text{g Cd/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 10., (str. 36).

Koncentracija kroma u piezometru P-62 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 50 ($\mu\text{g Cr/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 14., (str. 40).

Koncentracija cinka u piezometru P-62 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u periodu od 2011. godine do 2014. godine prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 3 (mg Zn/l). Srednja vrijednost u periodu od 2011. godine do 2014. godine odstupa od dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 18., (str. 44).

6.3. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-63

Koncentracija žive u piezometru P-63 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u 2014. godini prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 1 ($\mu\text{g Hg/l}$), međutim, sve srednje vrijednosti se nalaze unutar dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 3., (str. 29).

Koncentracija olova u piezometru P-63 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u 2011. godini prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 10 ($\mu\text{g Hg/l}$), međutim, sve srednje vrijednosti se nalaze unutar dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 7., (str. 33).

Koncentracija kadmija u piezometru P-63 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi

maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 5 ($\mu\text{g Cd/l}$) [24]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 11., (str. 37).

Koncentracija kroma u piezometru P-63 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 50 ($\mu\text{g Cr/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 15., (str. 41).

Koncentracija cinka u piezometru P-63 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u 2011. godini prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 3 (mg Zn/l). Srednja vrijednost u 2011. godini odstupa od dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 19., (str. 45).

6.4. Rezultati s kontrolne točke: piezometar P-64

Koncentracija žive u piezometru P-64 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 1 ($\mu\text{g Hg/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 4., (str. 30).

Koncentracija olova u piezometru P-64 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 10 ($\mu\text{g Hg/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 8., (str. 34).

Koncentracija kadmija u piezometru P-64 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) ne prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 5 ($\mu\text{g Cd/l}$) [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 12., (str. 38).

Koncentracija kroma u piezometru P-64 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) u 2011. godini prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 50 ($\mu\text{g Cr/l}$). Srednja vrijednost u 2011. godini odstupa od dopuštenih vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 16., (str. 42).

Koncentracija cinka u piezometru P-64 u praćenom periodu od 2011. godine do 2014. godine prema Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 73/13) prelazi maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK) od 3 (mg Zn/l). Srednje vrijednosti u periodu od 2011. godine do 2014. godine odstupaju od dopuštene vrijednosti [23]. Opisane vrijednosti vidljive su na grafu 20., (str. 46).

Prema rezultatima analize kemijskog sastava podzemne vode u piezometru P-58, koji se nalazi uzvodno od odlagališta otpada Totovec, vidljivo je da su dobivene vrijednosti u periodu od 2011. godine do 2014. godine za sve mjerene parametre ispod MDK.

Analizirani kemijski sastav podzeme vode u piezometarima P-62, P-63 i P-64, koji se nalaze nizvodno od odlagališta otpada Totovec u 2011. godini pokazuju odstupanje od MDK za olovo, krom i cink. U 2012. godini odstupanje od MDK vidljivo je za živu i cink. U 2013. godini odstupanje od MDK vidljivo je za cink, dok je u 2014. godini odstupanje od MDK vidljivo za cink i neznatno za živu (1.09 µg Hg/l).

Kako bismo mogli usporediti dobivene rezultate poslužiti će nam odlagalište neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec, čija je sanacija završena krajem 2003. godine. Mrežom piezometara pokriveno je nizvodno rubno područje odlagališta neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec, a dobivene vrijednosti za 2007. godinu su:

- željezo (20-10000µg/l, dok je MDK u vodi za ljudsku potrošnju 200 µg/l),
- mangan (5-7000µg/l, MDK 50 µg/l)
- olovo (1-40µg/l, MDK 10 µg/l)
- nikal (5-50µg/l, MDK 20 µg/l)
- arsen (1-1000µg/l, MDK 10 µg/l)
- kadmij (1-35µg/l, MDK 5 µg/l) [24].

Na području neopasnog odlagališta otpada Jakuševac – Prudinec za 2013. godinu analizu podzemne vode izvršio je ovlaštenu laboratorij Vodoopskrbe i odvodnje d.o.o., a jedine izmjerene vrijednosti koje su bile iznad MDK su:

- željezo (0-1035µg/l, MDK je 200 µg/l) i
- mangan (206-1120µg/l, MDK 50 µg/l) [25].

7. ZAKLJUČCI

Trenutni uzorci podzemne vode uzeti u piezometru P-58, koji se nalazi uzvodno od odlagališta neopasnog otpada Totovec, ne pokazuju prisutnost teških metala u podzemnoj vodi u razdoblju od 2011. godine do 2014. godine. Izvršena je analiza žive, olova, kadmija, kroma i cinka. Sve dobivene vrijednosti ne prelaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju (MDK).

Trenutni uzorci uzeti u piezometru P-62, koji se nalazi nizvodno od odlagališta, pokazuju prisutnost teških metala u podzemnoj vodi. Uzorci su uzeti u razdoblju od 2011. godine do 2014. godine uz nesanirani dio odlagališta. Analiza pokazuje povišene vrijednosti žive i cinka.

Trenutni uzorci podzemne vode uzeti u piezometru P-63, koji se nalazi nizvodno od odlagališta, uz nesanirani dio odlagališta, pokazuju povišene vrijednosti žive, olova i cinka. Uzorci su uzeti u razdoblju od 2011. godine do 2014. godine.

Trenutni uzorci podzemne vode uzeti u piezometru P-64, koji se nalazi nizvodno od odlagališta, pokazuju povišene vrijednosti kroma i cinka. Uzorci su uzeti u razdoblju od 2011. godine do 2014. godine.

Analizirani uzorci podzemne vode u piezometrima nizvodno na odlagalištu neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec za 2007. godinu pokazuju povećane MDK za željezo, mangan, olovo, nikal, arsen i kadmij, dok su za 2013. godinu bile povećane MDK za željezo i mangan.

Usporedbom odlagališta neopasnog otpada Totovec i odlagališta neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec, može se zaključiti kako su i u jednom i u drugom slučaju bile povećane vrijednosti nekih teških metala u podzemnim vodama nizvodno od odlagališta. Međutim za odlagalište neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec vidljivo je s obzirom na stanje odmah nakon sanacije i desetak godina kasnije, da se stanje podzemne vode znatno popravilo, te su koncentracije za većinu pokazatelja niže od MDK.

Zbog svega navedenoga može se zaključiti kako je na odlagalištu neopasnog otpada Totovec potrebno sustavno provoditi monitoring, a isto je tako potrebno provesti i

njegovu potpunu sanaciju kako bi se spriječilo onečišćenje podzemnih voda što bi ugrozilo zdravlje ljudi i cijelog okoliša.

8. LITERATURA

- [1] Zakon o otpadu Republike Hrvatske, Narodne novine 151/03
- [2] Agencija za zaštitu okoliša – AZO (2016.), Izvješće o komunalnom otpadu za 2014. godinu, Zagreb
- [3] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Narodne novine 94/13
- [4] Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske 2015.-2021., Nacrt http://www.mzoip.hr/doc/nacrt_plana_gospodarenja_otpadom_republike_hrvatske_za_razdoblje_2015- (20.08.2016.)
- [5] Veinović, Ž.; Kvasnička, P. (2007). Površinska odlagališta otpada. Zagreb, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [6] Mutavdžić, M. (2015). Geotehnički aspekti odlagališta otpada – građenje odlagališta. Diplomski specijalistički rad. Osijek, Građevinski fakultet, Sveučilište u Osijeku.
<https://repozitorij.gfos.hr/islandora/object/gfos%3A287/datastream/PDF/view> (25.08.2016.)
- [7] Hrnčić, N.; Hrnčić, M. (2011.). "Prilog izgradnji brtvenih sustava na odlagalištu otpada". Stručni rad. U Tehnički glasnik, Vol.5, 135-140. www.hrcak.srce.hr/83846 (25.8.2016.)
- [8] Zaštita okoliša. "Uvjeti za gradnju odlagališta otpada". www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-62-2010-04-07.pdf (25.8.2016.)
- [9] Šimunović, I. (2013). Uređenje voda. Zagreb, Hrvatska sveučilišna naklada.
- [10] Bioinstitut d.o.o. (2011.-2014.). Ispitni izvještaj trenutnih uzoraka podzemnih voda, Čakovec
- [11] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, Narodne novine 62/13
- [12] ECOINA za zaštitu okoliša d.o.o (2015.). Elaborat zaštite okoliša. Rekonstrukcija postojećeg postrojenja odlagališta Totovec-prenamjena reciklažnog dvorišta za građevni otpad u kompostanu za biorazgradivi otpad, Zagreb

- [13] GKP Čakom d.o.o. (2015). Pravilnik o zbrinjavanju svih vrsta otpada iz tehnoloških procesa i mulja iz procesa obrade otpadnih voda, Čakovec
- [14] Sofilić, T. (2014). Ekotoksikologija. Sisak, Metalurški fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [15] Springer, P.; Springer, D. (2008). Otrovani modrozeleni planet. Priručnik iz ekologije, ekotoksikologije i zaštite prirode i okoliša. Samobor, Meridijani.
- [16] Prijedlog Uredbe Europskog Parlamenta i Vijeća o živi i stavljanju izvan snage Uredbe,(EZ) br. 1102/2008. Brojčana oznaka dokumenta: COM(2016) 39 final. [www. –edoc.sabor.hr/DocumentView.aspx?entid=2002298](http://www.edoc.sabor.hr/DocumentView.aspx?entid=2002298) (26.08.2016.)
- [17] Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće, Narodne novine 47/08
- [18] Omanović, D.; Cuculić, V.; Caktaš Šagi, F.; Pižeta, I.; Mlakar, M.; Tucak Zorić, I.; Cukrov, N. (2009). Koncentracije ekotoksičnih metala (Cd, Pb, Ni, Cu i Zn) u podzemnoj vodi vodocrpilišta Mala Mlaka, Grad Zagreb. Znanstveno-stručni skup Voda i javna vodoopskrba, Gradac. https://bib.irb.hr/datoteka/429162.2009_Gradac_-_metali.pdf (26.08.2016.)
- [19] Friš d.o.o. – Križevci. <http://www.fris.hr/to-trebate-znati.html> (26.08.2016.)
- [20] Novak, P. (2014./2015). Analitička kemija 2 https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/AK2_predavanje_1_uvod.pdf (29.08.2016.)
- [21] Drčić, D. (2014). “Ekotoksikologija kadmija”. U TEDI, Međunarodni interdisciplinarni časopis. <http://www.ttf.unizg.hr/tedi/pdf/TEDI-4-4-62.pdf> (26.08.2016.)
- [22] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=34150> (30.08.2016.)
- [23] Uredba o standardu kakvoće voda, Narodne novine 73/13
- [24] Bačani A.; Posavec K. (2007). Program studijskih i vodoistražnih radova na utvrđivanju optimalnog rješenja razvoja crpilišta Črnkovec, druga faza radova: obrada rezultata monitoringa. Zagreb, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [25] Vodoopskrba i odvodnja d.o.o., ovlaštenu laboratorij (2013.). Izvješće – uzorkovanje i kemijske analize podzemnih voda iz piezometara na području odlagališta neopasnog otpada Jakuševac – Prudinec.

PRILOZI

Slika 1. Količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada u RH [2]

Slika 2. Količine komunalnog otpada upućenog na oporabu u razdoblju od 2010. do 2014., RH [2]

Slika 3. Prikaz odlagališta otpada u RH prema statusu operativnosti u 2015. godini [4]

Slika 4. Shematski prikaz trajnih odlagališta otpada [6]

Slika 5. Presjek uređenog odlagališta otpada [7]

Slika 6. Temeljni brtveni sustav [7]

Slika 7. Detalj drenaže [6]

Slika 8. Poprečni presjek kroz sustav za prikupljanje procjednih voda [6]

Slika 9. Plan s prikazom predviđenog sadržaja na odlagalištu Totovec [12]

Slika 10. Situacijski plan položaja piezometara [13]

Graf 1. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 2. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 3. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 4. Živa ($\mu\text{g Hg/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 5. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 6. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 7. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 8. Olovo ($\mu\text{g Pb/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 9. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 10. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 11. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 12. Kadmij ($\mu\text{g Cd/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 13. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 14. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 15. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 16. Krom ($\mu\text{g Cr/l}$), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 17. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-58 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 18. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-62 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 19. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-63 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).

Graf 20. Cink (mg Zn/l), kontrolna točka – piezometar P-64 u vremenskom periodu od 2011. godine do 2014. godine, (vlastiti izračun).